

**La Aspersión como sistema de regadío
y su aplicación en el Fundo
Santa Ana**

POR

LUIS FELIPE EYZAGUIRRE B.

**MEMORIA DE PRUEBA PA-
RA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL DE LA
UNIVERSIDAD DE CHILE**

CAPÍTULOS I Y II

Aspectos físicos y fisiológicos del riego

De todos es conocida la importancia vital del agua para la vida vegetal; cuando la naturaleza no la da en forma de lluvia natural, ya sea en cantidades suficientes o en el momento oportuno, se debe recurrir al regadío artificial.

La lluvia natural, debido a una serie de factores que luego mencionaremos, constituye el riego ideal siempre que esté distribuida de acuerdo con las necesidades de los cultivos, en cantidades suficientes y se produzca en forma suave. El regadío por lluvia artificial, si bien no es igual a la lluvia natural, es el que más se le acerca y tiene sobre esta la ventaja de ser regulable por el hombre.

Presentaremos a continuación las ventajas principales que ofrece la lluvia natural sobre otro sistema de riego y luego las analizaremos en más detalle y veremos hasta que punto la aspersión la puede reproducir.

La lluvia natural se produce siempre en un determinado ambiente, caracterizado por la saturación de la atmósfera, la presencia de nubes que cubren el cielo, etc.; este clima afecta favorablemente a la planta, y la aspersión es el único método de riego que puede crear este clima, a lo menos en parte. (Ver el clima y la aspersión). La lluvia natural siempre que no se presente en forma torrencial no producirá daños sobre la estructura del suelo, en este sentido la aspersión tiene la ventaja de que se puede proporcionar con la intensidad más apropiada para cada suelo y cultivo. (Ver la aspersión y la estructura del suelo, agua y suelo). La lluvia debido a que incorpora a través de su paso por la atmósfera NO y CO que sirve de abono a los suelos y, cayendo sobre las hojas además de lavarlas del polvo permite que las plantas absorban directamente el oxígeno y CO₂.

A continuación nos referiremos a los factores fundamentales del riego: agua, aire, suelo, clima, sus relaciones entre sí y con la vida vegetal.

EL AGUA Y LA PLANTA

El agua actúa en el suelo como disolvente de las sustancias nutritivas, las que entrega a la planta a través de la circulación. Este proceso se halla regulado por la acción succora de las raíces y por la transformación que se realiza a través de tallos y hojas.

Al penetrar el agua a la planta una pequeña parte va a quedar retenida formando nuevos tejidos; pero la parte más importante servirá como medio de transporte y transferencia de los elementos nutritivos siendo finalmente eliminada a la atmósfera. Este es el llamado proceso de transpiración el cual es factor determinante en las necesidades de agua que requiere la planta para su perfecto desarrollo en un período vegetativo. Los factores que regulan la transpiración son

muy variados, pero se puede decir que los determinantes son el tipo de cultivo, cantidad de agua disponible y el clima. El peso de agua transpirado en un período vegetativo para producir 1 Kg. de materia seca será entre 200-600 Kg., según el tipo de cultivo, para un clima de mediana humedad; en caso que este sea seco, se puede llegar al doble.

Como fin ilustrativo se presenta un cuadro que da las cantidades transpiradas por diversos cultivos, en un clima de mediana humedad. Se ha supuesto que se necesitan 300 Kg. de agua, para producir 1 Kg. de materia seca. Esta cifra no incluye ninguna pérdida.

Cosecha	Peso de la cosecha en Tons/Há.	Agua %	Peso materia seca Ton/Há.	Agua Tn/Há.	Transpirada mm/lluvia
Trigo	6.28	15	5.15	1954	155
Cebada	5.02	17	4.17	1250	125
Avena	6.28	16	5.27	1581	158
Heno de Césped.	3.78	16	3.16	949	95
Heno de Trébol	5.02	16	4.22	1265	127
Nabo	42.67	88	5.12	1536	154
Remolacha	75.30	88	9.04	2711	271
Patatas	18.83	75	4.69	1408	141
Habas	5.02	17	4.17	1250	125

Las cantidades de agua que figuran como transpirada representa el agua que necesita la planta para su perfecto desarrollo. No toda el agua que se le proporcione a la planta será transpirada, habrá ciertas pérdidas inevitables, tales como, evaporación superficial y que junto con el agua transpirada forman en consumo evotranspirativo o "consumptive use" de los americanos o tasa neta de riego. Todas las demás pérdidas tales como: percolación, escurrimiento superficial han hecho que los consumos de agua al regar por métodos convencionales sean muy elevados en proporción a las necesidades reales de la planta. La aspersión al eliminar estas pérdidas y dar el agua en el momento oportuno y en la cantidad requerida por los cultivos y por muchos otros factores que luego referiremos, es el método de riego que tiene más probabilidades de producir la mayor cantidad de materia seca con un mínimo consumo de agua.

INFLUENCIA DE LA LLUVIA ARTIFICIAL SOBRE LA PLANTA

La lluvia a través de su paso por la atmósfera, disuelve gases de gran importancia para el crecimiento de las plantas, tales como: Oxígeno y Nitrógeno, este último en forma de N libre NH_3 - NO_2 y NO_3 . El oxígeno es de importancia vital en los procesos de oxidación. La aspersión en su paso a través del aire se enriquece de oxígeno en una cantidad seguramente inferior a la máxima fijada según la Ley de Henry en 6 cm³. por litro, pero en ningún caso el aporte merece ser despreciado especialmente cuando se compara con los métodos convencionales de riego. El nitrógeno, elemento principal de las proteínas es disuelto por la lluvia en cantidades apreciables, la cual lo incorporará al suelo donde será absorbido por las bacterias y me-

dante el proceso de nitrificación quedarán disponibles para las plantas superiores. La cantidad máxima de nitrógeno que puede disolver el agua es $12 \text{ cm}^3/\text{Ltr.}$ que en una lluvia de 500 mm. representaría $5.000 \cdot 0.012 \cdot 1,2575 = 75 \text{ Kgs/há.}$ Si bien la cantidad disuelta no alcanzará nunca esta cifra, la experiencia ha demostrado que el aporte de nitrógeno por la lluvia al suelo es de importancia.

ACCION DE LA LLUVIA SOBRE LAS HOJAS: AREAS DE LA PLANTA

La lluvia artificial y natural, además de efectuar una acción de lavado sobre hojas y tallos, permite que éstas absorban directamente una parte del agua, la cual influye positivamente en la foto síntesis. Esto ha quedado demostrado plenamente por la experiencia al verse que al regar viñas por aspersión, el contenido del azúcar de la uva aumentó y con ella el del alcohol del vino (*). También se ha observado que las frutas toman una coloración mucho más viva al regarlas por aspersión.

Así como algunas plantas no soportan en determinadas épocas, lluvia natural, tampoco soportan lluvia artificial; esto es válido, especialmente para los frutales y viñas durante la floración ya que el polen es lavado por la lluvia o si no queda demasiado pesado para ser transportado por insectos y viento.

Tampoco se deben regar en los últimos 20-15 días antes de la cosecha ya que este exceso de agua favorece el desarrollo vegetativo en detrimento de la fruta. En caso de riego excesivo en tiempo de madurez las frutas se llenan de agua y pueden reventar. Es por esto que en huertos y viñas regados por aspersión se suspende el riego 20 días antes de la cosecha.

LA ASPERSION Y LAS ENFERMEDADES PARASITARIAS

En Estados Unidos y en Europa se han regado huertos frutales y viñas por aspersión durante más de veinticinco años y se ha podido observar que la aspersión elimina el peligro de ciertas plagas como pulgones-acaro y limita la difusión de otras. Esto explica debido a la acción mecánico de la lluvia sobre las hojas (lavado). Debido a la enorme importancia que tiene en la agricultura nacional el desarrollo de las viñas y huertos frutales, citaré los resultados a que se ha llegado (**).

La viña Santa Magdalena ubicada en el norte de Italia y que riega por aspersión 120 Há. de viñas ha llegado a los siguientes resultados después de 20 años de experiencia:

La aspersión ha eliminado completamente el peligro del acaro pero se ha observado que aumenta el peligro del oidio y ha favorecido el desarrollo de la trignola (*Clysia Ambiguella*). La causa del aumento de estas dos últimas enfermedades se explica debido a que la aspersión crea un ambiente húmedo que es el ideal para el desarrollo de estos agentes patógenos. El oidio no ha significado ningún problema ya que se ha eliminado el peligro dando dos sulfuraciones más

(*) (1.er Congreso mundial de regadío por Aspersión, Trento).

(**) Overley ha hecho experiencias sobre ataque del "powdery mildew" en manzanas y llegó a la conclusión siguiente:

Riego por filtración: 22,5% de ataque.

Aspersión baja: 25,5% de ataque.

Aspersión sobre las copas: 10,6% de ataque.

que cuando se riega por medios convencionales. El desarrollo de la trignola se ha impedido dejando de regar durante dos semanas de la primavera y que corresponde al período de desarrollo de las larvas y combatiendo la primera generación en forma eficaz. La introducción de la aspersion en esta viña ha producido excelentes resultados mejorando la calidad de la uva (mayor contenido de azúcar), aumentando el rendimiento en un 30%, mejorando la calidad del leño, simplificando los injertos y reduciendo el período necesario para el cultivo ya que se puede empezar a regar a los tres años.

Como conclusión final se puede decir que la aspersion en ningún caso aumenta el peligro de enfermedades parasitarias y que hay algunas que las elimina completamente debido al lavaje de las hojas. La aspersion además, ofrece la ventaja de combatir directamente las plagas al mezclar en el agua de riego fungicidas e insecticidas adecuados.

LA ASPERSION Y EL CLIMA GENERAL

Uno de los aliados más poderosos que tiene la lluvia natural para reducir el consumo de agua y estimular el crecimiento de la planta es el ambiente necesario para que ésta se produzca caracterizado por una alta humedad relativa y por el efecto termoregulador que tiene ésta sobre el clima. Es por esta razón que Alberto Carl, especialista en riego por aspersion y delegado a la Conferencia mundial sobre riego por aspersion realizado en Trento, ha propuesto que la lluvia que se dé en el riego por aspersion sea lo más semejante posible a una lluvia natural de intensidad suave 0.5 - 2 mms/há. De este modo si se riega con una intensidad de 2 mms/há. el tiempo para dar una precipitación de 20 mms. - 30 mms. es de 10 - 15 há. Durante todo este tiempo el aire se encontrará saturado y la planta reduce su transpiración debido a la saturación del ambiente y al efecto termoregulador de la lluvia.

Tiene el grave inconveniente de aumenta enormemente las pérdidas de evaporación.

La aspersion lenta ofrece así la ventaja de poder corregir el clima ya sea este de tipo árido y caluroso, como frío; en el primer caso se mejora el clima en que vive la planta o microclima mediante la saturación de la atmósfera y el enfriamiento de este microclima, impidiendo así la transpiración excesiva que debía tener la planta para defenderse de la elevada temperatura.

La lluvia artificial producida en la aspersion, una vez que se haya establecido el equilibrio en el espacio afectado por esta lluvia (saturación de la atmósfera, ver pérdida por evaporación), se calentará y el peligro de enfriamiento del suelo quedará eliminado; esto es de especial importancia cuando se riega con agua subterránea que fácilmente puede tener diferencias de 15°C con la temperatura del suelo. En caso que se haya regado con el calor del día, al llegar la temperatura fría de la noche se puede recuperar en forma de rocío parte del agua evaporada. Se ha comprobado valores hasta de 0.5 mms. de recuperación. El principal enemigo que tiene la aspersion lenta es el viento y, es por esto que se debe evitar el regar con viento, especialmente en zonas secas y áridas. En este sentido el regado durante la noche, con ausencia de viento, con máxima humedad ofrece ventajas grandes, en lo que se refiere a economía de agua.

La aspersión ofrece, asimismo, un método eficaz para luchar contra las heladas al liberar calor reduciendo su temperatura a 0° y luego el calor latente al pasar a hielo (80 cal.). Si bien el primer punto no tiene importancia en caso de aguas superficiales lo tendrá en caso de aguas de origen subterráneo, debido a la constancia de la temperatura de estas últimas. Para combatir las heladas el equipo ideal es uno que dé 2-3 mms./hrs., el ángulo usado para el pistón es de $\pm 12^\circ$ para así reducir el volumen de aire al cual se le está entregando calor. Por supuesto que una protección total se puede obtener solamente cuando se puede cubrir el área afectada de una sola vez, esto, en general, no será posible debido al carácter móvil de los equipos y que pueden cubrir de una sola vez nada más que un pequeño porcentaje del área que riegan. La experiencia ha demostrado que para evitar fracasos al combatir heladas mediante la aspersión, el riego se debe empezar antes que la temperatura baje al punto de congelación y no se debe suspender hasta que esta haya vuelto a un nivel prudente y, en caso de que se haya formado hielo sobre las plantas el riego debe continuar hasta que este se haya fundido ya que si no las plantas morirán debido al mayor enfriamiento que sufrirá al tener que entregar el calor de fusión del hielo.

EL AGUA Y EL SUELO

El agua en el suelo se puede encontrar en una fase estática o dinámica, según predominen factores físico-químicos tales como capilaridad, tensión superficial, afinidad del terreno por el agua o la gravedad y permeabilidad.

La fase estática está compuesto por el agua higroscópica y la capilar, la fase dinámica del agua la constituye el agua gravitacional o de percolación que es inútil y perjudicial.

FASE ESTÁTICA DEL AGUA

El agua higroscópica.

Se puede considerar como una humedad permanente e invariable del suelo, ya que al perderse esta humedad el suelo pasa a ser roca, con propiedades fundamentalmente distintas. Esta agua se encuentra íntimamente ligada al núcleo coloidal sólido; la fuerza de retención es, por lo tanto, enorme y presenta un carácter de inamovilidad total que la hace inaprovechable por la planta.

El agua capilar.

El agua capilar corresponde al agua suspendida por la acción de la tensión superficial y posee una presión hidráulica inferior a la presión atmosférica que actúa sobre la superficie.

Una vez que se ha satisfecho la capacidad capilar y se ha llegado a un grado de humedad en que empieza la percolación, quiere decir que estamos en el límite de humedad que puede retener el suelo. Cualquiera nueva cantidad de agua que se agregue no aumentará la humedad del suelo, sino que la profundizará. Esta humedad máxima y que no drena a través el suelo define el coeficiente de cam-

po y se expresa en % del peso del suelo seco. Esta humedad está formada por el agua higroscópica, capilar y una pequeña cuota de agua gravitacional y es el límite de humedad útil para los cultivos.

Existe un límite inferior de la humedad útil para las plantas bajo el cual las raíces son impotentes para extraer su alimento; esta humedad es la llamada "humedad crítica" o "coeficiente de marchitez", que es constante para cada suelo e independiente del cultivo y que es prácticamente igual a 1,5 la humedad higroscópica.

Como se puede apreciar el agua utilizable por la planta está comprendida entre el coeficiente de marchitez y de campo. Esta agua, debido a su pequeña fuerza de retención y a su permanencia constituye la solución útil del suelo. El exceso de agua sobre el coeficiente de campo hasta el grado de saturación corresponde al agua gravitacional o fase dinámica del agua.

Esta agua, en caso de terreno permeable escurrirá rápidamente y debido a su corta permanencia en la zona de las raíces no podrá ser aprovechada por la planta; fuera de ser pérdida, tendrá efectos nocivos sobre la planta al arrastrar consigo las sustancias nutritivas necesarias para el crecimiento de éstas. En caso de que el terreno sea poco permeable, o que, siendo permeable esté atravesado por una capa impermeable o exista un nivel de agua subterránea cercano a la superficie, se producirá el anegamiento privando a la planta y a las bacterias aeróbicas de un elemento vital, como es el oxígeno. (Ver aire y suelo).

El riego por aspersión permite obtener la penetración más adecuada en forma uniforme y sin producir ni anegamiento ni escurrimiento superficial.

Para conocer la cantidad de agua que puede retener el suelo, cuánta quedará disponible para la planta, el volumen necesario para obtener una determinada penetración, se debe conocer el coeficiente higroscópico de marchitez y de campo para el suelo determinado.

Según Brigg y Shantz la relación existente entre el coeficiente de marchitez con el higroscópico o el coeficiente de saturación completa es:

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de marchitez} &= \frac{\text{Coeficiente higroscópico}}{0.68} = \\ &= \frac{\% \text{ de agua de saturación completa} - 21}{2.9} \end{aligned}$$

coeficiente de marchitez = 1,5 coeficiente higroscópico.

A continuación daremos valores tanto para el coeficiente de marchitez y de campo en % del peso del suelo.

Valores del coeficiente de marchitez para diversos suelos según Maximow.

Arena gruesa	1%
Arena fina	2-3%
Suelo franco	5-10%
Suelo fuertemente arcilloso	14-16%

Coefficiente de campo en % del peso del suelo y peso en kgs., por metro cúbico de suelo:

	Coeffic. de campo	Peso en Kgs/m ³ de suelo seco
Arena gruesa	6%	1900
Arena fina	7,5%	1300
Tierra arenosa	15,5%	1200
Tierra limosa	24%	1200
Limo arcilloso	29%	1200
Arcilloso limoso	35%	1000

Para obtener el máximo rendimiento de los cultivos se considera que se debe dar un nuevo riego una vez que la planta ha consumido los 2/3 de la humedad disponible (Entre coeficiente de campo y de marchitez).

Suponiendo un cultivo de raíces poco profundas (hortaliza, granos, pasto, etc.), que obtenga gran parte de su humedad de los primeros 50 cmts. y que se encuentre en un suelo arenoso, cada riego no debe ser mayor que el fijado en el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen máx. de riego} = \frac{1}{3} \text{ Peso del suelo seco.} \quad V$$

$$\text{Penetración} \cdot (\text{Coef. de campo} - \text{coef. de marchitez}) = V$$

El resultado sale en Kgs. de agua por m², o en mms de agua; en el caso de arriba, el volumen máximo de cada riego será:

$$\text{Vol. máx.} = \frac{1}{3} \cdot 1200 \cdot 0,50 \cdot (0,155 - 0,055) = 40 \text{ Kgs/m}^2 = 40 \text{ mms. o } 400 \text{ m}^3/\text{há.}$$

En caso de suelo franco se tendría en las mismas condiciones que un riego no debería exceder de:

$$\text{máx.} = \frac{2}{3} \cdot 1.200 \cdot 0,50 \cdot (0,24 - 0,10) = 56 \text{ Kgs/m}^2 = 56 \text{ mms. o } 560 \text{ m}^3/\text{há.}$$

Si se tratara de un cultivo de raíces profundas como es la alfalfa y se diese una penetración de un metro, el volumen máximo en suelo arenoso sería de 800 m³/há., y en caso de suelo franco, de 1.120 m³/há.

Pero no solamente es importante dar el agua necesaria, sino la velocidad con que se de, esta será función del tipo del suelo, de la inclinación que tenga este y del cultivo.

La intensidad del riego se puede regular en la aspersión, al grado más conveniente, de modo que no se produzca escurrimiento superficial ni inundación, estos efectos se producen cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la velocidad de infiltración. La infiltración se rige por distintas leyes, según el terreno esté o no inundado.

La ley de Darcy establece que $V = KJ$ en que V es la velocidad de infiltración, K, la permeabilidad y J la pérdida de carga disponible.

Según Kozeny la expresión general de J es

$$J = \frac{\text{carga } h + \text{altura capilar } H}{\text{camino recorrido}}$$

El hecho de que intervenga la altura capilar hace que la velocidad de infiltración en terrenos de muy diferentes permeabilidades sea semejante y explica las cifras que se exponen a continuación:

Arca calcárea	0.0089 mm/seg.
Arena	0.0058 mm/seg.
Greda	0.0099 mm/seg.

Como se puede apreciar la greda, a pesar de tener permeabilidades miles de veces menor que la arena, tiene alturas capilares miles de veces mayor, lo que permite velocidades de infiltración semejante. Las velocidades de infiltración con el orden 20-36 mms/hra.

ALTURAS CAPILARES

Arena mediana (d = 1 mm.)	= 0,05 mts.
Arena fina (d = 0,1 mm.)	= 0,10 — 0,50 mts.
Limo (d = 0,03 — 0,02)	= 0,50 — 2,00 mts.
Loes	= 2 — 5 mts.
Greda	= 20 — 50 mts.
Arcilla magra	= 0,50 — 2,00 mts.
Arcilla pura	= 50 mts.

La altura capilar regirá mientras el terreno no esté inundado, pues una vez que los poros se encuentren saturados, el terreno se inundará anulando el efecto de la tensión superficial de los meniscos superiores, reduciendo así la altura capilar a cero y rigiendo la ley de Darcy. Luego, será de enorme importancia no dar el riego a una intensidad mayor que la velocidad de infiltración para no producir escurrimientos superficiales y conocer la profundidad a que se encuentra el agua freática.

* El Departamento de Agricultura de Estados Unidos da las siguientes velocidades máximas de aplicación según el tipo de suelo y pendiente:

(*) U. S. Dep. of Agriculture. Soil Conservation service.

VELOCIDAD DE APLICACION EN mm/hra.

Pendientes en %:	0 — 5%		5 — 8%		8 — 12%		12%	
	c.v.	s.d.	c.v.	s.d.	c.v.	s.d.	c.v.	s.d.
1. Suelo arenoso grueso uniforme hasta 0,15 mts.	50	50	50	37	37	25	25	12
2. Suelo arenoso grueso sobre subsuelo más compacto	44	37	31	25	25	19	19	10
3. Suelo arenoso fino uniforme hasta 0,15 mts.	44	25	31	20	25	15	19	10
4. Suelo arenoso fino sobre subsuelo más compacto	31	19	25	12	19	10	12	7
5. Suelos limosos uniformes hasta 0,15 mts.	25	12	20	10	15	7	10	5
6. Suelos limosos sobre subsuelo más compacto	15	7	12	6	10	9	8	3
7. Suelos pesados o gredosos	5	4	4	3	3	2	3	1

c. v. = con vegetación.

s. d. = suelo desnudo.

EL AIRE Y EL SUELO

Un buen riego debe ser una combinación de aire y agua. El aire contenido en el suelo es de vital importancia, tanto para la planta como para los microorganismos cuya misión fundamental es transformar la materia orgánica. El exceso de agua en suelos poco permeables o en suelos permeables atravesados por una capa impermeable, o en que el nivel de la napa subterránea esté muy cerca de la superficie, puede producir el anegamiento y la planta muere de asfixia por falta de aire; el oxígeno no ha podido penetrar a la zona anegada, ni el CO₂ salir de ésta, el intercambio gaseoso ha cesado. Los microorganismos más importantes y numerosos del suelo son las bacterias aeróbicas, que tiene como misión fundamental, descomponer la sustancia orgánica en nitratos asimilables. El anegamiento al privar de oxígeno a las bacterias aeróbicas impiden que éstas cumplan su cometido y la transformación se hace en forma anaeróbica, lo que viene a significar, putrefacción.

La aspersión, además de eliminar el peligro de anegamiento, incorpora al suelo, oxígeno y nitrógeno.

EL AGUA Y LA TEMPERATURA DEL SUELO

Debido a que, en el riego por aspersión, el agua está durante algunos momentos en contacto íntimo con la atmósfera, la temperatura de ésta tenderá a igualarse con la del ambiente y, por lo tanto, el enfriamiento del suelo será menor. De

gran importancia es el caso en que las aguas con que se riegan sean de origen subterráneo y que fácilmente pueden tener diferencias de 20°C con la temperatura del suelo. La aspersión logra debido a la pequeña diferencia de temperatura existente entre la lluvia y el suelo, su reducido volumen en comparación con otros sistemas de riego y su uniformidad con pequeña variación de la temperatura del suelo una gran homogeneidad de ésta sin provocar deformaciones físico-térmicas en el terreno. Debido a que el riego por aspersión logra mantener la temperatura del suelo al nivel más conveniente y en forma homogénea, se excitan los fenómenos tanto fisiológicos como físico-químicos y constituyen según la opinión de algunos, el motivo fundamental de la baja tasa de riego.

El riego común debido a la excesiva cantidad de agua, a la desuniformidad con que se reparte y a la baja temperatura del agua, (agua subterránea) no solamente enfría demasiado el suelo, sino que aumenta su calor específico, lo que dificulta las posibilidades que el terreno se caliente a la temperatura más conveniente 30-34° C.

EL AGUA Y LA ESTRUCTURA DEL SUELO

La humedad influye poderosamente sobre la estructura de los suelos, especialmente cuando estos son arcillosos debido a las fuertes contracciones volumétricas que pueden sufrir estos al variar la humedad. La variación de la humedad de un terreno entre límites convenientes, provoca un mejoramiento de la estructura superficial. Al secarse el suelo se forman pequeñas grietas, al darse un nuevo riego se produce una dilatación pero no lo suficiente como para cerrar las grietas, de modo que éstas se ensanchan. En la aspersión se produce este fenómeno, pero no adquiere nunca los caracteres que toma cuando se riega mediante los métodos convencionales donde se producen grandes rajaduras y verdaderos panes de tierra compacta. Este fenómeno no tiene importancia en los suelos sueltos, pero en los suelos arcillosos la aspersión ofrece la ventaja de mantenerlos en el grado de humedad más conveniente impidiendo así las grandes contracciones volumétricas que fuera de dañar las raíces de los cultivos, hace que se pierda agua, por infiltración directa.

Según experiencias hechas por Freckmann se ha demostrado que la lluvia artificial solo produce efectos perjudiciales en el terreno, cuando la precipitación es mayor que 1,5 mms. mín.; se puede apreciar que este límite es muy superior a las velocidades de infiltración en los terrenos. Las intensidades que se usan en el riego artificial varían desde 2 mms. por hora hasta 20, siendo ya este último algo elevado, lo más común, es entre 6-10 mms/hora. La gota gruesa, que es la perjudicial para la estructura del suelo, se puede formar al final del chorro debido a la reducción de la velocidad horizontal del agua o cuando se hace trabajar a los surtidores a presiones más bajas de la que necesitan para su correcto funcionamiento.

Otra ventaja fundamental de la aspersión sobre otro sistema de riego es la eliminación del escurrimiento superficial aún en pendientes que llegan al 10% eliminando así el peligro de erosión e incorporando nuevos terrenos a la explotación agrícola. El regadío de lomajes sólo era posible mediante costosas nivelaciones, muy superiores al costo de un equipo de aspersión.

LAS PERDIDAS EN EL RIEGO

Hablaremos primeramente sobre las pérdidas por evaporación por ser esta la única que tiene importancia en el riego por aspersión. Distinguiremos las siguientes pérdidas:

1. Pérdida por evaporación durante el riego.
2. Pérdida por retención del agua en el follaje y luego evaporada.
3. Pérdida por evaporación superficial (del suelo).

1. Pérdida por evaporación durante el riego.

No toda el agua que sale del pistón va a caer sobre las plantas o el suelo, debido a la pérdida por evaporación que tendrá el agua en su recorrido.

Para la evaporación se necesita calor y este puede provenir de la:

- a) Radiación solar o insolación;
- b) Del aire;
- c) Del agua.

La determinación de la cantidad perdida por evaporación, presenta muchas dificultades debido al gran número de factores del cual depende la evaporación (*).

A continuación, para dar una idea de los factores que intervienen en la evaporación, presento una fórmula general basada en la conservación de la energía y que da la evaporación para una superficie libre de agua:

$$E = \frac{I - S - C - Br}{L(1 + R)}$$

I = Insolación en cal — gr/cm².

S = Calor sensible del agua.

C = Conducción.

Br = Radiación R = Coeficiente
de Bowen

L = Calor latente de evaporación.

El coeficiente R de Bowen es la razón entre la energía perdida por convección y la energía perdida por evaporación y está expresado por la siguiente fórmula:

$$R = \frac{0,46 (T_w - T_a) \cdot P}{(P_w - H) \cdot 760}$$

donde T_w es la temperatura del aire en contacto con el agua y P_w la presión del vapor de agua de este aire (Corresponde al Wet Bulb point) T_a y H corresponden a la temperatura del aire y a la presión del vapor de agua del aire. P es la presión atmosférica.

(*) BURT Richardson: Evaporation as a function of insolation. *Tras. ASCE* Vol. 95, 1931.

El calor de la irradiación está dado por la fórmula:

$$Br = 0.906 a Tw^4 - ba Ta^4$$

Tw y Ta en grados Kelvin
 a = cte Stefan Bolzman = 5.7×10^{-5} erg/cm²/seg/grado.
 b = 0.790.

El calor sensible del agua queda medido por la variación de temperatura de esta. La importancia de cada uno de estos factores se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Cal—/cm ² /día		
Evaporación	485,9	
Calor sensible	0,8	
Convección	34,4	E = 485.9 0.66 cms. 6,6 mms <hr style="width: 100px; margin: 0 auto;"/> 585.122
Radiación del agua	128,2	
Conducción	13,0	
Insolación observada	662,3	

Se puede apreciar que la energía necesaria para la evaporación proviene en su totalidad de la radiación solar y que la influencia del calor sensible del agua sobre ésta, es nula. Si bien en el caso de gotas de agua pasando rápidamente a través del aire su influencia puede ser mayor, resulta de ninguna validez tratar de determinar las pérdidas por evaporación midiendo la caída de la temperatura del agua, como lo ha hecho J. E. Christiansen. Este punto está aún confirmado en la práctica ya que al regar de noche el agua se enfría y la pérdida por evaporación es despreciable, mientras que en el día el agua se puede calentar o enfriarse y las pérdidas son apreciables.

Para tratar de aplicar una fórmula de este tipo habría que hacer una serie de suposiciones respecto a la pulverización del chorro y, además debería ir acompañado de experimentación. En este caso conviene medir directamente la evaporación (*). A continuación, presento los resultados obtenidos en cientos de experiencias realizadas en la Universidad de California destinadas a medir la pérdida en referencia.

RESULTADOS DE EXPERIENCIAS

Los resultados de la experiencia indican más bien la pérdida por evaporación del agua entre el pistón y el suelo más la proveniente de la evaporación de los tarros o pluviómetros usados, de modo que en la práctica representaría la pérdida durante el riego.

Las pérdidas durante el riego cuando se riega en la noche o temprano en la mañana, son muy reducidas. De 21 experiencias hechas en la mañana con humedades relativas variables entre un 30-95% en 22, o sea, un 92%, la pérdida fué menor de un 10%, siendo la media alrededor de un 4%.

(*) Experiencias hechas por J. E. Christiansen.

Cuando se regó durante las horas de calor, las pérdidas variaron desde un mínimo de 10% a un máximo de 42% presentándose esta última pérdida con una humedad relativa de 15% y temperatura del aire 40.5°C. El gran porcentaje de estas experiencias se hizo con humedades relativas variables entre 20-50% siendo la pérdida media alrededor de un 20%.

Para reducir esta pérdida a un mínimo, se recomienda no regar en las horas de máximo calor, y no usar lluvia muy pulverizada. Esta pérdida por evaporación es el más serio inconveniente que tiene el riego lento por aspersión que quiere regar con intensidad del orden de 2 mms/hora; la pérdida será enorme ya que la capa superficial del suelo se encontrará permanentemente, mientras dura el riego, saturada, y la evaporación superficial será del mismo orden o mayor que la evaporación de una superficie libre de agua; si a esto agregamos la pérdida mientras el agua está en el aire y la proveniente de la retención del follaje, llegamos a la conclusión que se puede perder gran parte de esta agua.

Pérdida por retención en el follaje.

Al darse una lluvia sobre un cultivo, parte del agua será interceptada por el follaje y luego evaporada. A pesar de que, como hemos visto, esta agua no es enteramente inútil, debe considerarse como una pérdida ya que la mayor parte se evaporará. Generalmente, se dan cifras de retención en el follaje como un porcentaje de la lluvia; como se comprende la validez de estas cifras es muy relativa, ya que depende fundamentalmente de la intensidad y duración de la lluvia. Además la retención del agua no puede pasar de cierto límite debido a que el agua empezará a escurrir por las ramas y tallos hasta llegar al suelo. Estas pérdidas pueden ser de importancia en caso de lluvias muy livianas.

Para dar una idea del valor que puede tener esta pérdida, se presenta el siguiente cuadro que adolece igual que casi todas, del defecto de dar la pérdida en % de la lluvia sin expresar la intensidad y duración de éstas.

	Alfalfa	Maíz	Soja
Penetración en la cubierta de vegetación	64,7	70,3	65,0
Escurrecido por las ramas	13,7	22,8	20,4
Total llegado al suelo	78,4	93,1	85,4
Pérdida en la atmósfera	21,6	6,9	14,6

Estas pérdidas pueden ser válidas para lluvias muy livianas o muy atomizadas, ya que, en general, una planta no puede retener más de 2 mms. de agua. En experiencias realizadas en Alemania sobre penetración del agua en suelos cultivados usando riego por aspersión, se llegó a la conclusión de que se necesitaba un 60% más de agua en suelos con pastos que en suelos sin cultivar. Estas experiencias se hicieron con lluvias de 20 mms., o sea, una lluvia bastante liviana. Con esta lluvia se obtenían penetraciones de 20 cms. en el suelo sin cultivar; para obtener igual penetración en suelo cultivado se debieran dar 30 mms. de lluvia. Esto indicaría una pérdida de más o menos 30%, que si bien puede ser válida para riego de 20 mms. no lo sería para lluvias mayores.

PERDIDA POR EVAPORACION SUPERFICIAL

Esta pérdida es ineludible en la agricultura extensiva y, por lo tanto, común para todos los métodos de riego aptos para grandes extensiones. Debido a la dificultad enorme que representa separar esta pérdida de la transpiración de la planta se ha hecho norma general juntar ambas y considerarlas como la cantidad necesaria de agua para que una planta se desarrolle en perfectas condiciones. Esta cantidad de agua se ha definido como el consumo evapotranspirativo de la planta o tasa neta o consuptive use de los americanos.

Esta pérdida será, en general, de mayor importancia en la aspersión que en los otros métodos de riego debido a los siguientes factores: 1º Generalmente en aspersión se hacen aplicaciones más livianas que en otros métodos de riego y más frecuentes, de modo que las pérdidas pueden ser bastantes elevadas debido a la frecuencia con que se satura la capa superficial; 2º La aplicación de 1 m³. de agua por aspersión es más caro que en otros métodos de riego y, por lo tanto, la pérdida representa una mayor pérdida económica.

La evaporación superficial de un terreno depende fundamentalmente de:

1. Evaporación que existe en el lugar desde una superficie libre de agua;
2. Humedad superficial del suelo y capacidad capilar;
3. Profundidad de la napa subterránea;
4. Irregularidad y color del suelo.

1. La evaporación en una superficie libre de agua es función de:

La presión;
Déficit de saturación;
Velocidad del viento;
Temperatura del aire.

Una fórmula recomendada en la obra de Ludwig Bendell, Ingenieur Geologie y que ha sido usada por los italianos con resultados prácticos, es la siguiente:

$$C = 0,18259 t - 0,01823 r + 0,15145 v$$

e = evaporación en mms. por día.

t = Temperatura del aire en grado C.

r = humedad relativa del aire en %

V = velocidad del viento en km/hra.

En un día de verano se puede tener:

$$t \approx 25^\circ \text{ C.}$$

$$r = 40\%.$$

$$V = 10 \text{ km/hra.}$$

$$C = 4.55 - 0.73 + 1.51 = 5.23 \text{ mms.}$$

Considerando que la evaporación en el valle central es de alrededor de 1200 — 1100 mms de agua y que gran parte de la evaporación se produce en verano y durante el día, una evaporación de 5-6 mms. en un día de verano, no es exagerada.

2. Las experiencias demuestran que la evaporación de un suelo saturado es, más o menos, del mismo orden que la evaporación desde una superficie libre de agua y depende de la irregularidad de un terreno y de su color. Bendel da los siguientes valores en % de la evaporación de una superficie libre de agua.

Un suelo muy irregular	100%
Un suelo áspero	88%
Un suelo suave	82%
Tierra negra	100%
Tierra café	70%
Blanca	65%

Para apreciar la enorme influencia del viento, se da el siguiente cuadro en el cual se puede comparar la pérdida por evaporación con y sin viento.

Velocidad en mts/seg.	Viento horizontal		
	Suelo arenoso saturado	Suelo gredoso saturado	Viento a 30°
0	0.23 mms.	0.31 mms.	
3	3.03 "	2.70 "	5.00 mms.
6	4.57 "	4.50 "	7.37 "
9	5.50 "	6.23 "	9.50 "
12	6.43 "	7.80 "	11.87 "

Respecto a la influencia de la profundidad de la napa subterránea, se da el siguiente cuadro dado por R. B. Sleight para suelo arenoso.

Sup. libre de agua	100%
Suelo saturado	77%
Nivel de la napa a 3"	69%
" " " " " 6"	64,5%
" " " " " 10"	57,7%
" " " " " 24"	11,3%

Estas experiencias se han hecho en suelos saturados y sin vegetación; las pérdidas en suelos cultivados serán mucho menores, debido a que el suelo se encuentra parcialmente a la sombra y a que la transpiración de la planta reduce rápidamente el contenido de agua del suelo, lo que viene a reducir la capacidad de movimiento del agua capilar. Prácticamente toda la pérdida por evaporación proviene de los primeros 30 cms. y gran parte de ésta, de los primeros 10 cms.

Aplicaciones livianas de 10-30 mms. son frecuentes en la aspersión para ayudar la germinación e impedir que el suelo seque y se quebraje, en estos casos, gran parte del agua se perderá por evaporación.

La formación de capas aislantes con el mismo suelo, produciendo una delgada capa de suelo seco, solamente será conveniente en cierto tipo de cultivo que requieren muy poco riego y en regiones donde no se produzcan lluvias después de la formación de la capa, ya que cualquiera lluvia restablecerá la capilaridad.

Las únicas pérdidas importantes que se producen al distribuir el agua por aspersión son las provenientes de la evaporación durante el riego y la retención de agua en el follaje. Estas pérdidas pueden fácilmente ser reducidas a un minimum no regando en las horas de máximo calor, o sea, regando desde un poco antes de la puesta del sol hasta la mañana siguiente. Si se riega durante estas horas, las pérdidas en referencias se pueden estimar en un 10% más. Si se riega en las horas de mucho calor, se puede perder hasta un 40%. En general, se estima como buena práctica considerar en la aspersión un rendimiento de 75% en el caso que se riegue durante 12 horas en el día, lo que viene a significar un 25% de pérdidas. Si el riego se hace de noche, con alta humedad relativa, y sin viento se puede estimar que la pérdida no será mayor de un 10%.

La economía de agua que se produce en la aspersión se debe a que se puede obtener la penetración más adecuada según el tipo de suelo y cultivo con gran uniformidad eliminando las pérdidas por escurrimiento superficial y percolación.

Pérdida por escurrimiento superficial.

Esta pérdida se logra eliminar casi completamente en el riego por aspersión, ya que se puede dosificar la intensidad de la lluvia según las características del suelo y la topografía de la región por regar; en este sentido la aspersión logra regar lomajes con pendientes hasta de un 8-10% sin provocar escurrimiento superficial que fuera de ser una pérdida de agua, representa un activo agente de erosión lo que haría prácticamente imposible regar por métodos convencionales terrenos con pendientes mayores que 1/2% sin producir erosión. Para regar lomajes por métodos convencionales se debía recurrir a costosas nivelaciones muy inferior al costo de un equipo de aspersión. La aspersión ofrece así la posibilidad de incorporar nuevas tierras al cultivo intensivo.

Esta pérdida en el riego por tendido es muy apreciable y del orden del 20-30% cuando se riega con cuidado y de día; esta pérdida será mucho menor en extensiones grandes que en terrenos individuales debido a que esta agua se puede usar de nuevo en los terrenos bajos en forma de derrames.

Pérdidas por percolación.

Esta pérdida es eliminada completamente en el riego por aspersión ya que se puede dosificar el agua para obtener la penetración deseada y obtener ésta con gran uniformidad. La cantidad de agua perdida por percolación a profundidades mayores que la zona de las raíces en los métodos convencionales depende principalmente de la textura del suelo, el camino que deba recorrer el agua para llegar a las partes más bajas del terreno y de la cantidad de agua que se usa en cada riego. El mecanismo bajo el cual se produce esta pérdida en los métodos por tendido y de camellones es el siguiente:

Al entrar el agua por un extremo del potrero y ponerse en contacto con el suelo seco se produce una rápida absorción, esta absorción será continuada

hasta que el agua haya logrado llegar hasta el otro extremo y, una vez que se corte el suministro de agua cesará primero la absorción en el extremo inferior mientras que en la parte inicial continuará cierto rato. Para combatir esto se puede aumentar el caudal con que se riega reduciendo así el tiempo que toma el agua en recorrer el camino entre una acequia regadora y otro, pero este aumento de caudal llevará aparejado un aumento del poder de arrastre del agua y, por lo tanto aumentará la erosión. La única solución para reducir en algo estas pérdidas en los métodos convencionales es reducir el camino que deba recorrer el agua lo cual se traduce en número excesivo de acequias con lo cual fuera de perderse terreno impide la mecanización.

El avalúo cuantitativo de estas pérdidas es en general, muy complejo por los muchos factores que intervienen pero se puede decir que en los métodos convencionales puede variar de un 5-60% según el tipo de suelo y caudales que se usen. Si bien esta pérdida será de poca importancia en los suelos francos y profundos lo será de enorme importancia en suelos permeables y delgados.

LA ECONOMIA DE AGUA EN LA ASPERSION

La economía de agua que se produce en la aspersión se debe casi exclusivamente a que en este método se produce la penetración deseada con la cantidad exacta de agua determinada según las condiciones del suelo, con una uniformidad muy elevada y eliminando las pérdidas de escurrimiento superficial y percolación, más allá de la zona de las raíces.

Esta economía será muy significativa en caso de que se riegue cultivos de raíces superficiales, que son aquellos que extraen su humedad de los primeros 50 cms. (20") del suelo, tales como: granos, hortalizas, citrus, trébol, vinos, etc. En general, se puede decir que para regar estos tipos de cultivos los riegos deben estar comprendidos entre los siguientes límites, según los tipos de suelos.

Suelos arenosos	=	250 — 500 m ³ /há.
Suelo franco	=	500 — 800 m ³ /há.
Suelos arcillosos	=	750 — 1000 m ³ /há.

En Chile, donde se acostumbra regar por tendido y con consumos que rara vez bajan de 1.000-1.300 m³/há., las pérdidas por percolación más allá de la zona de las raíces pueden variar de 75-50% en casos de suelos arenosos a un 10% en caso de suelos arcillosos; * en este último, las pérdidas por escurrimiento superficial serán dominantes y pueden variar entre un 10-30%, lo que significa en el primer caso que la aspersión permitirá regar entre 4 y 2 veces más superficie con igual cantidad de agua y en el segundo, 1,3 veces más si se acepta que se pierda un 30%. Si a esto agregamos que en el riego por tendido el agua no se reparte en manera alguna de modo uniforme y que habrá puntos que recibirán el equivalente de 2.000 m³/há. y otros apenas mil, lo cual indiscutiblemente afecta el rendimiento, (se ha comprobado que al regar por aspersión se producen aumentos de rendimiento de alrededor de un 30% siempre que se de el agua necesaria), llegamos a la conclusión que la aspersión es el método ideal de riego para estos cultivos, especial-

(*) (En caso de cultivos de raíces superficiales).

mente en caso de suelo permeable o suelos delgados en que una nivelación es imposible o muy costosa.

En Estados Unidos de Norte América donde los métodos convencionales de riego se han perfeccionado mucho, evitando en lo posible el desperdicio de agua, se estima que el ahorro en suelos permeables alcanza a un 50% y en caso de suelos arcillosos y planos, 25%.

En Chile, donde abundan los terrenos permeables y delgados, arenosos en el norte y trumaos en el sur y si a esto agregamos la presencia de faldeos que hacen imposible el riego por métodos convencionales, sin producir grandes pérdidas por escurrimiento superficial lo que constituye un fuerte agente erosionador y que puede llevarse la delgada capa de suelo en pocos años, la aspersión ofrece la posibilidad de incorporar nuevas tierras a la producción nacional, no sólo por el hecho del menor consumo sino al permitir regar regiones en que, debido a condiciones topográficas (pendientes) no se podrían regar por métodos convencionales.

En el caso de suelos francos, de gran espesor, ricos en materias orgánicas y que forman planos casi perfectos, como los que se presentan en el valle central, los riegos por métodos convencionales se pueden aplicar con gran eficiencia y, en general, el riesgo por aspersión no convendrá aplicarlo, a no ser que se disponga de un caudal muy reducido, lo que hará muy laborioso y lento el riego por métodos convencionales o que la aspersión al ofrecer una mayor mecanización haga las condiciones de trabajo muy favorables.

Otro factor que permite reducir el consumo de agua se debe a que como la aspersión puede trabajar con caudales muy pequeños se puede disminuir la tasa neta de riego desde el punto de rendimiento óptimo a uno tal, que con la economía de agua se pueda regar una mayor superficie obteniendo así una mayor producción total sin afectar sensiblemente los costos. Esto es muy difícil hacerlo con los métodos convencionales debido a las grandes pérdidas que se producen. (Ver tasa neta y estudio económico).

TASAS DE RIEGO

Desgraciadamente en Chile no se han establecido estaciones experimentales para estudiar este punto. En los Estados Unidos y Canadá se ha comprendido la importancia. Es así como hoy día se puede conocer la tasa neta de riego en cual desarrollo y se ha experimentado y estudiado intensamente este problema de vital importancia. Es así como hoy día se puede conocer la tasa neta de riego en cualquier punto de su territorio.

A continuación definiremos la tasa neta de consumo evapotranspirativo.

“Tasa neta o consumo evapotranspirativo, es la cantidad de agua transpirada por la planta durante su crecimiento o retenida en el tejido de ella, más las evaporada de la superficie del suelo y vegetación expresada en mts. de agua o $m^3/há.$ en un tiempo determinado”.

Tratar de determinar la tasa neta separando la transpiración de la evaporación superficial es muy difícil y poco aconsejable. Ambos consumos irán siempre juntos de modo que en caso de recurrir a experiencias no convendría separarlos, no solamente por las enormes dificultades que se presentan sino porque lo que interesa conocer es la suma de ambos. Este punto de vista ha sido aceptado por

los principales investigadores de tasas de riego, los cuales se han dedicado tanto en sus experiencias como en sus estudios teóricos a determinar la tasa neta definida en las columnas de arriba.

El consumo evapotranspirativo o tasa neta depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- 1º Clima;
- 2º Tipo de cultivo;
- 3º Disponibilidad de agua;
- 4º Textura del suelo y topografía;
- 5º Método de riego.

1º El clima tiene una influencia determinante en el consumo evapotranspirativo a través de la acción que tienen sobre éste sus principales factores, a saber: temperatura, radiación, solar, precipitación, humedad y longitud del período de crecimiento. Los cultivos en que más se nota la influencia del clima son la alfalfa y los pastos permanentes y se ha observado experimentalmente que el consumo evapotranspirativo en estos cultivos es muy semejante a la evaporación de una superficie libre de agua, lo cual se comprende ya que ambos fenómenos están gobernados casi por idénticos factores.

Basados en la influencia determinante que ejerce el clima sobre el consumo evapotranspirativo se ha tratado de llegar a fórmulas empíricas conociendo algunos datos estadísticos del clima.

Basándose en que un cultivo necesita una determinada cantidad de calor para producir una cosecha se han hecho estudios que relacionan el agua consumida y la cantidad de calor efectivo. Para medir el calor efectivo se han usado dos métodos, uno basado en las temperaturas máximas diarias y otro en las temperaturas medias diarias, haciendo la suma de estas temperaturas durante el período vegetativo se tiene una medida del calor efectivo. Llevando en abscisas el calor efectivo y en ordenadas la tasa neta se ha observado que los puntos están sobre una línea recta.

Como fin ilustrativo presento los resultados a que llegó el U. S. Geological Service.

Para determinar el calor efectivo considero la temperatura media diaria en exceso sobre 32°F lo que hace muy sencillo pasar a grados Celcius. La recta obtenida por ellos sería la siguiente, en unidades métricas:

$U =$ Tasa neta en mts.

$H =$ Calor efectivo en días grados Celcius durante el período de crecimiento.

$U = 0.000122 H + 0.119.$

Si llamamos t_m la temperatura media durante el período de crecimiento y n el número de días que abarca éste, tendríamos:

$U = 0.000122 \cdot t_m \times n + 0.119.$

Por ejemplo, si la temperatura media durante el período de crecimiento es de 20°C y este dura 180 ds., tendremos:

$U = 0.000122 \cdot 20 \cdot 180 + 0.119 = 0.44 + 0.12 = 0.56$ mts. o 5.600 m³/há.

Si el período de crecimiento dura todo el año (sin heladas) y se considera una temperatura media de 20°C, tendremos:

$$U = 0.000122 \cdot 20 \cdot 360 + 0.12 = 0.88 + 0.12 = 1 \text{ mts. o } 10.000 \text{ m}^3/\text{há.}$$

La recta en referencia representa una condición media y se estima que los consumos pueden variar $\pm 20\%$ según las condiciones locales. Así en el primer ejemplo la tasa puede variar desde 4.500 m³/há — 7.000 m³/há.

A las mismas conclusiones llega J. L. Bühholder que propone usar una zona en vez de una recta, la recta media determinada por él tiene variaciones de $\pm 20\%$ con las que limitan la zona*.

Harry F. Blancy y W. D. Criddle han desarrollado una fórmula empírica que permite determinar los consumos mes a mes siempre que se conozcan la temperatura media mensual y el porcentaje mensual de horas de sol con respecto al año. Este método es recomendado, por "The Division of Irrigation and Water Conservation" cuando se quiere estimar el consumo evapotranspirativo con datos climáticos**.

La fórmula desarrollada por estos ingenieros que gozan de gran prestigio en Estados Unidos y que han investigado tasas de riego por más de 20 años se ha aplicado con gran éxito, tanto en U.S.A. como en países sudamericanos y ha merecido ser publicada en los T.A.S.C.E. en varias oportunidades.

El método consiste en lo siguiente:

Sea "t" la temperatura media mensual y p el porcentaje mensual de horas de sol con respecto al año; el producto de ambos define un coeficiente "f" de consumo y que mide en cierto grado la radiación solar de la cual proviene la energía vital para el desarrollo de las plantas. Se supone que el consumo variará proporcionalmente a "f" cuando la planta dispone de agua suficiente, el coeficiente de proporcionalidad depende del cultivo.

Luego si U = tasa neta mensual en pulgadas:

U = Tasa neta en el período de crecimiento.

 horas de sol al mes.

$$p = \frac{\text{horas de sol al mes.}}{\text{horas de sol al año.}}$$

t = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit.

$$f = p \cdot t$$

$$U = k \cdot f$$

$$U = \Sigma k \cdot f = K \cdot F.$$

Si se expresa la temperatura en grados fahrenheit según los autores con K = l se tiene la evaporación de una superficie libre de agua en zonas áridas o desérticas expresadas en pulgadas, en caso de zonas húmedas o de clima marítimo K baja a 0.90.

Los autores han encontrado los siguientes coeficientes en la zona oeste de Estados Unidos la cual abarca muchos tipos de clima. Los coeficientes que se exponen a continuación han sido usados en zonas muy secas y se recomienda bajarlo en un 10% para climas húmedos o marítimos. En ningún caso el mejor

(*) Comsumptive use of water T. A. S. C. E., 1942, pág. 1287.

(**) Comsumptive use of water. A Simposium, Harry F. Blancy. TASCE., 1952.

método para determinar K correctamente es conocer el consumo en una región y de ahí saca el valor de él.

<i>Tipos de Cultivos</i>	<i>K zona seca</i>
Alfalfa	0.85
Porotos	0.65
Maíz	0.75
Algodón	0.62
Citrus	0.55
Pastos	0.75
Papas	0.70
Arroz	1.00
Granos	0.75
Betarraga	0.70

En general, el factor K no es constante y varía con las estaciones. Para la alfalfa se tendría en un clima continental y seco.

	<i>K</i>
Octubre	0.60
Noviembre	0.70
Diciembre	0.80
Enero	0.85
Febrero	0.85
Marzo	0.85
Abril	0.70

El porcentaje mensual de horas de sol es función de la latitud y existen tablas que dan estos valores.

Si bien estos métodos dan su máxima utilidad cuando se conocen datos experimentales y se desea calcular la tasa de riego en una zona en que sólo se conocen datos climatéricos, su aplicación nos podrá dar una idea de la tasa neta y será de especial valor si comparamos los resultados obtenidos por otros caminos. Este método se encuentra aplicado ya en el Capítulo 8.

2. *Tipo de Cultivo.*

El tipo de cultivo influye sobre el consumo de agua. Cultivos tales como alfalfa, pastos permanentes, betarraga y algodón, consumirán grandes cantidades de agua, mientras que otros como citrus y granos consumirán menos. Sin embargo, el consumo peak puede ser muy similar. Lo mismo se puede decir sobre variedades mejoradas; el mayor rendimiento agrícola traerá consigo un aumento del consumo de agua.

3. *Disponibilidad de agua.*

Ningún otro factor fuera del clima tiene mayor influencia que este. No solamente influirá la cantidad disponible sino la calidad del agua. Cuando el agua es

cara o escasa se deben estudiar las curvas de rendimiento de un cultivo para diversas tasas ya que cerca del máximo rendimiento, las curvas son muy suaves (en ciertos cultivos) y una disminución de la tasa puede significar una disminución muy pequeña en el rendimiento y una mayor utilidad debido al menor costo de aplicar el agua en caso que ésta sea muy cara o al aumento de producción si se puede aumentar la superficie regada (ver cap. 7).

4. Textura del suelo y topografía.

En general, se puede decir que suelos pobres necesitarán más agua por kg. de materia seca producida, pero el consumo total será mayor en suelos de buena calidad debido a los mayores rendimientos. Una mala preparación del suelo aumentará el consumo por evaporación superficial sin ningún beneficio para la planta.

5. Métodos de riego.

Si se mantiene el suelo mediante riegos frecuentes con humedades muy altas (cercanas al coeficiente de campo) los consumos por transpiración y evaporación superficial serán muy altos y sin un aumento apreciable del rendimiento. En este tipo la aspersión ofrece la ventaja de mantener el suelo en el grado de humedad más conveniente. Se considera una buena práctica para mantener la planta creciendo a un máximo de intensidad, dar un riego una vez que se ha consumido las $\frac{2}{3}$ partes de la humedad disponible.

CONSUMO PEAK

Existe una serie de días en los cuales el consumo será mayor que el consumo medio diario del mes de máximo consumo. En general, se estima que este consumo peak es igual a 1,5 veces el consumo medio diario del mes de máximo consumo. Cuando se desea obtener buenos rendimientos será indispensable considerar este peak y muy especialmente en un equipo de aspersión.

A continuación se dan los valores de consumos peak diarios para diversos cultivos expresados en cms. de agua y en lts/seg/há. en 24 horas.

CONSUMO PEAK DIARIO

CULTIVO	CLIMA FRIO		CLIMA MODERADO		CLIMA CALUROSO	
	cms.	lts./seg/há	cms.	lts./seg./há	cms.	lts./seg./há.
Alfalfa	0.38	0.45	0.51	0.60	0.63-0.76	0.74-0.90
Pastos	0.30	0.35	0.41	0.48	0.51-0.63	0.60-0.74
Granos	0.38	0.45	0.51	0.60	0.56	0.66
Papas	0.25	0.30	0.30	0.35	0.36	0.42
Betarraga azucarera	0.30	0.35	0.38	0.45	0.51	0.60
Huertos frutales	0.38	0.45	0.51	0.60	0.63	0.74
Huertos frutales con otros cultivos	0.51	0.60	0.63	0.74	0.76	0.90

El gasto máximo en lts/seg. y la frecuencia de 1 de los riegos queda determinada por la cantidad de agua útil que pueda almacenar el suelo. En suelos de

gran capacidad de retención los riesgos serán poco frecuentes y la razón entre el gasto máximo diario y gasto medio mensual será cercano a 1. Mientras que en suelos livianos y delgados de poca capacidad de retención, los riesgos serán frecuentes y la razón entre el gasto máximo diario y medio mensual puede subir a 1.5.

Mayne P. Criddle ofrece el siguiente cuadro que hemos convertido a unidades métricas y que relaciona el consumo máximo diario (humedad del suelo que debe reponerse, expresada en cms. de agua) con el consumo máximo mensual y la capacidad de retención del suelo.

CONSUMO PEAK DIARIO

Consumo máx. mensual en m ³ /há.	Agua retenida en el suelo expresada en cms.							
	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20
750 m ³ /há.	0.40	0.35	0.30	0.28	0.27	0.25	0.25	0.25
1000 "	0.52	0.45	0.43	0.38	0.38	0.35	0.32	0.32
1250 "	0.67	0.58	0.52	0.48	0.45	0.42	0.40	0.40
1500 "	0.80	0.67	0.62	0.57	0.55	0.52	0.47	0.47
1750 "	0.92	0.80	0.72	0.67	0.62	0.60	0.57	0.57
2000 "	1.07	0.90	0.82	0.77	0.72	0.67	0.65	0.65

Supongamos que deseamos regar un cultivo que extraiga su humedad de los primeros 60 cms. y que el consumo máximo mensual sea 1.000 m³/há. Veremos el consumo máximo en tierra arenosa y suelo arcilloso.

Tierra arenosa:

El suelo puede retener entre su capacidad de campo y coeficiente de marchitez:

$$1.200 \cdot 0.60 \cdot (0.10) = 72 \text{ kgs/m}^2 = 7,2 \text{ cms.}$$

Se dará un nuevo riego cuando la planta haya usado los $\frac{2}{3}$ de esta agua, luego el agua que deberá reemplazarse en cada riego es $\frac{2}{3} 7,2 = 4,8 \text{ cms.}$

Luego daremos riegos de 5 cms. La tabla da para 5 cms. de agua retenida y consumo máximo mensual 1.000 m³/há., un consumo máximo de 0.45 cms. diarios, lo que equivale a un gasto continuado de 0.54 lts/seg/há.

El gasto continuado medio en el mes es de 0.40 lts/seg., y la razón entre el consumo peak — al consumo medio mensual máximo es de $\frac{0.54}{0.40} = 1.35$

Como en todo riego existen pérdidas, supondremos en el caso de riego por aspersión una eficiencia de 75% que es muy buena y, suponiendo que el consumo máximo lo cubra trabajando 22 horas, tendremos que el equipo deberá dar un gasto de

$$Q \text{ máx.} = \frac{0.54}{0.75} \cdot \frac{24}{22} = 0.79 \text{ lts/seg/há. (22 hrs.)}$$

Consideremos ahora un suelo arcilloso:

Cantidad de agua que se repone en cada riego:

$$\frac{2}{3} \cdot 1.200 \cdot 0.60 \cdot 0.20 = 96 \text{ kgs/m}^2 = 9,6 \text{ cms.}$$

Suponiendo que cada riego reemplace 10 cms. de agua en el suelo y que, el consumo mensual máximo sea el mismo $1.000 \text{ m}^3/\text{há}$. el consumo máximo será de $0.38 \text{ cms.} = 0.45 \text{ lts/seg/há}$. La razón entre el consumo peak y el medio mensual

será de $\frac{0.45}{0.40} = 1,1$ en vez de $1,35$ en el caso anterior.

Q máx. en las mismas condiciones anteriores será de:

$$\frac{0.45}{0.75} \cdot \frac{24}{22} = 0.66 \text{ lts/seg.}$$

CAPÍTULO III

Características de los surtidores y distribución del agua

El papel del surtidor consiste en producir verdaderas nubes de lluvia a una determinada presión hidráulica, con el grado de pulverización que se desee y repartirla de la forma más uniforme posible dentro de su radio de acción. Para repartir la lluvia el surtidor rota alrededor de un eje vertical aprovechando la energía proveniente de la presión del agua, según diversos dispositivos, a los cuales luego nos referiremos, en forma uniforme, de modo que cuando la lluvia reaparece en un punto determinado, el suelo ha podido absorber la precipitación anterior.

La bondad de un surtidor quedará medida según cumpla los siguientes requisitos:

- a) Radio de acción lo mayor posible en relación a la presión y pulverización;
- b) Tipo de distribución lo más uniforme posible;
- c) Rotación uniforme y de acuerdo con el radio de acción;
- d) Facilidad de manejo; montaje, desmontaje y transporte;
- f) Resistencia a la corrosión;
- g) Sencillez.

Un pistón que cumpla con las condiciones anteriores, dará un riego satisfactorio, siempre que los surtidores se dispongan en forma correcta, y que se les proporcione la presión adecuada para su funcionamiento y que este no tenga grandes variaciones entre un surtidor y otro; para esto se dimensionarán las redes de acuerdo con las condiciones que figuran en el capítulo correspondiente.

RADIO DE ACCION Y GRADO DE ATOMIZACION

El radio de acción de un surtidor depende fundamentalmente de:

- 1) Presión hidráulica;
- 2) Inclinación del pistón;
- 3) Grado de atomización;
- 4) Características hidrodinámicas del pistón;
- 5) Velocidad angular del pistón.

El alcance horizontal, teóricamente deberá ser máximo para una inclinación de 45° si se desprecia la resistencia del aire; debido a que el chorro se encuentra fuertemente pulverizado ésta no se puede despreciar y se obtiene el máximo alcance para ángulos comprendidos entre $20-32^\circ$, según el grado de pulverización del chorro; este fenómeno se comprende fácilmente ya que para ángulos menores la componente horizontal de la resistencia del aire disminuye.

Un factor que afecta en forma determinante, tanto el alcance como la dispersión del chorro, son las características hidrodinámicas del pistón y boquilla, los efectos de turbulencia que se produjeron al entrar el agua a la boquilla y que se manifestaban en una notable reducción del alcance, se han combatido mediante rectificadores que dividen la sección del pistón en varias más pequeñas, generalmente 4 ó 6 y con lo cual se logra aumentar el radio cubierto entre un 10-15% sin variar substancialmente el coeficiente de gasto. El coeficiente de gasto para las boquillas es ± 0.95 .

Respecto a la relación entre el alcance horizontal o radio cubierto, la carga H en la boquilla y la pulverización del chorro, Okhler y Zunker han establecido las siguientes relaciones, indicando además los cultivos que se pueden regar con la pulverización indicada.

<i>Relación R:H</i>	<i>Grado de Pulverización</i>	<i>Uso</i>
menor que 1	muy fina	Jardines y huertos
1 — 1,1	fina	Cultivos varios
1,1 — 1,2	semi-fina	Viña y frutales
1,2 — 1,3	semi-gruesa	Praderas y forrajes
mayor que 1,3	gruesa	no se usa

La relación R/H está íntimamente ligada a la pulverización para un surtidor de determinadas características pero esto no quiere decir que siempre que R/H sea 1,1 la lluvia será fina. El modo más lógico de definir el grado de pulverización será relacionarlo con el diámetro de las gotas.

La tabla dada anteriormente es válida para los surtidores más perfectos y que posean rectificador. Un surtidor con rectificador y con una relación r:H igual a 1,1 está dando lluvia fina; si se le saca el rectificador r:H será menor que 1 y la lluvia no será muy fina sino que más gruesa.

Para mayor comodidad he incluido un abaco para el cálculo de las boquillas usadas en aspersión; el abaco da el gasto Q de cada una para presión H en la boquilla; da, asimismo, el alcance de chorro, según tres tipos de pulverización, a saber: muy fina, fina, mediana. (Fig. N° 1) (Beregnungs — Technik, Karl Ludwig Lanninger).

Para el uso de los abacos entran los siguientes elementos:

H = presión del agua en la boquilla en mts. de agua.

Q = Gasto de la boquilla en m³/hora.

W = Alcance del chorro en mts.

d = diámetro de la boquilla en mms.

a = curva para lluvia mediana.

Wa = Alcance del chorro.

b = curva para lluvia fina.

Wb = " " "

c = curva para lluvia muy fina.

Wc = " " "

Los alcances que figuran son sin rectificador; si se le coloca al surtidor un rectificador, su alcance aumentará en $\pm 13\%$, su coeficiente de gasto permanecerá casi constante y, por lo tanto, la lluvia será más fina, a pesar de que r ha crecido, ya que se está repartiendo un mismo gasto en una superficie X casi un 30% mayor que la original.

Ilustremos el uso del abaco mediante un ejemplo.

$$H = 40 \text{ mts.}$$

Se tiene lluvia mediana con una boquilla de 24 mms, que consume 42 m³/hora y tiene un radio de acción de 43 mts. Si se le coloca al pistón un rectificador, el alcance subirá a 48, $\frac{r}{H}$ valdrá 1,2.

Se tiene lluvia muy fina con una boquilla de 18 mm., que consume 23 m³/hora y tiene un radio de acción de 34 mts., con rectificador se puede alcanzar 38 mts.

TIPOS DE SURTIDORES

En general habrá que distinguir surtidores de baja y alta presión. Los primeros trabajan con presiones de 2-5 atmósfera y dentro de estos límites de presión se puede regar con una sola posición de 500-8.000 m² según el grado de atomización; para esto vienen provistos de boquellas intercambiables y que permiten gastos variables entre 1 y 100 m³/hora, dando así un margen suficiente para elegir la pulverización adecuada. Los pistones de alta presión trabajan a una presión de 10-12 atmósferas, lo que les permite cubrir de una sola posición de 20.000-40.000 m².

La conveniencia de usar un surtidor de baja o alta presión es netamente de orden económico. A continuación, se hace un breve análisis de la potencia requerida por m² regado para ambos tipos de surtidores.

Supongamos un *surtidor de baja presión*, que vaya a funcionar con 4 atmósferas de presión en la boquilla que será de 20 mms. de diámetro.

Alcance de 1 chorro (Pistón con rectificador) = $r = 44$ mts.

Superficie cubierta = 6.090 m².

Superficie neta (disposición hexagonal) = 5.020 m².

Gasto de la boquilla para $H = 40$ mts.

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{hora} = 8,35 \text{ lits/seg. (Ver abaco).}$$

Potencia de la bomba consumida por el pistón ($\eta = 0.666$).

$$HP = 20 \cdot Q \cdot H = 20 \cdot 0,00835 \cdot 45 = 6,7 \text{ HP}$$

Potencia por m² de area neta = $\frac{6.7}{5.020} = 0.00133 \text{ HP/m}^2 \text{ neto.}$

Surtidor de alta presión: $H = 120$ mts.

ϕ boquilla = 50 mms.

Alcance del chorro $r = 120$ mts.

Superficie cubierta = 45.200 m².

Superficie neta (Disposición hexagonal) = 37.400 m².

Gasto de la boquilla = $Q = mw\sqrt{2gH} = 0,95 \cdot 0,00197 \cdot \sqrt{19,6 \cdot 120} = 0.091 \text{ m}^3.$

$$Q = 91 \text{ lits/seg.} = 328 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Potencia de la bomba consumida por el pistón ($\eta = 0.66$ para la bomba).

$$HP = 20 \cdot 0.091 \cdot 120 = 218 \text{ HP.}$$

$$HP = \text{por m}^2\text{-neto} = 0.00585 \text{ HP/m}^2 \text{ neto.}$$

El *máyor consumo de potencia por m²* se debe a dos factores el pistón de alta presión trabaja a una presión 3 veces mayor y, además, da una precipitación 1,46 veces intensa que el de baja (7,3 mms. y 5 mms. por hora intensidad medias para el área cubierta), por lo tanto, el mayor consumo de potencia por m² es: 1,46 veces más intensa que el de baja (7,3 mms. y 5 mms. por hora intensidad medias para el área cubierta), por lo tanto, el mayor consumo de potencia por m² es:

3 · 1,46 = 4,38 veces. Como pasamos a comprobar:

$$\frac{\text{HP/m}^2 \text{ neto para alta presión}}{\text{HP/m}^2 \text{ neto para baja presión}} = \frac{0.00585}{0.00133} = 4.39$$

Para una aplicación de igual intensidad, la relación de potencias bajará a 3.

El consumo de energía será siempre el triple para el de alta presión. Claro es que el surtidor de baja presión necesita, a lo menos, 7½ cambios de posición para regar una superficie igual pero esto no tiene importancia, debido a su alta movilidad, tanto del surtidor como de las cañerías. El surtidor de alta presión será económico usarlo en grandes extensiones, donde la energía sea muy barata o donde se disponga de un desnivel natural suficiente, debido a las grandes dimensiones y pesos, tanto, del surtidor y cañerías su instalación deberá ser fija o semifija, ya que una instalación completamente móvil perdería su calidad de tal si usara estos surtidores.

Respecto al dispositivo de que se valgan los surtidores para rotar, podemos distinguir:

- 1º De turbina;
- 2º De reacción.

Los surtidores del primer tipo poseen una pequeña turbina ya sea accionada por el chorro principal o uno secundario; esta turbina transmite el movimiento a través de engranajes al cuerpo del surtidor. Debido a la alta velocidad con que gira la turbina con relación al pistón, miles de veces mayor, ésta tiene asegurada una rotación absolutamente uniforme. Con este tipo de surtidores no conviene regar con aguas servidas o usarlos para distribuir abonos mediante la lluvia fertilizante ya que fácilmente se puede quedar atascada la turbina.

Los surtidores del segundo tipo obtienen una rotación debido a una pequeña excentricidad existente entre la boquilla y el eje del pistón; el problema difícil estaba en la regulación de la velocidad lo cual se ha conseguido hoy día de manera bastante perfecta mediante frenos de aceite. Este surtidor es mucho más sencillo que el anterior, ya que está provisto de engranaje de transmisión y por esto, es el surtidor ideal para distribuir abonos y para regar donde no existe asistencia técnica.

Según el ángulo que barran los surtidores, se puede distinguir:

- 1º Surtidores de círculo completo;
- 2º Surtidores de segmentos de círculo.

DISTRIBUCION DEL AGUA

Como habíamos dicho, el papel del surtidor consiste en repartir una lluvia artificial del modo más uniforme posible; ya que todos los surtidores riegan círculos

o segmentos del terreno, estos deben traslaparse para no dejar punto en seco; debido a esto, una aplicación completamente uniforme para toda el área que se desea regar es imposible, pero si los surtidores poseen un buen diagrama de distribución y se disponen en forma correcta, se puede obtener un excelente grado de uniformidad.

Llamaremos "diagrama de distribución" a la curva que resulta de llevar en abscisas la distancia al surtidor y, en ordenadas, la altura de la precipitación. Este diagrama, en condiciones ideales, ausencia de viento y rotación absolutamente uniforme, será simétrico respecto al surtidor, de modo que las curvas de igual altura de precipitación serán círculos concéntricos, y su centro será el surtidor. Más adelante presentamos este aspecto en relación a la uniformidad y espaciamiento de los surtidores.

Para distribuir el agua en forma uniforme sobre la superficie, se intercepta el chorro en forma intermitente mediante una pieza metálica que penetra y sale del chorro; cuando esta uña penetra en el chorro la superficie cubierta disminuye inmediatamente en $\pm 30\%$, dando así una mayor precipitación en la zona interna. El que la uña vaya fija tiene el inconveniente de disminuir la superficie cubierta. Este dispositivo, a pesar de dar un excelente diagrama de distribución, tiene el inconveniente de ser algo delicado.

UNIFORMIDAD DEL RIEGO

Para medir la uniformidad del riego, Christiansen ha definido el siguiente coeficiente:

$$C_u = 100 \left[1 - \frac{\sum_i^n /hm - hi/}{hm \cdot n} \right]$$

donde:

hm = precipitación media.

hi = precipitación en el punto i .

$/hm - hi/$ = Valor absoluto de la desviación.

n = número de puntos observados.

Esta fórmula se usará especialmente para estudios experimentales de uniformidad; en caso que se conozca el diagrama de distribución, se puede calcular la uniformidad para diversos espaciamientos de los surtidores cambiándola a la siguiente:

$$C_u = 100 \left[1 - \frac{\sum_o^n /hm - hi / dA}{H_m \cdot A} \right] \text{ donde } A \text{ es el área neta y } hi \text{ el valor}$$

de la precipitación en el área dA . La uniformidad se dará siempre para el área neta.

ESPACIAMIENTO DE LOS SURTIDORES Y AREA NETA

En la disposición de los surtidores habrá que considerar tres puntos fundamentales, a saber: Uniformidad del riego, eficiencia del área y sencillez de la disposición.

Las disposiciones más sencillas para disponer los surtidores de círculo completo son en cuadrado y en triángulo equilátero. Llamaremos "a" la distancia entre surtidores y "b" la entre líneas. El máximo espaciamiento entre surtidores quedará determinado en no dejar ningún punto en seco. Es evidente que si disponemos los surtidores muy próximos unos de otros, se puede obtener una uniformidad muy elevada, pero será antieconómico ya que no se está aprovechando al máximo el círculo que puede regar un pistón, y por lo tanto, la energía que se está gastando. Para medir el grado de aprovechamiento del área que puede cubrir un surtidor, se define el área neta.

Area neta:

Debido a que los círculos se translapan, no toda el área cubierta por un pistón será regada exclusivamente por éste. El área que efectivamente riega el pistón es un polígono que será un cuadrado en caso de disposición en cuadrado y un rombo o hexágono, en caso de disposición en triángulo equilátero. El caso más sencillo es aquel en que los surtidores se hallan dispuesto con el máximo espaciamiento y, por lo tanto, el mínimo de traslape compatible con la condición de no dejar puntos en seco, como en las figs. N.os 2 y 6. Se puede apreciar que en el caso de la disposición en cuadrado fig. N° 2 el área neta es el cuadrado ins-

crito en el círculo y de lado $a = b \cdot \frac{d}{\sqrt{2}}$ este cuadrado es igual al que forma los

centros de cuatro surtidores, y este se encuentra regado por cuatro surtidores, participando cada uno de ellos con un sector de $\frac{1}{4}$ de círculo, por lo tanto, el área neta será el cuadrado formado por cuatro surtidores contiguos.

Luego, para una disposición en cuadrado, el área neta es igual a a^2 , donde "a" es el espaciamiento entre surtidores. Si expresamos el espaciamiento en función del diámetro cubierto y el área neta en función del área barrida, tendremos:

$$a = K_1 \cdot d \quad \eta = \frac{\text{Area neta}}{\text{Area barrida}} = \text{Eficiencia del área.}$$

$$\text{Area neta} = a^2 = K_1^2 \cdot d^2 = \frac{\eta \pi d^2}{4}$$

$$\eta = \frac{4}{\pi} \cdot K_1^2 = 1,27 K_1^2$$

para el máximo espaciamiento $K_1 = 0.70$

$$\eta = 1,27 \cdot 0.307^2 = 63,5\%$$

Si disponemos las líneas surtidores formando un ángulo de 60° con la línea alimentadora y hacemos el espaciamiento entre línea $a = b$, tendremos que los centros de los círculos forman Δ equiláteros, Fig. N° 3. Si giramos las líneas de surtidores en 30° en el sentido contrario a los punteros del reloj, transformaremos la disposición de la Fig. N° 3 en la de la Fig. N° 4, las líneas surtidoras y alimentadoras quedan formando ángulos rectos y los centros de los surtidores forman un triángulo equilátero de lado "a". El espaciamiento b vale ahora $(a \cos 30^\circ)$

$$= a \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 a \quad (\Delta ABC \text{ Fig. N° 4}).$$

Se podrá apreciar a simple vista, que en el caso de la disposición en Δ equilátero se puede obtener una mayor área neta que en el caso del cuadrado, esta mayor área neta es el hexágono inscrito en el círculo. El mayor espaciamiento es:

$$a = d \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 d$$

$$b = d \cdot \frac{3}{4} = 0.75 d.$$

El área neta es:

$$\begin{aligned} \text{Superficie del hexágono} &= \\ 6 \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) &= \frac{3}{8} \cdot \sqrt{3} \cdot d^2 \\ &= \frac{3d^2 \cdot \sqrt{3} \cdot 4}{8 \cdot \pi d^2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\pi} = 0.825 \end{aligned}$$

El área neta para cualquier espaciamiento en triángulo equilátero, es igual al rombo de lado a , formado por los centros de cuatro surtidores ABCO; para regar este rombo participan con $1/6$ de círculo cada uno de los surtidores B y O y con $1/3$ de círculo cada uno de los surtidores A y C.

Luego área neta = Superficie rombo ABCO = 2 Superficie Δ equilátero ABC.

$$\text{Area neta} = AB \cdot DC = a \cdot b = a \cdot a \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = a^2 \cdot \frac{3}{2} = 0.866 \times a^2$$

$$\text{Si } a = K_1 \cdot d$$

$$\eta = \frac{0.866 \times K_1^2 \cdot d^2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = 1,1 K_1^2$$

Existe un tipo de surtidores que puede regar sectores de círculo, el surtidor al completar el barrido de un ángulo determinado, lo vuelve a barrer rotando en sentido contrario. Tiene como ventaja que se puede trabajar en seco y en ciertos casos permite una mayor eficiencia de área y uniformidad.

Las disposiciones más usadas son las que barren $1/3$ y $2/3$ partes del círculo.

La mayor eficiencia del área que queda determinada en no dejar ningún punto en seco, es igual en ambas disposiciones que para la disposición en triángulo equilátero η máx. = 82.5%.

Veremos ahora que la disposición en sector más favorable para ángulos de barrido mayor que 180° es la de $2/3$ de círculo, o sea, cuando el pistón barre 240° .

Es evidente que la mayor distancia a que puede existir entre surtidores que barren segmentos es $\frac{d}{2}$ ya que sino quedarían puntos en seco, a $\frac{d}{2}$ corresponde un ángulo de barrido de 240° . Para un ángulo de barrido de 180° $\eta = 0$.

Deduciremos una expresión de η válida para ángulos de barrido $180 \leq \eta \leq 240$. Ver Figs. N.os 5 y 6.

- γ = ángulo barrido.
- $2B$ = ángulo no barrido $360 - \gamma$
- d = diámetro del círculo.
- a = distancia entre surtidores.
- b = distancia entre líneas.
- η = eficiencia del área.

El área neta es el polígono FABCDE que está compuesto de 4 triángulos isósceles congruentes.

El espaciamiento entre surtidores de la misma línea $a = CF = d \cos B$

El espaciamiento entre líneas $b = CG = d \cos a/2 = d \sin B$

$$\text{Area neta} = 4 \cdot 1/2 d \cos B \frac{d}{2} \cos \frac{a}{2} = d^2 \cos B \sin B = \frac{d^2}{2} \sin 2B = a \cdot b$$

$$\eta = \frac{\frac{d^2}{2} \sin 2B}{\frac{d^2}{4}(\pi - B)} = \frac{2 \sin 2B}{\pi - B}; \quad \pi \geq 2B \geq \frac{2}{3} \pi$$

Veremos que esta función es creciente para valores de $2B$ comprendidos entre π y $2/3 \pi$.

$$\frac{d\eta}{dB} = \frac{4 \cos 2B (\pi - B) + 2 \sin 2B}{(\pi - B)^2}$$

$$\frac{d\eta}{dB} = 0 = \dots \quad \text{tg } 2B + 2\pi - 2B = 0.$$

Para $2B = \pi$ $\eta = 0$ min.

Para $2B = 1.79$ = máx.

Luego la función es creciente entre $2B = \pi$

$$2B = \frac{2\pi}{3}; \eta_{\text{máx}} = \frac{2 \sin \frac{2\pi}{3}}{\frac{2\pi}{3}} = \frac{3}{\pi} \cos \frac{\pi}{6} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.825$$

Luego, la mayor eficiencia de área se obtiene para un ángulo de barrido de 240° que determina los siguientes espaciamientos:

$$a = d \cos 60^\circ = 0,5 \quad d.$$

$$b = d \sin 60^\circ = 0,866 \quad d.$$

Hasta aquí hemos sólo hablado del espaciamento de los surtidores en relación con la eficiencia del área, habiendo determinado los máximos espaciamentos compatibles con la condición de no dejar ningún punto en seco; este máximo espaciamento también se encuentra determinado por la uniformidad que resulta en el riego. A continuación haremos un breve análisis de las relaciones existentes entre espaciamento, uniformidad, diagrama de distribución y eficiencia del área.

UNIFORMIDAD DE RIEGO, DIAGRAMA DE DISTRIBUCION

Si se conoce el diagrama de distribución, de un surtidor, el coeficiente de uniformidad se puede calcular para cualquier espaciamento de los surtidores. Como éste se puede variar en dos direcciones, se requiere cálculos muy engorrosos y largos para determinar la uniformidad con qué resulta el riego y cuál es el espaciamento que dará mayor uniformidad.

J. E. Christiansen, en "Irrigation by sprinkling" presenta un análisis de diversos diagramas de distribución que se pueden ver en las figs. 7 y 8.

Estos diagramas son teóricos y se ha llevado en abscisas las distancias al surtidor en % del radio y en ordenadas la altura de la aplicación expresada en % de la altura media para el área neta.

En la Fig. 7 aparecen curvas a saber A, B, C, D, E, F, que son las más convenientes para usar la disposición en cuadrado. La curva A da una máxima uniformidad de 99% para un espaciamento $a = 50\%$ del diámetro, siendo la eficiencia del área = 31,8%. La curva E da una máxima uniformidad para $Q = 0.7$ d igual a 86% y sube a 62,4%, o sea, el máximo compatible para no dejar un punto en seco.

A continuación va una tabla en que se da el espaciamento que da máxima uniformidad para cada curva.

Curva	Espaciamento K_1 %	Cu. %	η %
A	50	99	31,8
B	55	96	38,5
C	60	93	45,6
D	65	89	53,8
E	70	86	62,4
F	75	82	71,6

La conveniencia de que un surtidor tenga uno u otro diagrama es de orden económico, ya que mientras con la curva A se obtiene un 99% de uniformidad contra un 86% de la curva E, la eficiencia del área en el caso de la curva E es 62,4%. La mayor eficiencia de área se traduce en menor costo de operación y menor costo inicial.

Por estas razones hoy en día se ha ido definitivamente al tipo de curva como E. que permite un máximo espaciamento y una uniformidad relativamente alta.

Luego, la curva ideal para disponer los surtidores en cuadrado, con el máximo espaciamento $a = b = 0.70$, es semejante a E, la precipitación es constante hasta el 40% del radio cubierto para descender luego en forma parabólica hasta 0 para el total del radio. A continuación van las características de esta curva E.

CURVA E

	K_1 %	η %	Cu
	40	20,1	95
	50	31,8	86
	60	45,6	87
	65	53,8	85
	70	62,4	86

Para la disposición en triángulo equilátero se presentan 9 curvas en la Fig. N° 8. Se podrá apreciar que las 6 primeras curvas son muy semejantes a las usadas para la disposición en cuadrado. Las características de las curvas presentadas son:

Curva	K_1 %	η %	Cu %	
G	50	27,6	99	K_1 es el espaciamiento que dá mayor uniformidad. $a = K_1 d$ $b = 0.866 a$
H	55	33,4		
I	60	39,4	98	
J	65	46,6		
K	70	54,0	97	
L	75	62,0	96	
M	80	70,6	94	
N	85	79,7	93	
O	90	89,4	93	

Como se puede apreciar, se puede obtener una uniformidad mucho mayor en la disposición en triángulo equilátero, especialmente para espaciamientos mayores. Esta comparación se encuentra en la Fig. 9, en que se ha llevado en abscisas η y en ordenadas Cu. En esa figura se podrá observar cómo para la disposición en triángulo equilátero, se puede aprovechar un 80-90% del área con uniformidades tan elevadas como la que se obtiene con la disposición en cuadrado cuando se aprovecha sólo el 45% del área.

La curva preferida para disposición en triángulo equilátero estará entre N y O, dando una precipitación constante hasta el 70-80% del radio cubierto para luego descender parabólicamente hasta O para el total del radio. Con esta curva se usará el espaciamiento máximo, es decir,

$$a = 0.866 d.$$

$$b = 0.75 d.$$

Es de observar, que si se ocupa un surtidor diseñado para ser operado en triángulo equilátero en una disposición en cuadrado, la uniformidad puede bajar fácilmente a un 80% debido a los fuertes traslapos.

(*) Irrigation by sprinkling. J. E. Christiansen Bulletin 670, october, 1942.

ESTUDIOS EXPERIMENTALES SOBRE UNIFORMIDAD DE RIEGO

Estudios intensivos sobre tipos de distribución y uniformidad de riego se han hecho en EE. UU. Se han distinguido Staebner y especialmente J. E. Christiansen que publicó los resultados de 170 experiencias realizadas con surtidores de todos tipos. En las experiencias se dispusieron pluviómetros alrededor del surtidor en número de 1 por cada 5-10 m², se llevó control exacto de la velocidad de rotación de los pistones mediante un conmutador eléctrico que cerraba un circuito cada 30-60°. Asimismo se llevó control sobre la velocidad del viento, humedad del aire y temperatura.

CONCLUSIONES SACADAS DE LAS EXPERIENCIAS

Efecto del viento:

Se llega a la conclusión que el efecto del viento en la distribución del agua es apreciable si la velocidad de éste es mayor que 4 mts/seg. ya que si el agua es lanzada más lejos en el sentido en que sopla el viento, la reducción en el sentido contrario es mucho más fuerte lo que se traduce en una notable reducción del área regada y en una concentración del agua al lado del surtidor especialmente en dirección normal a la del viento y en una precipitación deficiente en el sentido que sopla el viento.

El efecto del viento se puede combatir con surtidores que rieguen segmentos o con la disposición en cuadrado que permite un traslape fuerte. Muy eficaces son las cortinas de protección formadas por árboles.

Efecto de la alta velocidad de rotación:

El efecto principal que tiene una elevada velocidad de rotación es la disminución del área cubierta y, por lo tanto, un aumento de la intensidad de precipitación. En general, el surtidor moderno tiene velocidades de rotación desde fracciones de r.p.m. hasta una. Aquellos surtidores de reacción que no tengan una buena regulación de velocidad pueden girar hasta 20 r.p.m. Estas velocidades, además de las consecuencias anteriores reducen notablemente la vida útil del pistón debido al mayor desgaste y puede traer aparejado una consecuencia mucho peor que es una rotación desuniforme.

Efecto de la desuniformidad en la velocidad de rotación:

Este es el efecto más pernicioso en la distribución del agua; esto se puede comprender fácilmente ya que las variaciones de la velocidad de rotación, se deben a una variación de la resistencia de fricción de los descansos para las diversas orientaciones del surtidor, debido a esto la velocidad angular será constante en una dirección determinada pero variará con la dirección del surtidor y, por lo tanto, el efecto será acumulativo, en las direcciones de mayor velocidad angular caerá menos agua y, viceversa. Si en una determinada dirección el surtidor barre un ángulo determinado a una velocidad igual a la 1/2 de la velocidad normal,

en ese sector caerá una cantidad doble de agua. En las experiencias se pudo apreciar que la velocidad del viento no tiene ningún efecto sobre la velocidad de rotación.

Efecto de la baja presión:

El principal efecto que se pudo notar fué una transformación en el diagrama de distribución, de modo que la precipitación en la periferia es varias veces mayor que cerca del sùrtidor.

ABACO PARA EL CÁLCULO DE BUQUILLAS

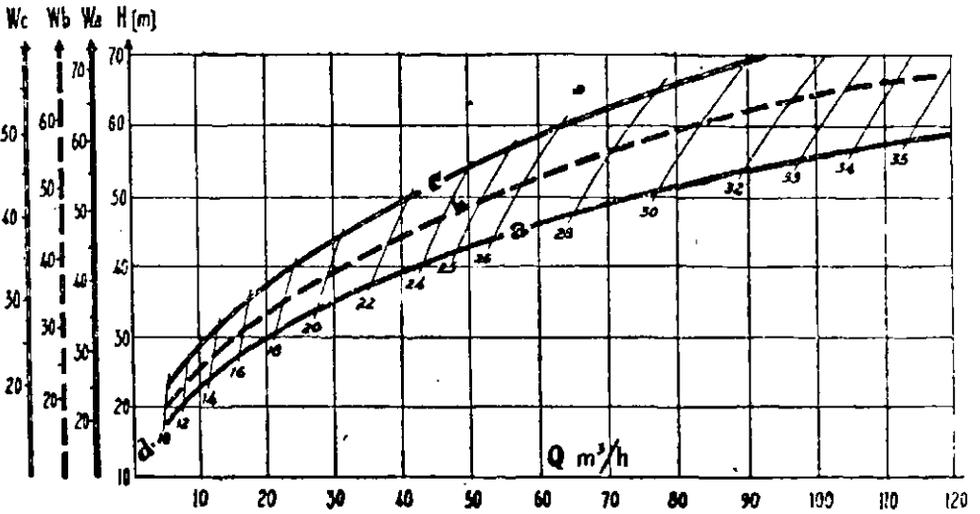


Fig. N° 1

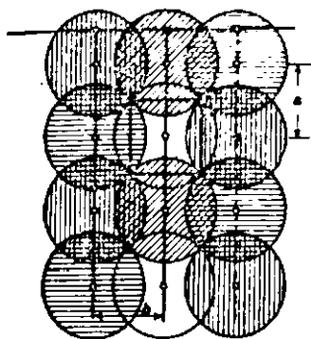


Fig. N°2

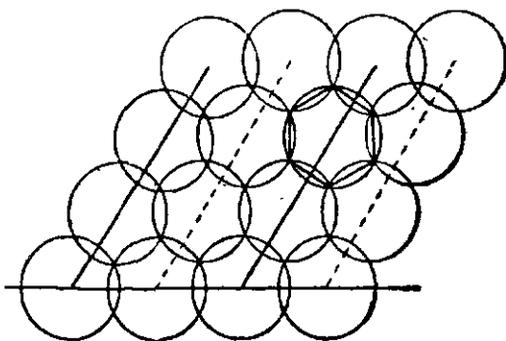


Fig. N°3

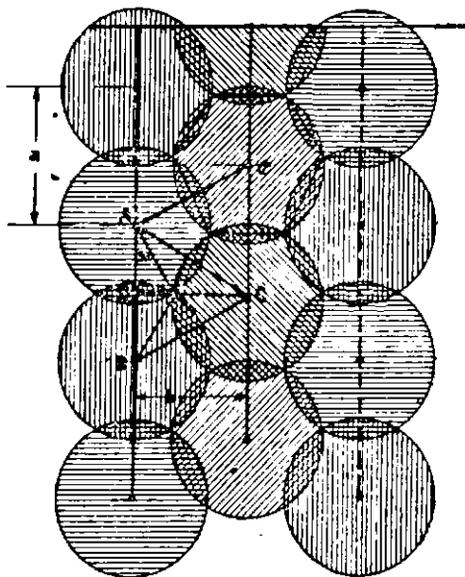


Fig. N°4

en ese sector caerá una cantidad doble de agua. En las experiencias se pudo apreciar que la velocidad del viento no tiene ningún efecto sobre la velocidad de rotación.

Efecto de la baja presión:

El principal efecto que se pudo notar fué una transformación en el diagrama de distribución, de modo que la precipitación en la periferia es varias veces mayor que cerca del súrtidor.

ABACO PARA EL CÁLCULO DE BOQUILLAS

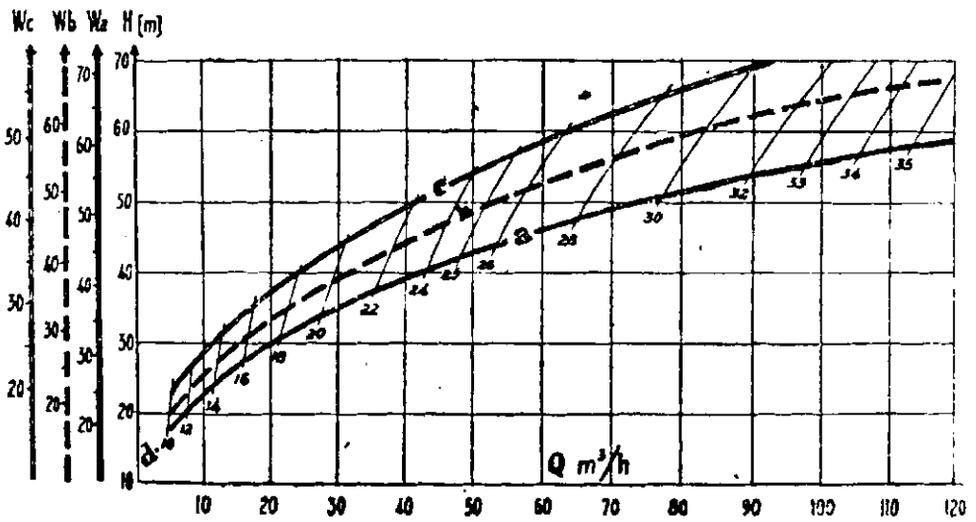


Fig. N° 1

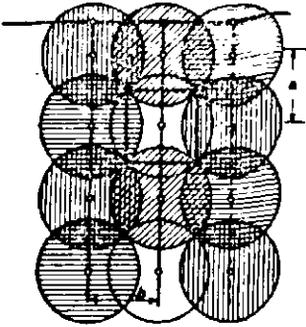


Fig. N°2

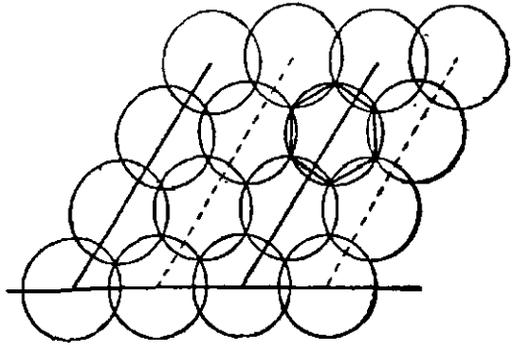


Fig. N°3

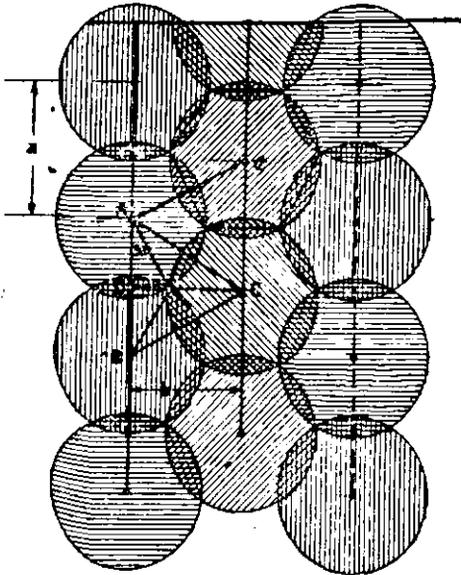


Fig. N°4

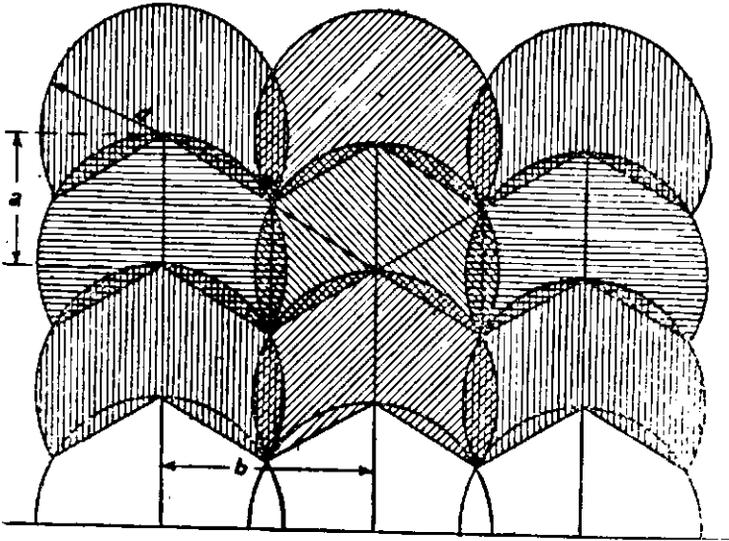


Fig. N.º 5

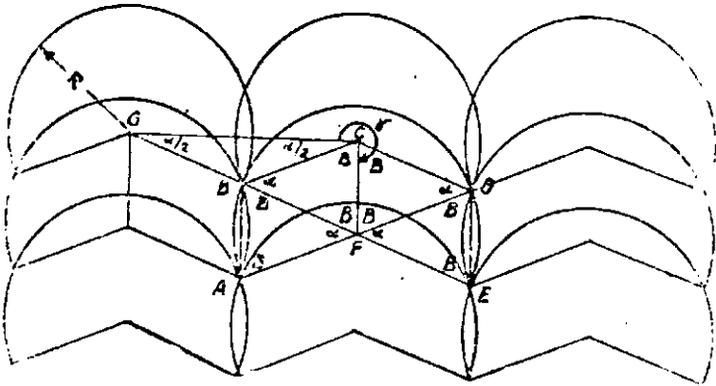


Fig. N.º 6

TIPOS DE DISTRIBUCION Y UNIFORMIDADES MÁXIMAS.

Según J.L.Christiansen.

h_m = lluvia media en el area neto

Fig. N.º 7

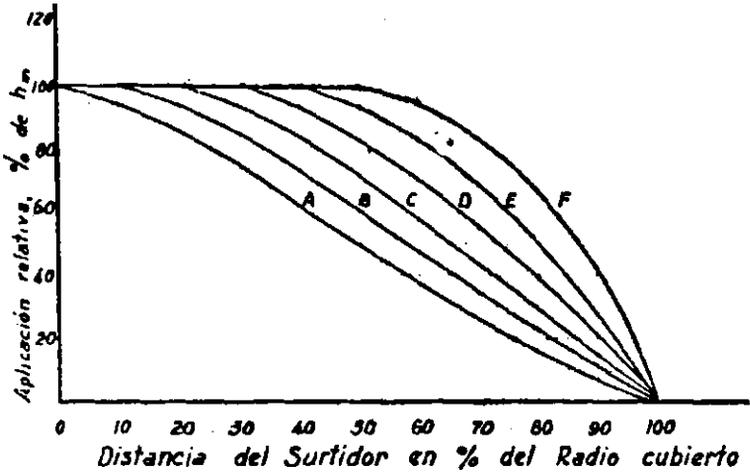


Fig. N.º 8

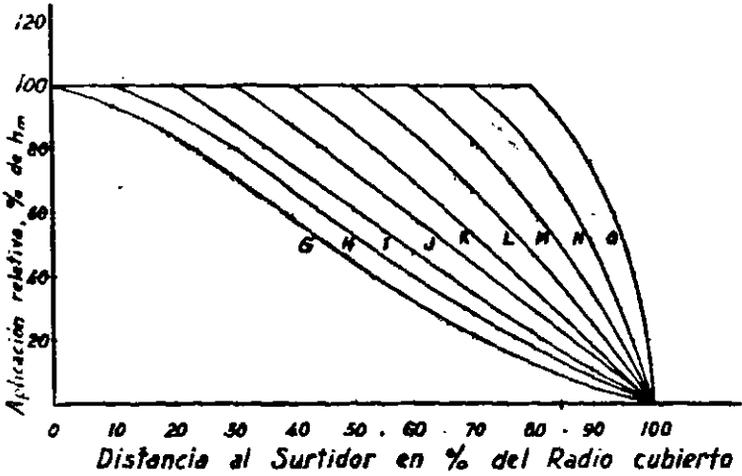
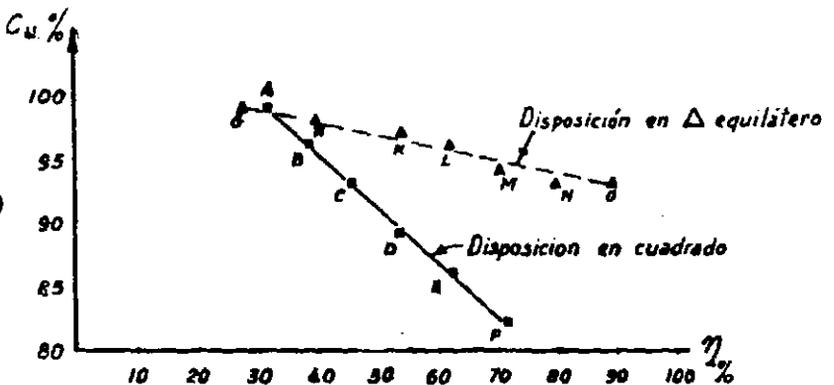


Fig. N.º 9



CAPÍTULO IV

Características de las tuberías y sus pérdidas de carga

SISTEMA DE CAÑERIAS

En general habrá que distinguir:

- 1º Red primaria o alimentadora;
- 2º Red secundaria o surtidora.

La red primaria tiene como objeto alimentar las cañerías surtidoras sobre las cuales van instalados los pistones o surtidores; esta red podrá ser fija o móvil y la conveniencia de instalarla de uno u otro modo se deberá estudiar en cada caso particular, según las condiciones topográficas, ubicación de la fuente de agua, etc. El problema será siempre de carácter económico y se elegirá aquella que dé menor costo.

Según la movilidad de las cañerías habrá tres tipos de instalaciones:

- 1º Instalación estacionaria;
- 2º Instalación semiestacionaria;
- 3º Instalaciones móviles.

1º *Instalación estacionaria:*

Ambas redes son fijas; debido a su elevado costo inicial y a la poca utilización que presta el capital invertido, sólo se usa para parques y jardines.

2º *Instalación semiestacionaria:*

La red primaria o alimentadora es fija y tiene una serie de hidrantes espaciados a suficiente distancia donde se conectan las redes secundarias que son móviles. En este tipo de instalación la bomba queda fija, por lo cual es muy conveniente, si es posible, usar motor eléctrico.

En caso que se disponga de un desnivel natural que permita eliminar la planta de bombeo, habrá que hacer un estudio económico dándole un premio a la solución gravitacional por ser más segura.

3º *Instalaciones móviles:*

Se caracteriza tanto porque la red alimentadora como surtidora es móvil; en este caso la motobomba también es móvil y va montada sobre un chasis con ruedas de goma. También se usa, y con gran éxito, la bomba accionada por un tractor.

Red fija de cañerías:

Puede ser de rocalit, concreto armado, fundición, etc. Su diámetro se calculará según las normas de las cañerías de impulsión. Su velocidad deberá estar comprendida entre 1-2 mts/seg.

Red móvil de cañerías:

Distinguimos los requisitos que deben cumplir las cañerías y los que debe cumplir la red misma.

Las cañerías de la red móvil deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 1º Movilidad;
- 2º Resistencia mecánica;
- 3º Resistencia a la corrosión;
- 4º Standarización.

1º *Movilidad:*

Se puede decir que con la introducción de la cañería de aleaciones livianas de aluminio, la aspersión pasó a ser aplicable como sistema de regadío a grandes extensiones. Antiguamente sólo se había usado en pequeños huertos y jardines. Las cañerías de aleaciones de aluminio han permitido una reducción de peso sobre la de acero galvanizado que se acerca a un 50%; esto es válido para las cañerías provenientes de la industria americana; los alemanes en sus cañerías de aleaciones de aluminio a mayores espesores de pared.

A continuación, y como dato ilustrativo van las características de la cañería de aleación de aluminio de la ALCOA.

CARACTERISTICAS DE LA CAÑERIA DE LA ALCOA 63 ST.

Diámetro externo	Espesor en mm.	Peso en Kg. m. l
8"	3,2 mms.	5,514
7"	2,8 "	4,208
7"	2,4 "	3,634
6"	2,0 "	2,585
5"	1,6 "	1,742
4"	1,6 "	1,387
3"	1,3 "	0,826
2"	1,3 "	0,685

Si bien esta cañería resiste perfectamente las presiones de trabajo, algunos fabricantes han preferido elevar el espesor de las paredes para protegerlas contra los golpes, asegurando así una más larga vida a la cañería.

La longitud de cada tira se ha standarizado en 6 mts., lo que permite su fácil manejo, tanto por la dimensión como por el peso resultante.

A continuación, van las especificaciones de las cañerías de acero galvanizado de Lanninger, como tanto los diámetros y longitudes de las cañerías son comunes para la industria europea, se da este cuadro a fin ilustrativo.

Peso de las cañerías, incluyendo acoplamiento

Número de la cañería	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetro exterior en mms.	60	76	89	108	133	159	180	216
Diámetro interior en mms.	58	74	87	105	130	155	176	212
<hr/>								
Peso de una tira de 6 mts. de acero galvanizado Kgs.	13	19	23	31	41	62	84	110
<hr/>								
<i>Cañería de aleación de Aluminio</i>								
Diámetro interior	56	72	85	103	127	152	170	206
Peso tira de 6 mts. Kgs.	9	12	14	21	28	54	67	88

Se podrá apreciar que un hombre puede manejar con toda facilidad cañerías de acero galvanizado hasta ϕ 108 y, en caso de aleaciones de aluminio ϕ 133.

La movilidad de la cañería depende también del tipo de acoplamiento usado; el acoplamiento debe ser rápido y eficaz.

Como las cañerías raras veces quedan en línea recta, se ha ido al acoplamiento cardán, lo que permite desangulaciones tanto en sentido horizontal como vertical, sin provocar aceleraciones en la corriente. En este sentido las redes surtidoras deben hacerse lo más parecidas posible a las mangueras. El acoplamiento debe ser estanco al agua y al aire.

RESISTENCIA MECANICA

Las cañerías deben poder soportar la máxima presión de trabajo y los golpes de ariete que se pueden producir. En general, para la mayoría de los casos, la presión no excederá de 7 Kgs/cm². en instalaciones corrientes, salvo en las instalaciones de gran presión donde los pistones funcionan a 12 atm.

El espesor de las paredes de las cañerías de aleaciones de aluminio no se ha standarizado bien ya que, como hemos visto, los espesores de la cañería americana son un 50% más bajo que las alemanas.

Este mayor espesor puede tener por objeto dar una más larga vida a la cañería que estará expuesta a mucho movimiento, ya que por otra parte, las condiciones de resistencia de las aleaciones usadas, son casi tan buenas como las de acero.

Las características mecánicas de la aleación usada en EE. UU. están entre los siguientes límites:

Fatiga de ruptura	2.500 - 3.000 Kgs/cm ² .
Límite de elasticidad	1.700 - 2.500 Kgs/cm ² .
Alargamiento	9 - 15%
Dureza Brinell	75 - 85 Kgs/mm ² .

RESISTENCIA A LA CORROSION

La ventaja más importante de la cañería de aleación liviana de aluminio sobre la de acero galvanizado (después de la reducción de peso) es su enorme resistencia a la corrosión, lo que hace que la primera tenga una vida útil el doble más larga y permanentemente condiciones de buen escurrimiento.

Según experiencias hechas en Italia, comparando la resistencia a la corrosión de la cañería Peraluman 35 (aleaciones de Al, Mg, Si y otros) y la de acero galvanizado, se vió que la resistencia de la primera era de 3-30 veces mayor que la de acero galvanizado.

Para esto se vió el peso perdido por la cañería de aluminio y se confrontó con el peso perdido por la de acero galvanizado, dándole a la primera una resistencia a la corrosión 100, se calcularon los de la segunda.

La prueba consistió en una inmersión en soluciones al 20% y a 20° C. La pérdida de peso está dada en gramos.

Resultado de la experiencia:

Solución	Peraluman 35		Acero galvanizado	
	grm/dm ² ms	Resistencia a la corrosión	grm/dm ² /mes	Resistencia a la corrosión
Superfosfato de calcio	0.3380	100	1.6843	20
Fosfato biamónico	0.0610	100	0.2134	30
Calurea	0.0033	100	0.0984	3

La aleación de un tipo u otro de cañería será siempre de orden económico. En el costo del riego, la parte debida a las cañerías es bastante elevado.

La cañería de acero galvanizado es de menor costo inicial que la de aluminio, sin embargo, debido a la menor amortización que hay que considerar en esta última y a su menor peso que se traduce en menores costos de operación, ésta última está desplazando a la primera, especialmente en cañerías de diámetros mayores que 100 mms.

Para tener una mayor movilidad de las cañerías, la standarización se debe hacer sobre lo siguiente:

- a) Igual diámetro en la red móvil;
- b) Igual longitud de tiras;
- c) Acoplamiento.

a) Puede parecer, a primera vista que usar igual diámetro en la red móvil sea un gasto superfluo, pero al considerar la facilidad que introduce un diámetro único para armar las redes, facilidad que se traduce en ahorro notable de tiempo, se ve la conveniencia sobre este punto. En caso de instalaciones semiestacionarias para grandes extensiones, esta medida llegará a ser absolutamente necesaria.

En las instalaciones volantes se podrá admitir, en ciertos casos, cañerías alimentadoras mayores.

b) Igual longitud de tiras: Está completamente standarizado en 6 metros. (Europa, en U.S.A. las tiras vienen desde 40' - 10').

c) Las redes móviles deben poseer la mayor semejanza posible con una manguera; esto se ha obtenido con acoplamiento tipo Cardan, que permite desangulaciones en el sentido horizontal de 15° para cada lado y la mitad en sentido vertical, sin estrangular la sección. El acoplamiento debe ser de fácil manejo, de modo que cualquiera persona lo pueda operar y debe ser común para todas las cañerías y piezas especiales.

CONCLUSIONES FINALES

Se podrá apreciar que, por el momento, la competencia se encuentra entre la cañería de acero galvanizado y la de aleaciones de aluminio; la cañería de cobre que se ha usado aquí en Chile, a pesar de tener muy buenas condiciones de escurrimiento y resistencia a la corrosión, no puede competir con las anteriores debido a su muy elevado peso y costo. Sus propiedades mecánicas son también inferiores.

Hoy día se están fabricando cañerías plásticas, las cuales en un futuro muy cercano desplazarán a toda otra cañería, si logran salvar la dificultad de no perder sus propiedades al estar expuestas constantemente al sol. La cañería plástica tiene excelentes condiciones de escurrimiento: $C = 140$ de la fórmula de Williams y Hayen, resistencia ilimitada a la corrosión, muy livianas. (El polyetileno con el cual se fabrica más del 75% de las cañerías plásticas tiene un peso específico de 0.9), buenas condiciones de resistencia y, finalmente, la cañería de polyetileno es flexible, lo que hace que sea la cañería ideal.

PERDIDAS DE CARGA EN LAS REDES MOVILES

Analizaremos las pérdidas de carga por fricción y las pérdidas de carga singulares.

Pérdidas de carga por fricción:

Según experiencias hechas por J. E. Christiansen en redes de aspersión, encontró que la pérdida de carga era proporcional al cuadrado de la velocidad, por

lo cual recomendaba usar la fórmula tipo $J = \frac{K Q^2}{D^5}$

Los datos de pérdida de carga que dan los fabricantes, los llevé a un gráfico Log-Log y obtuve rectas de pendiente muy cercana a 2 y que en la zona de trabajo de la cañería $V = 1 - 2$ mts/seg. no presentaban diferencias mayores de un 5% con la recta calculada.

En base a esto elegí las fórmulas que siguen a continuación:

En caso de cañerías de cobre o plásticas se puede usar la fórmula de Williams y Hayen con un $C = 130$.

PERDIDAS POR FRICCION EN LAS CAÑERIAS

Cálculo de las pérdidas de carga:

La pérdida de carga en una cañería está dada por:

$$1) \frac{p}{\gamma} = hp = \lambda \cdot \frac{U^2}{2g} \cdot \frac{1}{D} = \frac{\lambda \cdot 16 Q^2}{2g \cdot \pi^2 D^4} \cdot \frac{1}{D} = \frac{8\lambda}{g\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot 1$$

Tenemos en esta fórmula:

- hp = pérdida de carga en mts.
- Q = gasto en m³/seg.
- D = Diámetro interior en mts.
- l = largo de la cañería en mts.
- λ = coeficiente de fricción.
- γ = peso específico del agua.

Para mayor comodidad adoptaremos la fórmula para m³/hra., y tendremos:

$$2) \frac{p}{\gamma} = \frac{8\lambda}{g\pi^2} \cdot \frac{1}{3600^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot l = K \frac{Q^2}{D^5} \cdot l$$

En el estudio de diámetro y velocidad más económica llegamos a la conclusión de que la velocidad ideal era alrededor de 1,6 mts. por segundo y que sus límites eran 1 a 2 mts/seg.

Según Lang λ vale:

$$3) \quad \lambda : 0.020 + \frac{0.0018}{\sqrt{U \cdot d}}$$

Luego avaluaremos con U = 1,5 mts/seg. y así obtenemos los siguientes coeficientes:

φ Ext.	φ int. mts.	λ	φ Ext.	φ int. mts.	λ
0.048	0.046	0.027	0.133	0.130	0.024
0.060	0.058	0.026	0.159	0.155	0.025
0.076	0.074	0.025	0.180	0.176	0.023
0.089	0.087	0.025	0.216	0.212	0.023
0.180	0.105	0.023	—	—	—

La ecuación de la pérdida de carga:

$$4) \quad J = \frac{hp}{l}$$

$$5) \quad J = K \frac{Q^2}{D^5}$$

Aplicando logaritmo, tenemos:

$$6) \quad \text{Log } J = \text{Log } K - 5 \text{ Log } D + 2 \text{ Log. } Q.$$

Esta ecuación indica que las expresiones Log J y Log A, satisfacen una recta. Luego al llevar los valores de J y Q para diámetros determinados en papel Log-Log, obtendremos rectas de coeficientes angular 2.

A continuación tabularemos los valores de K para Q en m³/hra. y los valores de D⁵ y; finalmente $\frac{K}{D^5}$

$$\therefore K = \frac{8 \lambda}{\pi^2 \cdot g \cdot 3600^2}$$

ϕ ext. mts.	ϕ int. mts.	λ	K	D ⁵ mts ⁵	K D ⁵
0.048	0.046	0.027	1.723 $\cdot 10^{-10}$	0.0260 $\cdot 10^{-5}$	0.000835
0.060	0.058	0.026	1.659 $\cdot 10^{-10}$	0.0656 $\cdot 10^{-5}$	0.000253
0.076	0.074	0.025	1.595 $\cdot 10^{-10}$	0.2219 $\cdot 10^{-5}$	0.0000719
0.089	0.087	0.025	1.595 $\cdot 10^{-10}$	0.4984 $\cdot 10^{-5}$	0.0000320
0.108	0.105	0.025	1.595 $\cdot 10^{-10}$	1.276 $\cdot 10^{-5}$	0.0000125
0.133	0.130	0.024	1.532 $\cdot 10^{-10}$	3.712 $\cdot 10^{-5}$	0.00000413
0.159	0.155	0.024	1.532 $\cdot 10^{-10}$	9,0 $\cdot 10^{-5}$	0.00000170
0.180	0.176	0.023	1.468 $\cdot 10^{-10}$	16,88 $\cdot 10^{-5}$	0.000000874
0.216	0.212	0.023	1.468 $\cdot 10^{-10}$	43,8 $\cdot 10^{-5}$	0.000000343

Para calcular fácilmente la pérdida de carga he construído un gráfico logarítmico llevando en ordenadas la pérdida de carga en 100 mts. o sea, 100 J y en abcisas el gasto Q en m³.hra. Asimismo, he aprovechado para colocar en el gráfico la cañería más conveniente para el gasto dado. Ver diámetro más conveniente de las cañerías.

Bastante común es el caso en que se presentan varios pistones trabajando en la misma cañería.

Supongamos que los pistones se encuentran a 5 metros entre sí y que cada uno descargue igual gasto q.

La pérdida total con N pistones en N espacios de metros serán:

$$8) \text{ Tramo 1 } \quad \frac{K}{D^2} \cdot S \cdot q^2 \cdot \dots \cdot h_1$$

$$\text{Tramo 2} \quad \frac{K}{D^5} \cdot S \cdot (2q)^2 \cdot \dots \cdot h_2$$

$$\text{Tramo 3} \quad \frac{K}{D^5} \cdot S \cdot (3q)^2 \cdot \dots \cdot h_3$$

$$\text{Tramo N} \quad \frac{K}{D^5} \cdot S \cdot (Nq)^2 \cdot \dots \cdot nh$$

$$9) \text{ hp} = \frac{K}{D^5} \cdot S \cdot q^2 \cdot \Sigma N^2 = \frac{K}{D^5} \cdot L \cdot Q^2 \cdot \frac{\Sigma N^2}{N^2} = \text{pérdida total.}$$

$$10) \quad \frac{N^2}{N^3} = \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right) \dots = \varphi$$

Luego φ tiene los siguientes valores para los siguientes N.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
φ	0.62	0.52	0.47	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37

Como se puede apreciar que si $N = \infty$ el problema se transforma en el de servicio en camino en que la pérdida de carga es $\frac{1}{3}$ de la que habría si todo el el gasto A hubiera recorrido el largo total L .

Luego para avaluar la pérdida de carga en un sistema tendríamos, en general, un largo l_1 con el gasto total Q y otro l_2 en que el gasto se fracciona entre N pistones. En este caso, la pérdida de carga total sería:

$$11) \quad H_p = \frac{K}{D^5} l_1 Q^2 + \frac{K}{D^5} l_2 Q^2 \cdot \frac{1}{N}$$

PERDIDAS SINGULARES EN LAS CAÑERIAS

Las singularidades de más importancia son los codos que serán, en general, de 90° y la división de corrientes debido a la presencia de los pistones.

Como velocidades variarán entre 1 mt. - 2 mts/seg. las alturas de velocidad serán del orden de 0.05-0.20 mts. Considerando además, que entre la bomba y el pistón habrán, a lo más, dos codos, y que cada codo hace perder 1,5 alturas de velocidad, en caso de diámetros en uso se ve que esta pérdida, a lo más podrá llegar a 0.60 y que frente a la altura corriente de elevación de la bomba 60° más metros apenas alcanza al 1% de aquella altura.

Lo mismo podemos decir respecto a la pérdida originada por la división de corrientes.

El ingeniero americano J. E. Christiansen en su trabajo "Hydraulics of Sprekling Systems for Irrigation" llega a la conclusión después de un gran número de experiencias que las pérdidas totales en las cañerías de sistemas de aspersión, están

muy bien representadas por fórmulas del tipo $K \frac{Q^2}{D^5}$ y que ésta cubre prudentemente las pérdidas singulares.

VARIACIONES DE LA PRESION EN LAS LINEAS SURTIDORAS

A pesar que las pérdidas por fricción dependen únicamente del gasto que escurre por la cañería, este último depende del gasto de los surtidores que, a su vez, depende de la presión; existe, por lo tanto, una relación entre la pérdida por fricción y la presión.

Como hemos visto anteriormente el gasto de un surtidor es proporcional a la raíz cuadrada de la presión existente en el surtidor.

$$(18) \quad q = K_1 \sqrt{p}$$

donde q es el gasto del surtidor y K_1 un factor de proporcionalidad que depende de la sección y características de la boquilla. Como hemos aceptado que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado del gasto, encontramos que también será proporcional a la presión existente en la línea. Por lo tanto la razón existente entre la presión de dos surtidores cualquiera será constante e independiente de la presión de la bomba, lo mismo se podrá decir de sus gastos.

Christiansen ha definido lo que él llama razón de descarga como la razón entre el gasto de un pistón cualquiera y el más alejado de la bomba.

$$\text{Luego } \frac{q}{q_0} = \sqrt{\frac{P}{P_0}} \quad (19) \quad q = \text{gasto de un surtidor a presión } P.$$

$q_0 = \text{gasto del surtidor más alejado de la bomba a presión } p_0.$

La variación de presión importa dos consecuencias:

- 1º variación del gasto;
- 2º variación de la pulverización.

La primera consecuencia no es tan importante ya que una variación de 20% de la presión equivale a un 10% en el gasto, en cambio la segunda es más seria ya que con un 20% de variación de presión se puede pasar de lluvia fina a gruesa para una misma boquilla.

La presión media (p_m) en la línea surtidora, si aceptamos servicio en camión, es igual a la presión del surtidor más alejado de la bomba p_0 , más la tercera parte de la pérdida de carga entre el primero y el último surtidor; la presión media será algo más baja debido a que el caso no corresponde exactamente al servicio en camino, por lo cual consideramos $p_m = p_0 + 0.3 \text{ hp}$, donde hp es la pérdida de carga entre el primer y último surtidor.

Luego: (20) $p_m = p_0 + 0.30 \text{ hp}$; $p_n = \text{presión en el surtidor más cercano a la bomba.}$

$$(21) \quad p_m = p_0 + 0.30 (p_n - p_0).$$

$$(22) \quad \frac{p_m}{p_0} = 1 + 0.30 \left(\frac{p_n}{p_0} - 1 \right)$$

y según (19).

$$\left(\frac{q_m}{q_0} \right)^2 = \frac{p_m}{p_0} = 1 + 0.30 \left(\frac{p_n}{p_0} - 1 \right) \quad (23)$$

$$q_m = q_0 \sqrt{1 + 0.30 \left(\frac{p_n}{p_0} - 1 \right)} \quad (24)$$

Luego el gasto en la línea si hay N surtidores será de:

$$N q_m = N q_0 \sqrt{1 + 0.30 \left(\frac{p_n}{p_0} - 1 \right)} = Q$$

Si consideramos:

$$\frac{p_n}{p_0} = 1.2 \quad \text{Entonces} \quad \frac{q_n}{q_0} = 1.1$$

$$q_m = q_0 \sqrt{1.06} = 1.03 q_0$$

Luego si existe una variación de presión de un 20% entre los surtidores terminales de la línea, la variación de gasto no será nunca mayor que un 10% y el gasto medio de los surtidores no excederá al de menor gasto por más de un 3%.

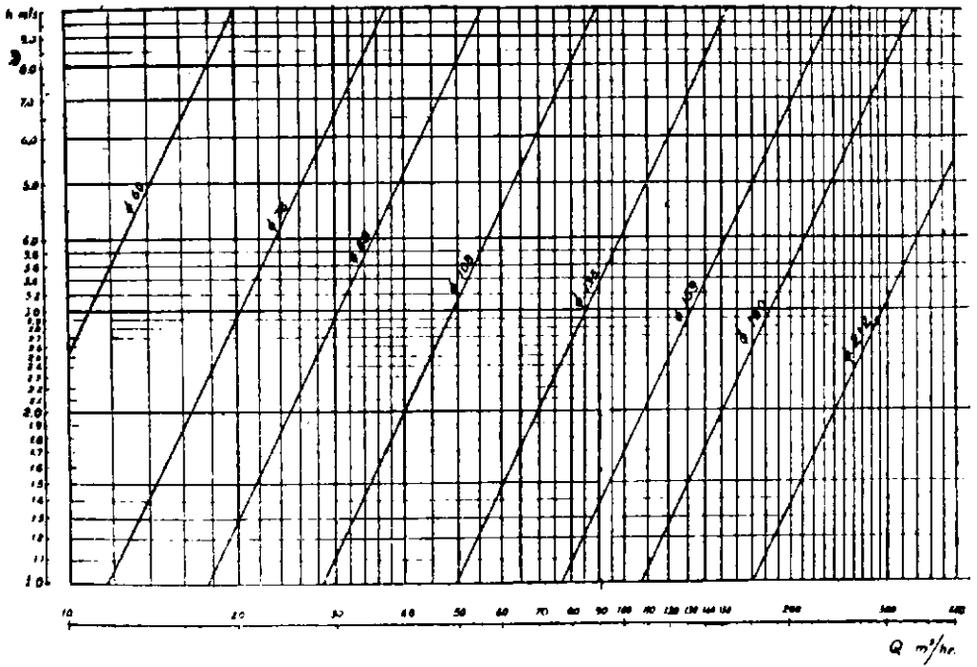


Fig. N° 10

CAPÍTULO V

Características de motores y bombas

B O M B A S

La elección de la bomba para instalaciones móviles, no presentará en general, ninguna dificultad ya que los diversos fabricantes de equipos se encargan de proporcionar unidades compactas montadas en chasis sobre 2 ó 4 ruedas, según la capacidad requerida en cada caso.

En caso de que la instalación sea semi-fija la planta de bombeo será estacionaria y el tipo de bomba que se use dependerá principalmente de la naturaleza de la fuente de agua (canal, lago, pozo, etc.).

Para dar la presión necesaria a las redes de aspersión se usan:

- 1º Bombas de pistón o desplazamiento;
- 2º Bombas centrífugas.

1º La bomba de pistón o de desplazamiento solamente se usará cuando las condiciones de caudal, alturas de elevación y aspiración la hace más eficiente que la bomba centrífuga. La aplicación de estas bombas se ha limitado al uso de caudales menores de 20 m³/hra. a grandes alturas, hasta 200 mts. o cuando la fuente de agua es una batería de pequeños pozos y con una altura de succión alta, 8 mts.; en buenas condiciones son auto-cebantes y pueden seguir bombeando aún cuando penetre aire por la cañería de succión.

Su campo de acción ha sido el riego de terrenos montañosos y la distribución de abonos para lo cual se presta admirablemente.

A continuación, como fin ilustrativo se dan las características de una bomba de pistón que ofrece Perrot para riego de aspersión.

<i>Bomba tipo Benjamín.</i>		<i>Peso 340 kilos.</i>		
R. P. M. de la bomba	Caudal en m ³ /hra.	10 HP.	7.5 HP.	5.4 HP
		Altura de elevación en mts.		
117	12	175	131	96
138	14	150	112	83
156	16	131	98	72
176	18	116	87	64
195	20	105	78	57
215	22	95	70	52

La bomba de pistón también se usa para ciertos tipo de pistón, llamado el cañón regador, el cual posee un estanque al cual se le va bombeando agua; una

vez que la presión dentro del estanque es igual a la presión de la cañería, se abre una válvula y el pistón dispara un chorro de agua, la frecuencia de los disparos dependerá del caudal disponible. Este tipo de pistón será muy conveniente cuando se disponga de una cantidad muy reducida de agua y para cierto tipo de cultivos, como almacigos.

2º La bomba centrífuga de eje horizontal se ha usado en forma exclusiva en todas aquellas instalaciones en que la altura de succión sea menor de 6 mts. y en todas las instalaciones móviles con gastos mayores de 15 m³/hra.

Para instalaciones móviles los gastos estarán, en general, comprendidos entre 15 y 180 m³/hra.; en caso de mayores gastos convendrá fraccionar la superficie por regar en varios equipos con lo cual se consigue no sólo una mayor movilidad sino que una seguridad en caso de falla en algún equipo.

Para el funcionamiento correcto de los pistones, la bomba deberá, en el caso más general, dar una altura total de elevación entre 30-70 mts. Las condiciones de gasto y altura determinan inmediatamente el tipo de bomba; generalmente serán de una etapa para equipos de baja presión y de varias para equipos de alta presión, ya que si no la velocidad específica de la bomba caería muy abajo del diseño normal y operación eficiente, aún cuando se usara motores muy rápidos, lo que no siempre será posible y económico.

La velocidad específica de una bomba es:

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Si N = revoluciones por minuto.

Q = gastos en galones por minuto.

H = Altura total en pies.

N_s deberá ser mayor que 1.000 para entrar dentro del campo de operación eficiente; para subir la velocidad específica se puede fraccionar la altura H en varias etapas, si "S" es el número de etapas.

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \cdot S^{3/4}$$

Suponiendo un gasto de 500 g. p. m. (± 112 m³/hra) y H = 200' (66 mts), lo cual es una instalación muy corriente, tendríamos que la velocidad específica sería la siguiente si N = 1.450 r. p. m.

Para 1 etapa.

$$N_s = \frac{1450 \cdot \sqrt{500}}{200^{3/4}} = \frac{1450 \cdot 22}{52} = 635 \text{ (baja)}$$

Para 3 etapas.

$$N_s = 635 \cdot 3^{3/4} = 1430$$

La razón $\frac{N}{N_s}$ queda igual a 1, lo cual está de acuerdo con el Davies (pág.

680) para estas condiciones de gasto y caudal Q = 500 g. p. m. $\frac{N}{N_s} = 1$

$$H = \frac{200}{3} = 66 \text{ pies}$$

Consultando las especificaciones de las bombas Guinard, encontramos una de las siguientes características:

Especificaciones G. M. L. 6

N = 1450 R. P. M.

S = 3 etapas.

Rendimiento máx. = 0.73 para Q = 100 m³/hra. 450 g. p. m.
H = 66 mts. 200 pies

Esta bomba sólo pesa 208 Kgs., o sea, casi los $\frac{2}{3}$ de la de pistón (de 10 HP), y puede ser acoplada directamente a un motor eléctrico de velocidad sincrónica 1500 r. p. m. (deslizamiento 3%, N = 1450), o a un motor Diesel.

La potencia absorbida por la bomba es de:

$$HP = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} = \frac{27.8 \cdot 66}{75 \cdot 0.73} = 33,5 \text{ HP.}$$

En caso de que se utilice agua subterránea y la instalación sea semi-estacionaria, se podrá usar la bomba de pozo profundo para dar presión a las redes.

FUENTE DE ENERGIA

La energía necesaria para darle presión a las redes de aspersión puede provenir de:

1. Desnivel natural;
2. Bombas accionadas por motores eléctricos o de combustión interna.

1. En ciertos casos se presentará la posibilidad de usar un desnivel natural para proporcionar la presión a las redes. En estos casos, la instalación deberá ser semi-estacionaria. La conveniencia de usar una solución gravitacional o una planta de bombeo habrá que analizarla económicamente para lo cual se presta el criterio de Adams que dice que la solución más económica es aquella que hace mínima la suma de los gastos totales anuales y el valor de la energía perdida. (Ver estudio económico).

2. Máquinas Motrices:

a) Motores eléctricos:

Cuando existe energía eléctrica disponible el motor eléctrico se impondrá sobre los de combustión interna en las instalaciones donde la planta de bombeo esté fija; en caso de instalaciones móviles habrá que hacer un cuidadoso análisis debido a la necesidad de tender líneas en todos los potreros.

La posibilidad de utilizar energía barata, con amortización muy pequeña y con reducidos gastos de mantención y operación, lo convierten en el motor ideal para plantas de bombeo fijas.

b) *Motores de combustión interna:*

Se han usado motores a bencina y Diesel; los primeros han encontrado su uso principal para pequeños gastos que signifiquen potencias hasta de 6 HP y que, debido a la mayor velocidad con que funcionan se adaptan mejor a las bombas centrífugas de pequeño gasto. Asimismo, se han usado con potencias mucho mayores cuando se usa el riego por aspersión como complemento de lluvia naturales y en que las horas de funcionamiento pueden variar desde cero en algunos años hasta 1.000 en años secos; en estas condiciones el motor a bencina dará un menor costo por hora de funcionamiento debido a su menor costo inicial. Cuando se presentan estas condiciones se podrá usar también un tractor para accionar la bomba, pero en ningún caso convendrá usarlo cuando se debe dar en forma artificial toda el agua necesaria para los cultivos, por ser completamente antieconómico tener el tractor completo en vez del motor solo.

El motor a bencina consume, en general, entre 300-350 grs. de bencina por HP/hra., además el consumo no será proporcional a la carga sino más bien a la potencia total del motor, esto hace que el costo de la energía sea exageradamente alto si se compara con el Diesel o con el motor eléctrico.

Si suponemos un rendimiento de 350 grs. de bencina por HP/hra. tendremos el siguiente costo por HP/hra.:

a) 350 grs. de bencina a \$ 10 litro	\$ 3.50
b) Costo por HP/hra. en aceite, grasa, filtros, reparaciones menores	\$ 0.30
Costo por HP/hra.	<u>\$ 3.80</u>

El motor Diesel tipo rápido se ha impuesto en la mayor parte de las instalaciones móviles; al decir rápido se entiende que el número de revoluciones por minuto es mayor que 1.200. Motores más lentos sólo se podrán usar en instalaciones estacionarias y, de todos modos, se deberá elegir el número de revoluciones de acuerdo con la bomba ya que el acoplamiento directo será siempre conveniente. El motor rápido en caso de que use servicio continuo como es el caso del bombeo son muy livianos y tienen un peso aproximado de 15 Kgs. por HP dentro de los márgenes más comunes de potencias usadas (30-100 HP). En la elección del motor se deberá considerar la curva de potencia para trabajo continuado; en general, los fabricantes dan 3 curvas de potencia para diversas revoluciones del motor; éstas son:

- 1ª Potencia máxima obtenida en laboratorio;
- 2ª Potencia recomendada para servicio intermitente;
- 3ª Potencia recomendada para servicio continuo.

Si a la primera le damos un valor 100, la segunda tendrá un valor 85 y la tercera 75, de modo que si solamente se conoce la curva 1ª la potencia útil para servicio continuo será un 75% del valor de ésta; en caso de instalaciones móviles,

convendrá acoplar el motor directamente a la bomba, por lo cual, se deberá considerar la potencia que dá el motor a las revoluciones que corresponden a la bomba.

En general, las reparaciones más costosas de un motor Diesel provienen de una presión deficiente del aceite lubricante y del sobrecalentamiento del agua de refrigeración; en el riego por aspersión donde el motor funcionará hasta 22 horas diarias y donde no podrá haber un mecánico que se dedique exclusivamente a este motor, será muy recomendable tener sistemas de control para estos dos puntos; los fabricantes ofrecen como equipo adicional estos sistemas, los cuales pueden ser de alarma, se enciende una luz o bien que haga que el motor se detenga automáticamente; el costo de éstos es muy pequeño si se considera los gastos en reparaciones que puede causar uno de estos efectos. En un motor PH de 46 HP a 1.400 r.p.m. de un valor de US\$ 2.670 el equipo de cierre automático cuesta US\$ 121 y el de alarma US\$ 68.

Excepto en la zona norte, el motor funciona entre 2.500 y 3.000 hrs. durante los seis meses que dura el período de riego; en los seis meses restantes en que el motor va a estar guardado, se deberá tomar precauciones especiales para protegerlo y antes de empezar la nueva temporada se deberá hacer revisar y efectuar las reparaciones necesarias.

Respecto a la vida útil de un motor Diesel, tipo rápido, se la puede estimar en 25.000 hrs.; durante este tiempo, los gastos de reparaciones mayores, es costumbre estimarlos en un 100% del valor del motor. Los gastos de funcionamiento de un motor Diesel tipo rápido se pueden estimar en:

a) Gasto de petróleo, 200 grs. HP/hora. a \$ 4 el kilo	\$ 0.80
b) Gastos de aceite, grasa, filtros, reparaciones menores	\$ 0.20
	<hr/>
Costo de funcionamiento por HP/hora.	\$ 1.00
	<hr/>

El consumo de aceite mismo se estima en 0.002 lts. por HP/hora a \$ 50 el litro — \$ 0.10 por HP/hora.

CAPÍTULO VI

Dimensionamiento de la instalación y modo de operarla

Para el dimensionamiento del equipo habrá que considerar:

- 1º Consumo máximo de agua en un día;
- 2º Tiempo máximo de operación diaria;
- 3º Velocidad máxima de aplicación del agua;
- 4º Ubicación de la fuente de agua;
- 5º Sistema de operación elegido;
- 6º Distribución de los turnos de trabajo.

En general, habrá que distinguir cuándo se dan aplicaciones livianas y frecuentes o aplicaciones altas y más espaciadas; ésto quedará determinado por las condiciones del suelo y de los cultivos. Dar aplicaciones livianas cuando el cultivo y los suelos permitan aplicaciones más altas, es una mala técnica, ya que no se está aprovechando el papel regulador del suelo, lo que se traducirá en un aumento de los costos por dos motivos: mayores costos fijos debido a que la instalación debe ser de más capacidad para cubrir el consumo peak y mayores costos de operación debido al continuo movimiento de las líneas.

El gasto con que se dimensionará y la instalación se determinará del siguiente modo:

Sea tp el consumo peak diario, expresado en cms. determinado según la tabla que figura en la páginas N.os 146-147, S la superficie por regar en hectáreas, R el rendimiento del riego y Tp el período máximo en horas de operación diaria con que se piensa cubrir el peak.

$$Q \text{ máx.} = 100 \cdot \frac{tp \cdot S}{Tp \cdot R} \text{ m}^3/\text{hra}$$

Si el consumo peak diario fuera de 0.6 cms., $S = 50$ hectáreas, $R = 0,75$ y suponiendo que el peak se tome con 22 hras. de operación.

$$Q \text{ máx.} = \frac{100 \cdot 0,6 \cdot 50}{22 \cdot 0,75} = 182 \text{ m}^3/\text{hra},$$

La bomba y el sistema quedarán diseñados para dar el gasto Q máx.; este gasto será entre un 10-50% mayor que el gasto medio del mes de máximo consumo según la altura de cada riego. Para proporcionar el agua necesaria en el mes de máximo consumo y con más razón en los otros meses, se podría proceder de dos modos:

1º Disminuyendo el gasto, y

2º Disminuyendo el tiempo de operación diaria.

El primer punto se podrá hacer en instalaciones semiestacionarias en las cuales el gasto total puede estar fraccionado en una serie de bombas o en las instalaciones móviles donde existe la posibilidad de regular la velocidad del Diesel o, la pulverización de los chorros para disminuir el gasto. En general, este sistema no será conveniente debido a que las bombas no estarán funcionando a su máximo rendimiento lo que es de obvia importancia, si se considera el mayor trabajo de operación.

La disminución del tiempo de operación será el método ideal, ya que se mantiene la instalación trabajando a su rendimiento máximo y los gastos en jornales disminuirán. Será posible siempre que el caudal desde donde se toma el agua sea más o menos constante.

En la práctica, convendrá seguramente variar ambas cosas, principalmente el segundo para tratar de ajustarse a jornadas determinadas de trabajo (turnos de 8 a 12 horas).

Cuando se hacen aplicaciones livianas y se decide tomar el peak con 22 horas de trabajo, que es un máximo diario si se considera que en movimiento de la bomba y cañerías surtidoras se pierde un 10% del tiempo, no habrá posibilidad que el equipo funcione más de 450 horas mensuales, o sea, en término medio de

15 horas diarias. $\left(\frac{22}{1.5} = 15\right)$ En cambio, cuando se dan aplicaciones altas, el consumo peak diario será muy similar al medio del mes de máximo consumo y el equipo podrá funcionar 600 horas mensuales (20 horas diarias) y tendrá 2 horas adicionales para tomar el peak.

Para distribuir el agua existirán redes de cañerías, las cuales se pueden clasificar en:

Cañería alimentadora,

Ala surtidora,

Ala suplementaria.

En la Fig. N° 11 se puede apreciar una cañería alimentadora a cuyos lados riegan un par de alas surtidoras; la bomba podría estar en cualquiera de los extremos de la cañería alimentadora y aún mejor, si estuviese en el centro, con lo cual se disminuirán apreciablemente las pérdidas de carga. La operación de esta instalación se puede hacer de dos modos:

1º Mientras riega un ala surtidora la otra se corre a una nueva posición y así hasta que cada ala surtidora haya recorrido toda la cañería alimentadora. Después se moverán la bomba y toda la instalación a una nueva posición.

2º Ambas alas riegan; en este caso convendrá disponer de alas suplementarias, las cuales luego trataremos; en este caso el gasto total de la bomba se divide en dos alas surtidoras, lo que permite una reducción del diámetro de éstas; asimismo, la pérdida de carga en la línea será casi constante, ya que ambas alas trabajan empezando desde los extremos. Este tipo de instalación será casi obligatoria en caso de que la cañería alimentadora sea fija ya que al fraccionarse en dos partes el gasto, el diámetro de ésta puede reducirse.

En la Fig. N° 12 se puede apreciar cómo trabaja el ala suplementaria. La cañería alimentadora está marcada en raya gruesa. En el ala surtidora trabajan

dos pistones y el trabajo de ésta se termina con tres posiciones de los dos surtidores, o sea, seis posiciones de surtidor.

En A, ambos surtidores se encuentran regando en la posición (1), el ala suplementaria es (4).

En B, los surtidores riegan desde la posición (2), (1), se lleva hacia adelante.

En C, los surtidores riegan desde la posición (3) y (2) se lleva hacia adelante, con lo cual la próxima línea surtidora es 1-2-4 y (3) será la futura ala suplementaria.

Convendrá tener 4 pistones para no perder tiempo.

La longitud del ala suplementaria es muy fácil de calcular. Supongamos que en el ala surtidora trabajan n pistones y que éstos terminan su trabajo con "na" posiciones de surtidores. Luego para que siempre hayan n surtidores trabajando deberán existir $(na + n)$ posiciones entre el ala surtidora y suplementaria. Luego el ala suplementaria deberá tener una longitud de n posiciones o $\frac{1}{n}$ de la surtidora. Si $a = 1$ la longitud de la suplementaria será igual a la surtidora.

En el caso de la Fig. N° 12 $N = 2$; $a = 3$ luego el ala suplementaria tiene una longitud de dos posiciones de surtidor.

La conveniencia de colocar alas suplementarias dependerá de la frecuencia con que hay que mover las alas surtidoras. Si un ala surtidora termina su trabajo en 2 horas, será distinto que en el caso que la termine en 12; en el primer caso, ésta será de vital importancia para dar un trabajo continuado, no así en el segundo caso. Cuando las aplicaciones son muy livianas, las líneas surtidoras se deberán mover con frecuencia y convendrá siempre disponer de un ala suplementaria para no perder tiempo; en movimiento de cañerías, en general se considera que el tiempo de operación neta, o sea de riego, debe ser a lo menos un 85% del tiempo de operación total, el cual comprende movimiento de la bomba y cañerías. En un estudio hecho sobre costos de riego de aspersión en el Valle de Sacramento, U.S.A., se puede apreciar que en instalaciones con ala suplementaria el tiempo de operación neta es alrededor de un 86% y, sin ala suplementaria, un 75 del tiempo de operación total. Asimismo, en Europa se considera que el tiempo perdido en mover líneas y bombas no debe exceder de un 12%.

Respecto a las condiciones de trabajo se debe tratar en lo posible que los movimientos de la bomba se hagan al terminar un turno y empezar otro, ya que al juntarse ambos habrá más facilidades. Cuando se hacen aplicaciones altas, hasta 10 cms. en algunos casos, el equipo requerirá muy poca atención y, en este caso, será especialmente conveniente la dicho anteriormente.

Las longitudes de las cañerías alimentadoras y surtidoras quedarán determinadas principalmente por la ubicación de la fuente de agua y forma del terreno por regar y deberá ser estudiado en cada caso en forma particular.

Respecto a la distancia que habrá entre líneas y surtidores, dependerá del alcance del chorro y del arreglo que se haga de éstos, ya sea en cuadrado, en triángulo equilátero o en sectores. Esto se haya ampliamente tratado en el capítulo N° 3. Esta distancia deberá ser siempre un múltiplo de la longitud de cada tira de cañería; en Europa la longitud standard son 6 mts., en Estados Unidos, se usan longitudes de 20-40'.

En cuanto a la elección de los surtidores, diremos, lo siguiente: consideradas las presiones normales de trabajo y la fineza de la lluvia deseada, se elegirá el

diámetro de la boquilla y el número de pistones para dar el gasto máximo. (Ver línea surtidora más económica).

Supongamos que deseamos dar un gasto de 120 m³/hra. con lluvia fina, correspondiente a la curva b del abaco de la Fig. N° 1.

Considerando presiones entre 30 y 50 mts., tenemos para elegir boquillas de 16 mms. hasta d 25 mms., la primera da un gasto de 17 m³/hra., y la segunda, 52 m³/hra., el caso que más se ajustará será 4 boquillas de d = 20 mms. trabajando a una presión de 40 mts.

Una vez determinada la presión mínima de trabajo de los pistones, la determinación de la altura total de elevación de la bomba se hará del siguiente modo:

Sea' H = Altura total de elevación de la bomba en mts.

h = presión mínima de trabajo eficiente de un surtidor en mts.

hp = pérdidas de carga en la cañería en el caso más desfavorable, en mts.

ht = desnivel topográfico en mts. (Se considera altura de succión y elevación del pistón).

$$H = h + hp + ht \text{ mts.}$$

La potencia absorbida por la bomba será de:

$$HP = \frac{Q \cdot H}{270 \cdot \eta} \text{ donde } Q = \text{gasto en m}^3/\text{hra}$$

$\eta = \text{eficiencia de la bomba.}$

La calidad del diseño de una instalación quedará medida en cierto modo por la razón entre la energía consumida por los regadores y la energía total consumida por el sistema. (Sin considerar desniveles topográficos). Se estima que una eficiencia de un 75% ya es buena.

También hemos visto que se debe tratar de que no haya variaciones mayores que un 20% entre la presión de los dos surtidores de más alta y baja presión; para obtener ésto se debe tratar de fraccionar el gasto y dimensionar las líneas de acuerdo con el capítulo correspondiente.

La potencia del motor Diesel o a bencina deberá ser un 25% que la absorbida por la bomba y la de un motor eléctrico, un 15% mayor.

A continuación se hará un estudio económico sobre los diversos factores que afectan el dimensionamiento de una instalación.

CAPÍTULO VII

Estudio Económico

Trataremos aquí dos puntos principales:

Los costos en el riego por aspersión y los factores económicos que influyen en el dimensionamiento del equipo.

Para evaluar los costos se debe distinguir:

Gastos fijos que comprende:	Interés sobre el capital invertido.
	Amortización.
	Gastos de mantención y conservación.
Gastos variables o de operación que comprende:	Gastos de energía, combustible, lubricantes, grasa y reparaciones menores.
	Gastos de servicio; jornales y Leyes Sociales.

La inversión inicial por hectárea regada varía dentro de límites muy amplios según las necesidades de agua, el tipo de instalación: portátil, semifija o fija; de alta o baja presión, ubicación de la fuente de agua, configuración del terreno y las características del mismo riego, suplemental o total. Es así como existen tanto en U.S.A. como en Europa, inversiones iniciales que van desde US\$ 20 a US\$ 1.000 por hectárea.

Para dar una idea más clara analizaremos los gastos anuales totales producidos por:

- a) La planta de bombeo;
- b) Redes surtidoras;
- c) Gastos de servicio.

a) *La planta de bombeo:*

Los gastos anuales producidos por la planta de bombeo variarán principalmente según: a) Presión de funcionamiento de los surtidores y tipo de unidad motriz, ya sea eléctrica o Diesel. En las páginas 187 y 188 se hallan ampliamente tratados los gastos anuales totales producidos por la unidad motriz, sin incluir los gastos de servicio que se consideran aparte.

b) *Redes alimentadoras y surtidoras:*

La inversión inicial en cañerías móviles por hectárea, dependerá principalmente de la configuración del terreno, ubicación de la fuente de agua y del tipo de riego que se desee dar: éste podrá ser riego suplemental de alta presión o riego total de baja presión.

Como habíamos dicho anteriormente las cañerías móviles de aspersión se fabrican, ya sea de acero galvanizado o de aleaciones de aluminio, los precios, si consideramos el cambio único de ciento diez pesos por dólar más un 15% de recargo del valor C.I.F. sobre F.O.B serían de:

Cañería de acero galvanizado:

* El m². cubierto vale entre \$ 3.500 a \$ 3.800. Son transportables hasta diámetros de 108 mms., su espesor varía entre 1 y 2 mms. Según recomendación de los fabricantes se deben amortizar en un plazo de 10 años.

Cañería de aleación de aluminio:

Se pueden considerar dos tipos: Una usada para equipos de alta presión y de espesores variables de 2-5 mms. al variar el diámetro entre 50-200 mms. y otra con espesores de 1,3 mms. — 2.8 mms. dentro de los mismos diámetros y usadas casi exclusivamente en equipos de baja presión. El precio de la primera por m². cubierto incluyendo acoplamiento y patas, varía entre \$ 5.400 y \$ 7.000, la segunda entre \$ 3.800 y \$ 4.500. Para la primera se da una vida útil de 25 años y es transportable por un hombre hasta ϕ 133, la segunda lo es hasta ϕ 200.

Respecto a los surtidores, los precios de éstos varían entre \$ 750 y \$ 15.000 c/u., según su capacidad, alcance y características de funcionamiento. La inversión inicial en surtidores será, en general, del mismo orden cuando se usan varios surtidores de baja presión o unos pocos de alta. La vida útil será bastante menor que la de la cañería y se estima que una depreciación anual de un 25% es prudente.

Los gastos anuales fijos producidos por las cañerías móviles en caso de considerar ambas cañerías de aleación de aluminio se pueden estimar entre un 14 a 20% de la inversión inicial (10% de interés y 4-10% de depreciación).

Los gastos de servicio ocasionados por las cañerías móviles dependen principalmente de su peso, o sea, si son transportables por 1 ó 2 hombres, y de la frecuencia con que deban moverse.

Consideremos una red surtidora de 300 mts. de largo y de un diámetro de ϕ 133 mms. son transportables por 1 hombre en aleaciones de aluminio y por dos en caso de usar acero galvanizado, aun cuando consideremos la cañería más cara de aluminio el costo anual total favorecerá a esta última.

Costo inicial de 300 mts. de cañería de acero galvanizado (ϕ 133) \$ 150.000.—

Costo inicial de 300 mts de cañería de aleación de aluminio

(ϕ 133) \$ 250.000.—

(*) Superficie cubierta = Longitud x Diámetro.

Considerando un jornal de \$ 15.— hora y 2.500 horas de operación anual, tendremos:

Gastos fijos en la cañería de aleación 14% de \$ 250.000	\$	35.000.—
Gastos de servicio 5.000 horas a \$15.— c/u.	\$	75.000.—
T O T A L A N U A L:		\$ 105.000.—

Gastos fijos en la cañería de aleación 14 %de \$ 250.000.	\$	35.000.—
Gastos de servicio 2.500 horas a \$ 15.— c/u.	\$	37.500.—
		\$ 72.500.—

Aún cuando hubiésemos amortizado la cañería de aluminio en igual plazo que la de acero, éste hubiere sido más económica.

La misma red de 300 mts. en cañería de aleación liviana de aluminio para sistemas de baja presión, daría un costo anual inferior. La inversión inicial subiría en este caso a \$ 150.000 y su costo anual total a \$ 67.500.

Finalmente, respecto al peso de los tres tipos de cañería, diremos lo siguiente:

Peso total de la red surtidora de 300 mts. en acero galvanizado 2.040 Kgs.

Peso total de la red surtidora de 300 mts. en aleación de aluminio (espesor 3 mms.) 1.400 Kgs.

Peso total de la red surtidora de 300 mts. en aleación de aluminio (espesor 1,6 mms.) 640 Kgs.

A continuación analizaremos los diámetros más convenientes de las cañerías:

FACTORES ECONOMICOS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACION

Al dimensionar una instalación cualquiera se deberá considerar aquella solución que haga mínima la suma de los gastos anuales totales y el valor de la energía perdida.

Analizaremos aquí los diámetros más convenientes, tanto en las cañerías alimentadoras y surtidoras, y de qué modo se debe elegir la presión más adecuada para el funcionamiento de los pistones.

Diámetro más económico de las cañerías alimentadoras

El caso es el siguiente:

A un gasto Q se le debe dar una altura mínima disponible H en el pistón. O sea, el caso típico de una cañería de impulsión. El diámetro más económico será aquel que haga mínima la suma de los costos anuales y el valor de la energía perdida.

La potencia que es necesario instalar es:

$$N = \frac{\gamma Q (H + JL)}{75 \eta} = \text{HP}$$

Sea d_1 el costo anual por caballo instalado y, supongamos que el de la cañería sea d_2 LD.

Luego el costo anual total será:

$$C = d_1 \cdot N + d_2 LD = \frac{d_1 \cdot \gamma \cdot Q}{75 \eta} (H + K \frac{Q^2}{D^5} L) + d_2 LD$$

El mínimo costo anual será aquel que anule la derivada:

$$\frac{dG}{dD} = 0 = \frac{-5 d_1 \cdot \gamma \cdot K \cdot Q^2}{75 \cdot \eta \cdot D^6} \cdot L + d_2 \cdot L$$

$$D = \sqrt[6]{\frac{K \cdot d_1 \times \gamma}{15 \cdot d_2}} \sqrt[6]{Q} \quad \text{Si consideramos } K = 0.002 \text{ y redondeando, tendríamos}$$

$$D = 0.76 \sqrt[6]{\frac{d_1}{d_2}} \sqrt[6]{Q}$$

Para avaluar estos valores consideraremos:

Gastos fijos: Interés del capital invertido;
Amortización de la maquinaria;
Gastos de conservación.

Gastos de operación: Energía y lubricantes;
Jornales y leyes sociales.

Avaluaremos los gastos para el grupo motobomba por HP instalado y, en el caso de cañerías por m² cubierto. Los gastos de servicio no los avaluaremos aquí, ya que los que provienen de la cañería y del grupo motobomba son sensiblemente iguales y, en ningún caso, si hubiere alguna diferencia quedaría muy reducida por la raíz sexta.

CASO DIESEL

Estimaremos, en general que el HP instalado tiene un valor de \$ 10.000., lo cual corresponde en forma bastante aproximada para potencias de 15-50 HP. Consideraremos que el equipo funciona 2.500 horas anuales y que este tiene una vida útil de 10 años.

Gastos anuales por HP instalado

Interés 10% de \$ 10.000. \$ 1.000.—

Amortización 10% de \$ 10.000.	\$ 1.000.— (acumulativa).
Conservación y mantención 10% de \$ 10.000	\$ 1.000.—
2.500 HP X hora a \$ 1 el HP/hra.	\$ 2.500.—
Gastos totales anuales por HP instalado = d_1 =	\$ 5.500.—

Con motor eléctrico

Estimaremos que el HP instalado vale \$6.000 considerando transformador, partidador, etc. La vida útil la estimaremos en 20 años

Interés 10% de \$ 6.000	\$ 600.—
Amortización 5% de \$ 6.000.	\$ 300.—
Conservación y mantención 1%	\$ 60.—
Consumo de energía 2.500 HP X hora a 75% de eficiencia = 2.500. KWH a \$ 0.60 KWH	\$ 1.500.—
Gastos totales anuales por HP instalado d_1 =	\$ 2.460.—

CAÑERÍA

Consideraremos cañerías de aleaciones de aluminio:

Como habíamos visto anteriormente, los espesores de estas cañerías no se encuentran completamente standardizados; mientras éstos varían en una cañería A desde 2,5 mms. al variar el diámetro de 50 mms. a 200 mms., en la B varían desde 1,3-3 mms. Esta reducción del espesor en la cañería B es del orden de un 30-40%, lo que se traduce en una reducción de precio de más o menos del mismo orden, y lo mismo respecto al peso. Esto hace que la cañería B sea transportable por un hombre hasta diámetros de 200 mms. y la A hasta 133 mms. si se consideran tiras de 6 mts. La reducción de peso será de importancia cuando se pasa de una cañería transportable por un hombre a una transportable por dos ya que los gastos de servicio se duplicarían, pero se puede decir, en general, que los gastos de servicio provienen de las redes surtidoras que se deben mover con mucha frecuencia en comparación con las alimentadoras y que en las primeras rara vez el diámetro excederá de los 133 mms.

El problema que presenta una cañería tan delgada como la B y que se debe mover constantemente, a veces en terrenos abruptos, es su duración; cuando esta cañería se encuentra manejada por operarios cuya hora de trabajo vale \$ 200. o más pesos, se puede comprender que se reduzca la inversión inicial y los mayores gastos de servicio que puede acarrear esta cañería, pero en el caso nuestro en que el campo de la aspersión está en riego de faldeos y cuya operación será hecha seguramente por operarios descuidados, valdrá la pena pagar un 35% más. Pero lo

que decidirá finalmente será la experiencia; si la cañería B resiste bien las condiciones de trabajo, desplazará a la A. *

Los costos de la cañería A varían entre \$ 5.000 - 7.000 por m² cubierto para diámetros variables de 48-159 mms; en la B dentro de los mismos diámetros el m² vale entre \$ 3.800 - 4.500 el m²/cubierto.

Para la cañería A se da una vida útil de 25 años, para la cañería B, si suponemos una vida útil de 10 años, tendremos los siguientes gastos, considerando que como término medio el m², cubierto de la cañería A vale \$ 6.000. y el de la B \$ 4.000.

CAÑERIA A

Interés 10% de \$ 6.000.	\$ 600.—
Amortización 4% de 6.000 (vida útil 25 años).	\$ 240.—
	\$ 840.—
Gastos anuales por m ² cubierto = "d ₂ "	\$ 840.—

CAÑERIA B

Interés 10% de \$ 4.000.	\$ 400.—
Amortización 10% de \$ 4.000.—	\$ 400.—
	\$ 800.—
Gastos anuales por m ² cubierto d ₂	\$ 800.—

Considerando que los gastos anuales por m² cubierto valen \$ 840.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{5500}{840} = 6.55 \quad D = \sqrt{Q} \quad \text{Para caso Diesel}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{2460}{840} = 2.94 \quad D = 0.89 \sqrt{Q} \quad \text{Para motor eléctrico}$$

Las velocidades medias resultantes serán:

$$U = \frac{4 Q}{\pi D^2}$$

Para caso Diesel $U = \frac{4Q}{\pi Q} = 1,27 \text{ mts/seg}$

Para motor eléctrico $U = \frac{4 Q}{\pi 0.8q} = 1,6 \text{ mts/seg}$

Las cifras anteriores dan una idea de las velocidades más económicas en las cañerías alimentadoras; en general, se recomienda no excederse de 2 mts.

(*) Si bien los costos anuales totales son similares entre la cañería A y B hasta diámetros de 133 mms., cuando se trata de diámetros superiores la cañería B será mucho más económica, ya que debido a su menor peso pueden ser manejados por un hombre hasta diámetros de 200 mms.

por segundo. En el abaco de la Fig. 10 se han colocado los diámetros más convenientes para las cañerías alimentadoras, quedando las velocidades comprendidas entre 1,2 y 2 mts. por seg. La pérdida de carga máxima varía, desde un 5% para los diámetros menores hasta un 3% para los diámetros mayores.

En las cañerías surtidoras donde el gasto se puede fraccionar en varios pistones, resultarán diámetros menores como luego veremos al aplicar el criterio de Adams.

DETERMINACION DE LA LINEA SURTIDORA MAS ECONOMICA

El problema consiste en lo siguiente:

Una red surtidora de largo L y de gasto Q debe dar una lluvia de fineza determinada ¿Cuál será la presión más económica a que deben funcionar los surtidores, cuál el número de ellos y cuál el diámetro de la cañería? Para resolver este problema se aplicará el criterio de Adams que dice que la solución más económica es aquella que hace mínima la suma de los gastos anuales totales y el valor de la energía perdida.

Determinación de la presión de funcionamiento de los surtidores y número de ellos

Supongamos que deseamos dar un gasto Q en forma de lluvia de fineza determinada. Es evidente que si el gasto total lo pensamos dar con un surtidor se deberá dar con una presión mucho mayor que si lo vamos a dar con dos, tres, cuatro o veinte surtidores. Esto se puede apreciar claramente en el abaco de la Fig. N° 1. Si por ejemplo deseamos dar un gasto de $120 \text{ m}^3/\text{hra.}$, con una lluvia fina, curva b, se puede hacer de las siguientes maneras:

1	pistón con boquilla de ϕ 35	a 58 mts. de presión en la boquilla.
2	" " " " ϕ 26	" 54 " " " " " "
4	" " " " ϕ 20	" 40 " " " " " "
6	" " " " ϕ 18	" 30 " " " " " "
10	" " " " ϕ 14	" 24 " " " " " "

Para estudiar la solución más económica, se deberá considerar:

- A) Gastos anuales fijos de la potencia consumida por los surtidores;
- B) Costo anual de la energía consumida por los surtidores;
- C) Gastos anuales fijos de los surtidores;
- D) Gastos anuales fijos de la potencia adicional consumida por la cañería;
- E) Costo anual de la energía perdida en la cañería;
- F) Gastos anuales fijos de la cañería;
- G) Gastos en jornales producidos por el movimiento de surtidores y cañerías.

Los gastos de servicio en la planta de bombeo no variarán en general con la potencia instalada, de modo que no habrá necesidad de considerarlos para la elección de la presión y diámetro más económico de la cañería. La solución más económica será aquella que haga mínima la suma de los gastos enumerados anteriormente.

A continuación haremos un análisis para el siguiente caso:

Una línea surtidora debe deslizarse a lo largo de una cañería alimentadora

regando a 250 mts. a un lado de ésta. Considerando un gasto de 120 m³/hra. veremos cuáles son las presiones más económicas y cuál es diámetro más conveniente de la cañería.

Para aplicar el criterio de Adams, nos basaremos en las siguientes cifras:

A) Costo anual fijo por HP instalado consumido por los surtidores:

Caso Diesel 30% de \$ 10.000	\$ 3.000.—
Caso eléctrico 16% de \$ 6.000	\$ 1.000.—

B) y E) Costo anual de la energía consumida por los surtidores y pérdida en las cañerías:

Caso Diesel	\$ 1.— el HP/hra.
Caso eléctrico	\$ 0.60 " "

El costo de la energía perdida en las cañerías considerando 2.500 hás. anuales de funcionamiento, están en la columna 3 del cuadro de la pág. 195.

D) El costo anual del HP adicional consumido por las cañerías se ha estimado en:

Caso Diesel 30% de \$ 10.000	\$ 3.000.—
Caso eléctrico 16% de \$ 6.000	\$ 1.000.—

Estos costos van en la columna 2 del cuadro en referencia y su fin principal es elegir la cañería más económica.

F) Costos anuales fijos producidos por la cañería: Se estiman como un 15% de la inversión inicial, estos costos van en la columna 1 del cuadro en referencia, esta columna se haya dividida en dos: a y b; a representa la cañería surtidora y b la suplementaria. Para los cálculos se han considerado los siguientes precios para cañerías de aleación liviana de aluminio con sus coplas y patas.

φ 108	\$ 625 el m.1.
φ 133	840 el m.1.
φ 159	1.100 el m.1.

C) Respecto a los surtidores se estima que su vida útil no es superior a las 10.000 hras., luego si se consideran 2.500 hras. de operación, los gastos anuales fijos serán 25% anual de amortización + 10 % anual de interés.

G) Gastos en jornales producidos por el movimiento de las cañerías:

Se considera, en general, que un hombre puede manejar de 250-300 mts. de cañerías de aleación liviana (peso de cada tira inferior a 30 Kgs.). Si consideramos transportables por un hombre las tiras de cañería hasta φ 133, al pasar al diámetro mayor φ 159 habrá necesidad de dos hombres para transportar cada tira y los gastos de servicio se duplicarán. Si bien en ciertos casos el operador sólo deberá mover cada vez una fracción del ala surtidora y en otros casos la deberá mover entera, los gastos por servicio que se le han imputado en el cuadro, son iguales. Esto corresponderá a la realidad cuando exista una cañería surtidora, pero

lo corriente en instalaciones semifijas y, en cierto tipo de portátiles es que existan dos por cada cañería alimentadora de modo que si bien las soluciones 1 y 2 permiten reducir sus gastos de servicio a la mitad en caso que existan dos alas surtidoras, la tercera no lo permitiría por tener el ala suplementaria igual a la surtidora. (Hay que moverla entera).

En la columna 4 del cuadro en referencia, se encuentran los gastos por servicio, estimado en 2.500 hras-hombre, en caso de usarse diámetros menores que 159 mms. y, en 5.000 hras-hombre, en caso de usarse diámetros iguales o mayores.

Gastos en jornales:

$$2.500 \text{ hras-hombre a } \$ 15 \text{ la hra.} = \$ 37.500.-$$

$$5.000 \text{ hras-hombre a } \$ 15 \text{ la hra.} = \$ 75.000.-$$

Se considerarán soluciones con: uno, dos y cuatro pistones, ver Fig. N° 13.

Solución N° 1:

1 pistón con una boquilla de ϕ 35 mms. a una presión de 68 mts. dá lluvia fina según el abaco de la Fig. N° 1. El alcance del chorro es 65 mts. y puede regar un círculo de 130 mts. de diámetro.

Disponiendo los surtidores como en la figura N° 13, tendremos las siguientes longitudes de cañería:

$$\text{Cañería surtidora} = 2 \cdot 84 + 42 = 210 \text{ mts.}$$

$$\text{Cañería suplementaria} = 42 \text{ mts.}$$

Longitud total de la cañería = 352 mts.

Potencia consumida por el pistón considerando el rendimiento de la bomba como $\eta = 0.66$.

$$\text{HP} = \frac{20 \cdot Q \cdot H}{\eta} = \frac{20 \cdot 0.0335 \cdot 68}{0.66} = 45,5 \text{ HP (} Q = 120 \text{ m}^3/\text{hra.} \\ = 33.5 \text{ lts/seg.)}$$

Energía consumida por el pistón en 2.500 hras.

$$E = 45.5 \cdot 2.500 = 113.700 \text{ HP/hra.}$$

Pérdidas de carga máximas.

$$\phi \cdot 108 = 0.165 \cdot 210 = 34.60 \text{ mts.}$$

$$\phi \cdot 133 = 0.060 \cdot 210 = 12.60 \text{ "}$$

$$\phi \cdot 159 = 0.0245 \cdot 210 = 5.15 \text{ "}$$

que representan las siguientes potencias adicionales en HP.

$$\phi \cdot 108 \text{ — HP adicional} = 20 \cdot 0.0335 \cdot 34.60 = 23.2 \text{ HP.}$$

$$\phi \cdot 133 \text{ HP " } = 20 \cdot 0.0335 \cdot 12.60 = 8.45 \text{ HP.}$$

$$\phi \cdot 159 \text{ HP " } = 20 \cdot 0.0335 \cdot 5.15 = 3.45 \text{ HP.}$$

y la siguiente energía perdida en 2.500 hras.

Pérdida de carga media 0.60 HP máx.

$$\phi 108 \quad E = 0.6 \cdot 23,2 \cdot 2500 = 34.800 \text{ HP/hra.}$$

$$\phi 133 \quad E = 0.6 \cdot 8.45 \cdot 2500 = 12.650 \text{ HP/hra.}$$

$$\phi 159 \quad E = 0.6 \cdot 3.45 \cdot 2500 = 5.170 \text{ HP/hra.}$$

En el cuadro de la página 184 se puede observar que la cañería más económica es $\phi 133$, siempre que $\phi 159$ no fuese transportable por un hombre.

Los gastos anuales totales producidos por la

cañería serían ($\phi 133$).

Caso Diesel \$ 107.300.—

Caso eléctrico \$ 85.350.—

Si los gastos de servicio se dividieran en dos alas surtidoras, tendríamos:

Caso Diesel \$ 88.550.—

Caso eléctrico \$ 66.600.—

Solución N° 2

2 pistones con boquilla de 25 mms. con $H = 60$ mts. dan un gasto de $120 \text{ m}^3/\text{hra}$. El diámetro regado por estos pistones es de 92 mts.

Usando disposición en cuadrado, según Fig. 13 tendríamos las siguientes longitudes de cañería:

$$\text{Cañería surtidora} = 33 + 3.66 = 231 \text{ mts.}$$

$$\text{Cañería suplementaria} = 33 + 66 = 99 \text{ mts.}$$

Longitud total de la red surtidora 330 mts.

Potencia consumida por ambos surtidores ($\eta = 0.66$) = 40 HP.

Energía consumida por ambos surtidores en 2.500 hras. de trabajo = 100.000 HP/hra.

Pérdidas de carga máxima:

$$\phi 108 \text{ hp} = 0.165 \cdot 99 + 0.62 \cdot 0.165 \cdot 132 = 16.30 + 13.50 = 29.80 \text{ mts.}$$

$$\phi 133 \text{ hp} = 0.060 \cdot 99 + 0.62 \cdot 0.060 \cdot 132 = 6.00 + 4.92 = 10.92 \text{ mts.}$$

$$\phi 159 \text{ hp} = 0.0245 \cdot 99 + 0.62 \cdot 0.0245 \cdot 132 = 2.40 + 2.00 = 4.40 \text{ mts.}$$

que representan los siguientes HP adicional, si $\eta = 0.66$.

$$\phi 108 = \text{HP } a = 20 \cdot 0.0335 \cdot 29.80 = 20 \text{ HP.}$$

$$\phi 133 = \text{HP } a = 20 \cdot 0.0335 \cdot 10.92 = 7.3 \text{ HP.}$$

$$\phi 159 = \text{HP } a = 20 \cdot 0.0335 \cdot 4.40 = 2.95 \text{ HP.}$$

y las pérdidas de energía en la cañería serán (2.500 horas.).

E = 0.66 HP a 2.500	φ 108	33.000 HP/hra.
	φ 133	12.000 HP/hra.
	φ 159	4.850 HP/hra.

En el cuadro respectivo se puede precisar que el diámetro más económico es φ 133, (siempre que φ 159 no sea transportable por un hombre, en el caso Diesel, en el caso eléctrico, convendría siempre φ 133).

Gastos anuales totales producidos por la cañería:

Caso Diesel	\$ 113.100.—
Caso eléctrico	\$ 93.400.—

Si los gastos de servicio se fraccionan en dos alas surtidoras:

Caso Diesel	\$ 94.350.—
Caso eléctrico	\$ 74.650.—

Solución N° 3

4 pistones con una boquilla de φ 20 dan 120 m³/hra. con H = 35 mts.

El diámetro regado por el pistón es 84 mts.

Disponiendo los surtidores en cuadrado a = b = 60 mts.

En la Fig. 13 se puede apreciar las longitudes necesarias de cañería, que son:

Cañería surtidora = 210 mts.

Cañería suplementaria = 210 mts.

Longitud total de la red surtidora = 420 mts.

Potencia consumida por los cuatro surtidores ($\eta = 0.66$) = $20 \cdot 0.0335 \cdot 35 = 23.4$ HP.

Energía consumida por los pistones en 2.500 horas. = 54.800 HP/hra.

Pérdida de carga máxima:

φ 108 hp = 0.165 · 30 + 0.52 · 180 = 4.95 + 15.50 = 20.45 mts.
φ 133 hp = 0.060 · 30 + 0.52 · 180 = 1.80 + 5.60 = 7.40 mts.
φ 159 hp = 0.0245 · 30 + 0.52 · 180 = 0.75 + 3.05 = 3.05 mts.

Las potencias adicionales y las pérdidas de energía serían:
($\eta = 0.66$).

φ 108 = 13.7 HP.	E = 34.200 HP/hra.
φ 133 = 5 HP.	E = 12.500 HP/hra.
φ 159 = 2 HP.	E = 5.000 HP/hra.

GASTOS ANUALES TOTALES PRODUCIDOS POR LAS LINEAS SURTIDORAS

	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	1+2+3+4	1+2+3+4	Solución	
ϕ mms.	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	1+2+3+4	1+2+3+4	Solución	
	a	b	D	E	E	E	Diesel	Eléctrico	
108	19.650	3.950	69.500	23.200	34.800	20.900	37.500	165.400	105.200
133	26.500	5.300	25.350	8.450	12.650	7.600	37.500	x107.300	85.350
159	34.500	6.950	10.350	3.450	5.170	3.100	75.000	131.970	123.000
			Si ϕ , 159 es transportable por un hombre				37.500	94.470	85.500
108	21.700	9.300	60.000	20.000	33.000	19.800	37.500	161.500	107.800
133	29.200	12.500	21.900	7.300	12.000	7.200	37.500	113.100	93.700
159	38.100	16.350	9.000	3.000	4.850	2.950	75.000	143.400	135.400
				(%)			37.500	105.800	97.900
108	19.700	19.700	41.100	13.700	34.200	20.500	37.500	152.200	111.100
133	26.500	26.500	15.000	5.000	12.500	7.500	37.500	118.000	103.000
159	34.700	34.700	6.000	2.000	5.000	3.000	75.000	155.400	149.400
				(%)			37.500	117.900	111.900

Con 1 pistón -

Con 2 pistones

Con 4 pistones

La cañería más económica será ϕ 133 que tendrá los siguientes gastos anuales:

Caso Diesel	\$ 118.000.—
Caso eléctrico	\$ 103.000.—

Es de observar que en los tres casos, los diámetros más económicos han sido ϕ 133; esto se debe a que el diámetro ϕ 159 se le ha imputado el doble en gastos de servicio debido a las razones ya nombradas, si las tiras de ϕ 159 hubiesen sido transportables por un hombre se hubiese impuesto en las soluciones 1 (eléctricas y Diesel), y en la 2, Diesel. Esto se debe a que una parte importante de los gastos anuales totales imputables a la cañería provienen de la mayor potencia adicional y pérdida de energía, que en la solución 1 representan un 37%. En la solución 3, los mayores gastos provienen de la mayor longitud del ala suplementaria y gastos de servicio; los gastos de potencia adicional se reducen notablemente al fraccionar el gasto en varios pistones. Todo esto se puede apreciar en el cuadro. (Gastos anuales totales producidos por las líneas surtidoras).

A continuación y basándonos en lo sentado en los párrafos A, B, C, D, E, F, G, haremos un breve análisis de las tres soluciones: en la 1 y 2 los gastos de servicio en la línea surtidora se han reducido a la mitad \$ 18.450, suponiendo que un hombre atendiese dos alas.

Gastos imputables a las tres soluciones en pesos. (Estos son gastos imputables a las líneas surtidoras; no se han considerado ni gastos de servicio en la planta de bombeo ni ningún otro gasto que no sea directamente imputable a la línea surtidora).

Solución	A	B	D+E+F+G	Total
1) Diesel	\$ 136.200	113.700	88.550	338.450
1) Eléctrica	45.500	68.400	66.600	180.550
2) Diesel	\$ 120.000	100.000	94.350	314.350
2) Eléctrica	40.000	60.000	74.650	174.650
3) Diesel	\$ 79.200	54.800	118.000	252.000
3) Eléctrica	23.400	32.800	103.000	159.200

Los cálculos anteriores corresponderán bastante bien a la realidad en el caso de instalaciones Diesel móviles y, en eléctricas semifijas; estas cifras como hemos repetido corresponden a los gastos imputables a la cañería surtidora; si al caso Diesel se le agregan los gastos de servicio en la planta motobomba se tendría en forma bastante aproximada el costo anual total; respecto a la instalación semifija se puede decir lo siguiente: una cañería fija se puede estimar, que riega entre 50-100 hás. por Km. (250-500 mts. para cada lado); esto va a significar inversiones entre \$ 15 — \$ 20.000 hás. siempre que toda la cañería sea útil, o sea entre \$ 1.500 a \$ 2.000 de gasto anual por há., lo que va a recargar el m³. colocado entre \$ 0.10 a \$ 0.80 según los volúmenes de agua usados.

Respecto a qué soluciones son más económicas, si las móviles o semifijas, si las de alta o baja presión, se puede decir que, en general, dependerán de las condiciones particulares de cada caso, pero hay ciertos puntos sobre los cuales uno se puede basar.

Las soluciones de alta presión serán convenientes allí donde exista energía barata o en que se deban dar aplicaciones muy livianas, cubriendo rápidamente una gran extensión; una solución de baja presión debido al continuo movimiento de las líneas podría hacer subir demasiado alto los costos de servicio en regiones montañosas. O sea, principalmente en aquellas regiones donde el riego por aspersión tenga como misión regularizar las lluvias naturales y no suplirlas completamente; en estos casos en que las aplicaciones anuales serán del orden de 100 mms. no importará pagar un mayor precio por el m³. si con ello se logra asegurar las cosechas; este caso se presentará en Chile únicamente en el sur; pero en el valle central, y en el zona norte, el problema ya es de distinto orden; se trata de dar todo el riego en forma artificial. El ala surtidora de 120 m³/hra. podrá en Osorno, por ejemplo, regularizar el riego de unas 100 hás., en cambio, en el valle central no regará más de 40 hás.; es evidente que los gastos de servicio tendrán mayor importancia relativa en el primer caso por dos razones principales: mayor movimiento del equipo y empleo de trabajo de cortas temporadas. Por estas razones se han usado los equipos de alta presión para riego suplemental y de aplicaciones livianas y de baja presión cuando todo el riego se da en forma artificial con aplicaciones relativamente altas.

Como se puede observar en la solución 3, gran parte de los gastos de las soluciones de baja presión provienen del ala suplementaria y de los costos de servicio; éstos se pueden reducir apreciablemente si se logra que los movimientos de las líneas sean cada 8 ó 10 horas como pasamos a demostrar para el caso de la solución 3, en el caso de que correspondiera a una instalación móvil operada por un grupo motobomba Diesel.

El ala surtidora de la solución 3 da una intensidad de riego de:

$$i = \frac{30}{60 \cdot 60} = 0.00835 \text{ mts./hra.} = 8.35 \text{ mms./hra. para el área neta.}$$

Y cubre una superficie neta de 1.44 hás.; si se dieran precipitaciones de 20 mms., los movimientos de las líneas serían cada 2,4 hrs. y sería indispensable tener un hombre a cargo del movimiento de éstas constantemente; sin embargo, si damos precipitaciones de 60 mms. los cambios de la línea serían cada 7,3 hrs.; se podría, por lo tanto, suprimir el ala suplementaria y el individuo encargado del movimiento de las cañerías estableciendo, ya sea, 2 ó 3 turnos de 8 hrs. c/u. De este modo, al empezar uno y terminar el otro se juntarían ambos hombres encargados de la motobomba para mover la línea y la motobomba portátil. En este caso el costo se puede reducir notablemente como veremos a continuación.

El costo de funcionamiento del ala surtidora de la solución 3, tiene un costo total de \$ 252.000, a esto le podemos descontar \$ 26.500 del ala suplementaria y \$ 37.500 de los jornales ganados por el hombre encargado de mover las líneas; para tener el costo total agregaremos los gastos de servicio de los hombres encargados de la motobomba y movimiento de líneas, considerando un jornal de \$ 25 hra., en 2.500 hrs. de riego y 250 hrs. de movimiento de cañerías tendríamos:

Gastos totales de servicio en la temporada:

$$2.750 \cdot 25 \$ = \$ 68.750—$$

Gastos totales del ala surtidora:

$$252.000 - 26.500 - 37.500 = \underline{188.000.-}$$

$$\text{Gastos totales en la temporada de riego} \dots \dots \dots = \underline{\$ 256.750.-}$$

$$\text{Costo total del m}^3 \dots \dots \dots = \$ 0,855$$

En caso de aplicaciones livianas 20 mms., el costo total hubiese sido de:

$$\text{Gastos totales: } 68.750 + 252.000 + *15.000 = 335.750.$$

$$\text{Costo del m}^3 = \$ 1.12.$$

Si consideramos una tasa de 7.000 m³/hra. el costo anual por hectárea sería de \$ 6.000 en la primera solución y de, \$ 7.850 en la segunda.

EL USO DE ENERGIA ELECTRICA EN LOS SISTEMAS DE ASPERSION

La conveniencia de usar energía eléctrica dependerá de la distancia a que se encuentra la zona por regar de las líneas de alta tensión.

En el caso de instalaciones semiestacionarias, o sea, en que la planta de bombeo está fija, será muy fácil calcular desde qué distancia es conveniente económicamente traer la energía eléctrica. Si C_d y C_e , son los costos anuales totales en la planta de bombeo, con motor Diesel y eléctrico, respectivamente y f son los gastos anuales producidos por kilómetro de línea, será conveniente la instalación eléctrica siempre que $C_e + f \cdot L$ sea menor o igual a C_d . (L = longitud de la línea).

Donde se puede presentar la duda sobre la conveniencia de usar energía eléctrica o Diesel aun cuando la primera se encuentre disponible a corta distancia es en el caso de instalaciones móviles debido a la necesidad de tender líneas en los potreros. Será este el caso que analizaremos.

En una instalación móvil será necesario disponer de dos redes: una de alta tensión 13.200 V y otra de baja 380 V; las líneas de baja correrán paralelamente a los canales y la de alta, paralela, o perpendicularmente a las líneas de baja, alimentado los transformadores; en el primer caso se usará la misma postación para la línea de baja que para la línea de alta. La distancia entre líneas de baja será un problema netamente económico y que se deberá estudiar en cada caso particular, considerando:

- a) Forma del terreno por regar y ubicación de los canales;
- b) Tasa máxima de riego;
- c) Condiciones de operación y movilidad.

Respecto a la distancia entre transformadores, o línea de alta, diremos que depende principalmente de la potencia instalada por kilómetro de línea de baja y de la caída de tensión admisible.

Si llamamos "a" la distancia en metros entre líneas de baja, tendremos que un kilómetro de ésta regará una superficie de 0.1 a hectáreas (considerando

* 15.000 representan los gastos fijos de 120 mts. de cañería alimentadora para dar un mínimo de 8 hrs. continuadas de riego. (Sin mover la bomba).

alas surtidoras a ambos lados de la línea y de longitud $\frac{a}{2}$). La potencia instalada por kilómetro de línea de baja, será igual a $K \cdot a$ donde K es una constante que depende de la presión de trabajo de los surtidores, desnivel topográfico y tasa máxima de riego. En la Fig. N° 14 se puede ver la potencia necesaria por hectárea con diversas tasas netas máximas a diversas presiones de funcionamiento de los pistones.

Si suponemos que $a = 600$ mts. se tiene que el kilómetro de línea de baja podrá regar 60 há. con dos alas surtidoras de 300 mts. c/u. y que la potencia instalada por Km. puede variar desde 20 HP. para $t = 0,3$ cms. diarios y presiones de 25 mts. hasta 108 HP para $t = 0,7$ cms diarios y presiones mínimas en los surtidores de 55 mts. Se puede decir, en general, que en un clima moderado, la mayor parte de las cosechas satisficcrán sus necesidades máximas para $t = 0,5$ cms. diarios lo que a presiones de funcionamiento mínimo de los surtidores 30-40 mts. significan potencias de 40-56 HP/Km. y gasto de 200 m³/hra/Km. Por ser este un caso que será muy común debido a que las dimensiones de ambas alas de 100 m³/hra/c/u., resultan portátiles y manejables por un hombre y que sus dimensiones se ajustan bastante bien al ancho o largo de potreros, las analizaremos a continuación:

Si la altura de presión mínima en los pistones es $H = 35$ mts y consideramos una pérdida de carga en la línea surtidora de $0,2 H = 7$ mts y un desnivel topográfico de 3 mts. tendremos que la altura de elevación total será de 45 mts. Si consideramos $\eta = 0,66$ en la bomba tendremos que la potencia necesaria para cada ala surtidora será:

$$HP = 20 \cdot 0,0278 \cdot = 25 \text{ HP. (En el eje).}$$

Luego usaremos dos motores eléctricos de $1,15 \cdot 25 = 30$ HP.

Consideremos un transformador que alimenta 500 mts de línea de 380 V hacia cada lado; a cada lado del transformador funciona un motor de jaula de ardilla de las siguientes características de consumo:

$$KW = \frac{HP}{0,746} = \frac{25}{0,85} : 0,746 = 22 \text{ KW:}$$

Calcularemos la línea de baja 380 V. con un consumo de 22 KW, $\cos \phi = 0,8$ a una distancia de 500 mts. Aceptaremos una regulación de 8%. Para el cálculo de la línea se usará el abaco del profesor don Pablo Pérez Z. Tantearemos con 2 secciones Cu # 2 y Cu # 3 - AWG.

$$\begin{aligned} \text{Consumo } 22 \text{ KW} - \cos = 0,8 \text{ (ind.) } E = 380 \text{ V.} \\ W = 22 \text{ KW.} \end{aligned}$$

Veamos cuál de estas líneas es más económica suponiendo 2.500 horas anuales de funcionamiento.

Líneas trifásicas 380 V.	Cu 2.	Cu 3.
Sección en mm ²	33,63	26,67
Resistencia de la línea en 500 mts.	0.2665 ohms	0.3356 ohms
Angulo θ de la línea (Ind.).	30°	25°
Cos θ	0.866	0.905
$W = \frac{E^2}{4R} = \frac{380^2}{4R}$	136 KW	108 KW
$W_1 = \frac{W}{W_m}$	0.162	0.202
$W_o = \frac{W_1}{\cos \theta \cos \alpha}$	0.224	0.282
V_1 (del abaco) = $\frac{V}{E}$	0.942	0.925
Regulación en %	5.8%	7.5%
$\frac{P_1}{\cos^2 \theta}$	0.014	0.0235
P_1	0.0105	0.01925
$P = P_1 : W_m = 3R^{12}$ (Potencia perdida)	1.43 KW	2.09 KW

Energía perdida en Cu# 2 = 0.5 · 1.46 · 2.500 = 1.780 KWH.

Energía perdida en Cu# 3 = 0.5 · 2.600 = 2.600 KWH.

Peso de Cu# 2 en Kgs. = 1,5 · 305 = 456 Kgs.

Peso de Cu# 3 en Kgs. = 1,5 · 243 = 3.64 Kgs.

Diferencia de peso 92 kgs.

Mayor precio de Cu# 2 a \$ 56.26 el Kg. = 5.160.

Mayor valor de la energía perdida en Cu # 3 \$ 1.00 el KWH = \$ 820.—

Interés de \$ 5.160. = \$ 516.—

Por lo tanto, es más económica la línea con Cu 2.

Valor de las líneas:

En abril de 1953 la Endesa tenía los siguientes precios en postes de concreto:

1. Línea trifásica 13.200 volts. \$ 130.000 el Km.
2. Línea 380 V., trifásica con neutro (Cu# 5 y 6). \$ 80.000 " "
3. La línea de baja en la misma postación que la de alta \$ 53.000 " "

La línea (2) y (3) de baja tensión tienen un peso en cobre por Km. de 570 Kgs., en el caso de Cu # 2 que pesa 305 Kgs. por Km., la línea trifásica tendrá 915 Kgs/p. Km. lo que hace una diferencia de 345 Kgs. de cobre; luego su mayor precio, si consideramos a \$ 56,20 el Kg. de cobre, será de \$ 19.500. que podemos redondear en \$ 20.000. Precio del Km. de línea trifásica 380 V. Cu \$ 100.000. el Km. En la misma postación de alta \$ 73.000. el Km.

Suponiendo el caso más general, o sea, cada kilómetro de baja necesite un kilómetro de línea de alta (ambos en la misma postación), o que cada kilómetro de baja necesite a kilómetro, de alta donde a es la distancia entre líneas de baja, tendríamos si $a = 600$ mts.

1 Km. de línea de alta y baja	\$ 203.000.—
1 Km. de línea de baja	100.000.—
600 mts de línea de alta	80.000.—
	<hr/>
	\$ 180.000.—
	<hr/>

La disposición anterior sería la siguiente:

Líneas de baja de un Km. de longitud paralelas a 600 mts. de distancia, cada línea con un transformador de 60 KVA. alimentados por una línea de alta tensión que corta perpendicularmente a las de baja.

La inversión en líneas eléctricas ascendería, en el primer caso, a \$ 3.400. por há. y en el segundo a \$ 3.000. por há.

La solución, en este caso, ofrece no sólo la posibilidad de menor inversión inicial que en caso Diesel sería una operación mucho más económica como se podrá apreciar en el próximo párrafo.

COMPARACION ENTRE LA SOLUCION DIESEL Y ELECTRICA, PARA DIVERSAS TASAS Y ALTURAS DE ELEVACION.

Haremos una comparación basándonos en los gastos fijos (interés, amortización, conservación y reparaciones mayores) y en los gastos de operación (energía o combustible). Los gastos de servicio no los consideraremos ya que dependerá del número de unidades usadas y solamente se podría considerar en casos particulares; esto indiscutiblemente favorece al motor Diesel debido a que para su atención se requiere una persona más especializada.

Consideraremos únicamente los gastos producidos por la unidad motriz, sea ésta Diesel o eléctrica.

Inversión inicial por HP. Diesel.

Se puede considerar que el HP Diesel cuesta alrededor de \$ US 60 - 65 F. O. B. considerando el dólar a \$ 110. + 10% (recargo C. I. F. sobre F. O. B.) + 30% de derecho de aduana, podemos considerar el dólar a \$ 154. Luego se puede tomar el HP Diesel a \$ 10.000.

Inversión inicial por HP eléctrico.

Considerando motores de jaula de ardilla en potencia de 10 HP a 50 HP se puede tomar el HP con partidor y sistemas de protección a \$ 2.500 - \$ 3.000. Si consideramos por cada HP en el motor eléctrico un KVA en el transformador estimando este último a \$ 2.000. el KVA, tendremos que la inversión inicial por HP. ascenderá a lo más a \$ 5.000.

Si consideramos k HP. por hectárea, la inversión inicial ascenderá en el caso de usar motor eléctrico, por hectárea:

Inversión inicial por hectárea $k - 5.000. +$ *Inversión en líneas.*

La inversión en líneas (excluyendo el tendido de línea de alta tensión hasta la zona por regar), se puede estimar entre \$ 3.500 - \$ 3.000. Considerando esta última tendremos que la inversión por hectárea imputable a la unidad motriz es:

Caso eléctrico $k \cdot 5.000 + \$ 3.000$

Caso Diesel $k \cdot 10.000 +$

Aceptaremos que la inversión en líneas será constantemente e independiente de la potencia instalada por hectárea; si bien esto no es rigurosamente cierto se puede aceptar debido a que su variación será de segundo orden comparado con la variación en los otros gastos.

La potencia requerida por hectárea depende fundamentalmente de:

- a) Presión mínima de funcionamiento de los surtidores;
- b) Consumo peak diario;
- c) Desnivel topográfico.

Si llamamos:

H = Presión mínima de funcionamiento de los surtidores.

t = Consumo peak diario en cms.

h_p = Pérdida de carga máxima en las cañerías.

T = Tiempo de operación en horas diarias con que se cubre el peak.

h_n = desnivel topográfico.

H_t = Altura total de elevación.

Q = Gasto en $m^3/hra.$

S = Superficie por regar en hectáreas.

η_r = Rendimiento del riego.

η_b = Rendimiento de la bomba.

La altura total de elevación en terrenos planos se puede estimar en $1,2 H$ si consideramos una pérdida de carga máxima $h_p = 0.2 H$. Para este caso se ha confeccionado la figura N° 14 que da la potencia necesaria en el eje de la bomba para diversas superficies, consumos peak y alturas H en los pistones. Se ha considerado 20 hrs. de bombeo para cubrir el peak y un rendimiento en la bomba de 0.66.

Se aplicaron las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{100 \cdot t \cdot S}{\eta_r \cdot T} = \frac{100 \cdot t \cdot S}{0.75 \cdot 20} = 6.66t \cdot S m^3/hra.$$

$$HP = \frac{20 \cdot Q}{3600} \cdot 1,2 H = 0.00666 Q \cdot H.$$

Ejemplo: (Ver Fig. N° 14):

$$\begin{array}{l} \text{Si } t = 0.5 \text{ cms.} \\ S = 20 \text{ hás.} \\ H = 30 \text{ mts.} \end{array} \quad \begin{array}{l} Q = 67 \text{ m}^3/\text{hra.} \\ \downarrow \\ \text{HP} = 13 \end{array}$$

El gasto en m³/hra. requerido por hectárea es:

$$Q = \frac{100 \text{ t}}{\eta_r \cdot T} \text{ m}^3/\text{hra.}$$

y la potencia en el eje de la bomba

$$\text{HP} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Ht}{\eta_b \cdot 75 \cdot 3600} = \frac{\gamma \cdot 100 \cdot t \cdot Ht}{\eta_r \cdot \eta_b \cdot T \cdot 75 \cdot 3600} = \frac{t \cdot Ht}{\eta_r \eta_b \cdot T \cdot 2.7}$$

Suponiendo $\eta_r = 0.75$
 $\eta_b = 0.66$
 $T = 20 \text{ horas.}$

$$\text{HP} = \frac{t \cdot Ht}{27} \text{ por hectárea.}$$

Esta potencia se debe aumentar en un 15% para el motor eléctrico y en un 25% para el Diesel, pero consideraremos un aumento igual al 15% en ambos, ya que el Diesel podría cubrir el peak trabajando más de 20 horas diarias lo que no será posible, en caso de usar motor eléctrico, por condiciones de tarifas.

$$\text{HP instalado por hectárea} = \frac{1.15 \cdot t \cdot Ht}{27} = 0.0425 \cdot t \cdot Ht.$$

$$\text{HP en el eje por hectárea} = 0.0370 \cdot t \cdot Ht.$$

Los gastos anuales imputables a fuerza motriz sin considerar gastos de servicio por hectárea serán:

$$C = K_1 \cdot 0.0425 \cdot t \cdot H \cdot N + K_3 \cdot 0.0425 \cdot t \cdot H + K_4 \cdot 0.00370 \cdot N + K_2$$

- K_1 = Interés anual por HP instalado en pesos.
- K_2 = Interés y conservación en líneas eléctricas por hectárea en pesos.
- K_3 = Gastos de amortización y reparación por HP en 1 hora, en pesos.
- K_4 = Costo directo del HP hora.
- N = Número de horas de operación anual.

K_1 : Si estimamos un interés del 10% anual sobre el capital invertido, tendremos:

Caso Diesel	K ₁ = 10% de \$ 10.000	\$ 1.000
Caso eléctrico	K ₁ = 10% de 5.000	500

K_2 : Considerando un interés del 10% y un 1% en gastos de conservación y aceptando una inversión de \$ 3.000 por há.

$$K_2 = 11\% \text{ de } \$ 3.000 \text{ } \$ 330.$$

K_3 : Para el motor Diesel consideraremos una vida útil de 25.000 horas y los gastos en reparaciones mayores un 100% de la amortización:

$$\text{Caso Diesel } K_3 = 2 \cdot \frac{10.000}{25.000} = \$ 0.80$$

Para el grupo eléctrico consideraremos una vida útil de 50.000 horas y los gastos de reparación y conservación en un 20% de la amortización.

$$K_2 = \frac{1,2 \cdot 5.000}{50.000} = \$ 0,12$$

K_4 : Caso Diesel:

El costo directo del HP hora en petróleo, lubricantes y reparaciones menores a \$ 1.00.

Caso eléctrico:

El costo de la energía eléctrica dependerá si acaso ésta es generada en centrales hidroeléctricas Diesel o térmicas.

Donde existen hidroeléctricas de la Endesa, existe una tarifa especial para regadío mecánico entre las 22 horas y 18 horas del día siguiente desde el mes de octubre a marzo inclusive. El cargo por energía durante este período es de \$ 0.70 el KWH medido en baja tensión. Esta tarifa está baja y según información de la propia Endesa va a subir alrededor de \$ 1.00 el KWH, de modo que consideraremos el KWH a \$ 1.00.

Considerando una eficiencia de 85% en el motor eléctrico y línea de baja tendremos que el HP hora en el eje vale:

$$K_4 = \frac{1.00 \cdot 0.746}{0.85} = \$ 0.88$$

Luego los costos anuales van a ser (por hectárea):

$$\text{C. Diesel} = H_t \cdot t (1000 \cdot 0.0425 + 0.80 \cdot 0.0425 N + 1 \cdot 0.0370 N)$$

$$\text{C. Diesel} = H_t \cdot t (42,5 + 0.0710 N) \text{ en pesos.}$$

$$\text{E. Eléctrico} = H_t \cdot t (21,25 + 0.0377 N) + 330 \text{ en pesos.}$$

Los valores entre paréntesis para diversas horas de operación anual son:

N	(42,5 + 0.071 N)	(21,25 + 0.0377 N)
1000	113,5	58,95
1500	145	77,8
2000	184,5	96,8
2500	220	115,5
3000	255,5	134,3
3500	291	152,8
4000	326,5	171,8

A continuación, consideraremos la influencia de la altura total de elevación y la tasa máxima para diversos casos.

Número de horas de operación anual:

Si consideramos que el mes de máximo se cubrirá con 500 hrs. de operación, tendremos que el número de horas de funcionamiento variará desde

+ 2.000 horas anuales en la zona sur hasta 4.000 horas en la zona norte. Tendremos los siguientes volúmenes máximos mensuales y totales:

t	$\frac{t}{0.75}$	Q m ³ /hra/há.	Volúmenes máximos en 1 mes m ³ /há.	
			500 hrs.	600 hrs.
0,2	0.268	1,34	670	800
0,3	0.400	2,00	1.000	1.200
0,4	0.53	2,60	1.300	1.560
0,5	0.666	3,33	1.660	2.000
0,6	0.80	4,00	2.000	2.400

Volúmenes en m³/há. en

t	2.000 hrs.	2.500 hrs.	3.000 hrs	3.500 hrs.	4.000 hrs.
0,2	2.680 (1)				
0,3	4.000	5.000 (2)	6.000		
0,4	5.200	6.500 (3)	7.800		
0,5	6.660	8.350 (4)	10.000 (5)	11.160	13.300
0,6	8.000	10.000	12.000	14.000 (6)	16.000

A continuación analizaremos los casos marcados del 1 al 6 con lo cual se puede decir se cubre gran parte del territorio nacional respecto a tasas de riego.

Caso	Costo anual en pesos (Fig. N ^o 15)		Costo del m ³ . en pesos (Fig. N ^o 16)	
	Diesel	Eléctrico	Diesel	Eléctrico
1	37 H _t	19.35 H _t + 330	0,0137 H _t	0.00722 H _t + 0.123
2	66 H _t	34.70 H _t + 330	0.0132 H _t	0.00695 H _t + 0.066
3	88 H _t	46.20 H _t + 330	0.0135 H _t	0.00710 H _t + 0.057
4	110 H _t	57.7 H _t + 330	0.0132 H _t	0.00690 H _t + 0.040
5	127,5 H _t	67.2 H _t + 330	0.0127 H _t	0.00672 H _t + 0.033
6	175 H _t	91.6 H _t + 330	0.0125 H _t	0.00655 H _t + 0.024

En las figuras N.os 15 y 16 se han llevado los costos por hectárea regada y por metro cúbico colocado imputables a fuerza motriz para los seis casos en función de la altura total de elevación. En ambas figuras se puede apreciar que la solución eléctrica va siendo más económica que la Diesel a medida que aumenta la altura total de elevación y el número de metros cúbicos colocados por hectárea.

La diferencia entre el costo por hectárea Diesel y eléctrico nos dará la pauta sobre la mayor inversión que se puede hacer para traer energía eléctrica a la zona de riego.

Considerando el kilómetro de línea de alta a \$ 130.000 y que éste tenga gastos fijos anuales de 12% (10% de interés y 2% de amortización) y fijando como plazo máximo 33 años para pagar la mayor inversión, tendremos que cada hectárea podrá pagar:

$$\frac{C_D - C_e}{15\% \cdot 130.000} = \frac{C_D - C_e}{19:500} \quad \text{Kilómetros de línea de alta}$$

Del gráfico 15 se puede observar que para el caso (1) y para $H_t = 60$ mts., $C_D - C_e = \$ 700$, luego 1 hectárea podrá pagar 0.036 Kms. de línea de alta, mientras que en el caso (5) para $H_t = 40$ mts.

$C_D - C_e = \$ 2.100$ y una hectárea podrá pagar 0.108 Kms. de línea de alta.

Respecto a la influencia de la altura de elevación total (es proporcional a la presión mínima de trabajo de los surtidores) sobre los costos se puede decir lo siguiente:

El metro adicional de elevación va a recargar el costo por hectárea regada entre \$ 37 — 175.00 en el caso Diesel y, entre \$ 19.35 — 91.60 en el caso eléctrico. Asimismo, el recargo por m.³ colocado va a variar entre \$ 0.0137 — 0.0125, en el caso Diesel a 0.0072—0.0065 en el caso eléctrico.

De aquí se desprende claramente, lo siguiente:

Las soluciones de alta presión se usarán solamente cuando las condiciones topográficas hagan imposible usar una de baja o, allí donde por condiciones del mismo riego la alta presión dé un costo inferior; respecto a este último punto, diremos que la alta presión reducirá apreciablemente los costos de servicio en aquellos casos en que se deba cubrir rápidamente una gran extensión con aplicaciones livianas 10-20 mm., o sea el caso típico de riego suplemental (donde se complementa la lluvia natural caída). En este tipo de riego la alta presión tiene sus ventajas debido a lo siguiente: El número de veces que se debe cambiar un surtidor o una línea surtidora es inversamente proporcional al cuadrado de la presión; debido a la aplicación liviana los cambios serían demasiado frecuentes en caso de usar presión baja o sino se debería usar una red más extensa de cañería móvil para cubrir la misma superficie lo que, además, de acarrear mayores gastos de servicio le da menos movilidad al equipo; si a esto le agregamos que el volumen total de agua que se va a colocar por hectárea en la temporada puede ser hasta 10 a 20 veces menor que cuando el riego tiene como misión dar toda el agua requerida por las plantas, no importará pagar un mayor precio por m³. Asimismo, en este tipo de riego se usará trabajo de muy corta temporada, o sea de carácter accidental, el cual siendo más caro que el permanente se deberá tratar de reducir a un minimum. Por estas razones, en riego suplemental se han usado equipos de alta presión, pero usar estos equipos cuando se trata no ya de complementar la lluvia sino que de reemplazarla, es antieconómico. Esto se encuentra plenamente comprobado en la práctica; los equipos de alta presión han sido usados en Europa, principalmente Alemania e Italia como complemento de la lluvia natural o en zonas montañosas que imposibilitan usar equipos de baja presión, asimismo, se han usado en Centroamérica con el mismo fin, en las plantaciones frutales.

Las instalaciones de baja presión se han usado intensamente en U.S.A. En un estudio sobre el costo de riego por aspersión en el valle de Sacramento se puede observar que las presiones de trabajo de los surtidores variaban como término medio entre 23-30 mts. lo que les permitía trabajar con alturas totales de elevación de ± 33 mts. En nuestro país, mucho menos industrializado que U.S.A. y, por lo tanto, con maquinaria más cara y jornales más reducidos, sería ridículo

intentar una mayor mecanización como es adoptar sistemas estacionarios o de alta presión, a no ser que éstos se impongan por consideraciones especiales, riego suplemental en el sur y regiones de pendientes fuertes o montañosas.

La diferencia que se produce al regar con 10.000 m³/há. para presiones de 30 y 60 mts. es

$$C_D \text{ para } H_t = 30 \text{ mts.} = \$ 3.850.-$$

$$C_D \text{ para } H_t = 60 \text{ mts.} = \$ 7.600.-$$

La diferencia de \$ 3.750 puede significar si acaso la implantación del equipo es o no conveniente. Si se tratara de 1.000 m³/há. esta diferencia apenas subirá de \$ 400.

INFLUENCIA DE LOS GASTOS POR SERVICIO EN LOS COSTOS

Los equipos de baja presión y con cañerías móviles de aleación de aluminio pueden ser manejados por dos hombres, hasta capacidades entre 120-150 m³/hra., estos dos hombres tienen como única misión vigilar el equipo, la motobomba y mover las cañerías.

Si consideramos un jornal de \$ 25 hora, al capataz encargado del motor y de vigilar al hombre que mueve las cañerías y a este último, uno de \$ 15 hora, la hora de operación costará por concepto de servicios \$ 40.

Aún cuando bajemos la capacidad del equipo a 50-60 m³/hra. se necesitarán siempre estos dos hombres, de modo que la influencia de los gastos de servicio sobre los gastos totales para equipos pequeños será mayor. Lo único que puede permitir reducir los gastos de servicio es hacer que los cambios de la motobomba y de las redes se hagan dentro de períodos similares a los turnos de trabajo, ya que si un equipo puede funcionar constantemente en una misma posición durante 8-12 horas no se necesitará más de 1 hombre para su vigilancia. Este punto se deberá tener siempre presente al diseñar una instalación.

En un equipo de 120 m³/hra., el m³. quedará recargado por concepto de servicio, en lo siguiente:

Si consideramos que el tiempo de bombeo es un 85% del tiempo de operación total, los gastos por servicio en 1 hora de bombeo serán $1,15 \cdot 40 = \$ 46$.

$$\text{Gasto por servicio en } 1 \text{ m}^3 = \frac{46}{120} = \$ 0.38$$

En un equipo de 60 m³/hra. atendido también por dos hombres:

$$\text{Gastos por servicio en } 1 \text{ m}^3 = \frac{46}{60} = \$ 0.77$$

Si consideramos una altura total de elevación de 35 mts. el costo por m³. imputable a la planta de bombeo será alrededor de \$ 0.45 mientras que los gastos fijos producidos por la red de cañerías recargará el m³ entre \$ 0.15 — 0.20 (2.500 hras. de funcionamiento). Según esto, los costos por m³ se repartirían del siguiente modo:

	Equipo de 120 m ³ /hra.	Equipo de 60 m ³ /hra.
Gasto por servicio	\$ 0.38	\$ 0.77
Gasto en la planta de bombeo . .	0.45	0.45
Gastos fijos en las redes móviles . .	0.17	0.17
	\$ 1.00	\$ 1.39
	\$ 1.00	\$ 1.39

Considerando que 1 m³. elevado a 35 mts. representa un consumo de 0,00562 : 35 = 0.196 = 0.20 HP/hra. ($\eta = 0.66$ en la bomba) y que el HP hora Diesel cuesta \$ 1, el costo por energía será de \$ 0.20 por m³. y los gastos fijos en la planta de bombeo serían de \$ 0.45 - \$ 0.20 = 0.25.

En el caso del equipo de 120 m³/hra. los costos directos de operación son 0.38 + 0.20 = \$ 0.58, o sea un 58% del costo total, de los cuales un 38% corresponde a gastos de servicio y un 20% a gastos de energía, en el segundo caso, los gastos directos o de operación suben a un 70% del costo total, de los cuales 55,5% corresponden a gastos de servicio y un 14,5% a gastos de energía.

Como se puede apreciar, los gastos de servicio forman una parte importante de los gastos totales, por lo cual, al diseñar una instalación de aspersion se deberá siempre considerar la posibilidad de disminuirlos aunque la inversión inicial sea mayor.

Disminución de la tasa:

Para un equipo determinado, el costo anual total debe ser igual a:

$$C = A + p \cdot N$$

donde A representa los gastos fijos y p. N los costos variables o de operación, supondremos en este caso que p es el costo directo por m³ y N el número de metros cúbicos que será variable. Supongamos que este equipo va a regar una superficie determinada y que ésta le puede producir entradas netas. (Entrada bruta-costo de producción, sin considerar el riego), según la curva 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - para diversas tasas de riego (ver Fig. N° 17). Analizaremos los diversos puntos:

Punto (1): Representa la utilidad sin regar.

Entre el punto (1) y (3) la instalación sería antieconómica, luego nos debemos decidir entre tasas comprendidas entre t3 y t5.

t4 representa la tasa que da la mayor utilidad líquida ($E_4 - C_4$)

t5 representa la mayor entrada.

Asimismo siempre se debe considerar la posibilidad de disminuir la tasa, si con ello se logra aumentar la superficie regada, siempre que con esto se logre, ya sea una mayor producción o una mayor utilidad. En este sentido la aspersion ofrece mayores posibilidades que los sistemas convencionales de riego, debido a la capacidad que tiene para trabajar con pequeños gastos.

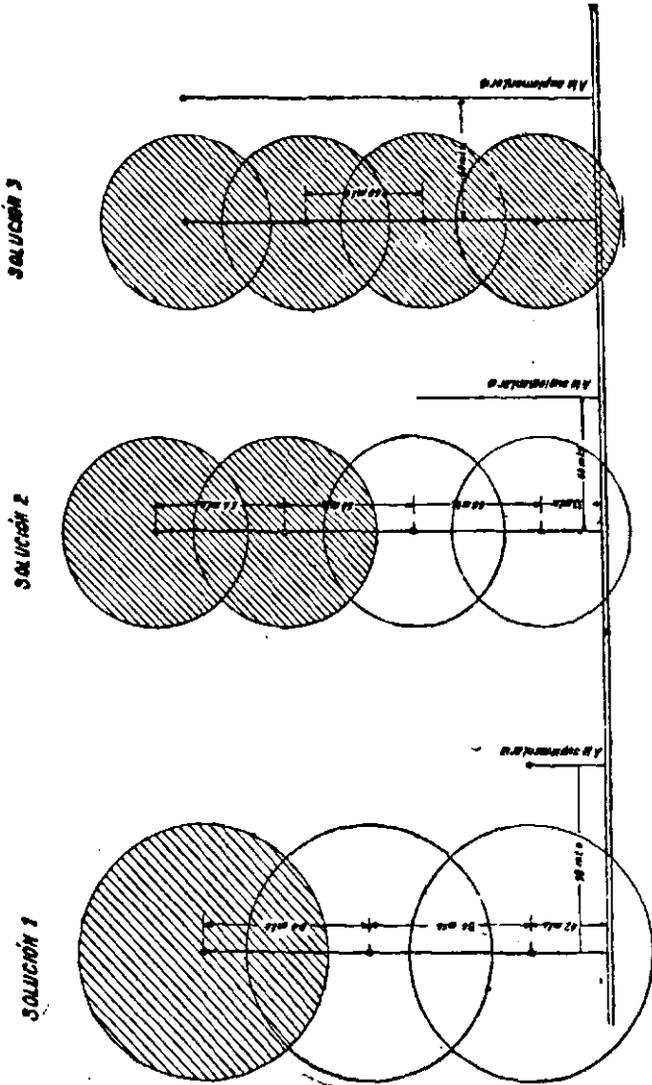
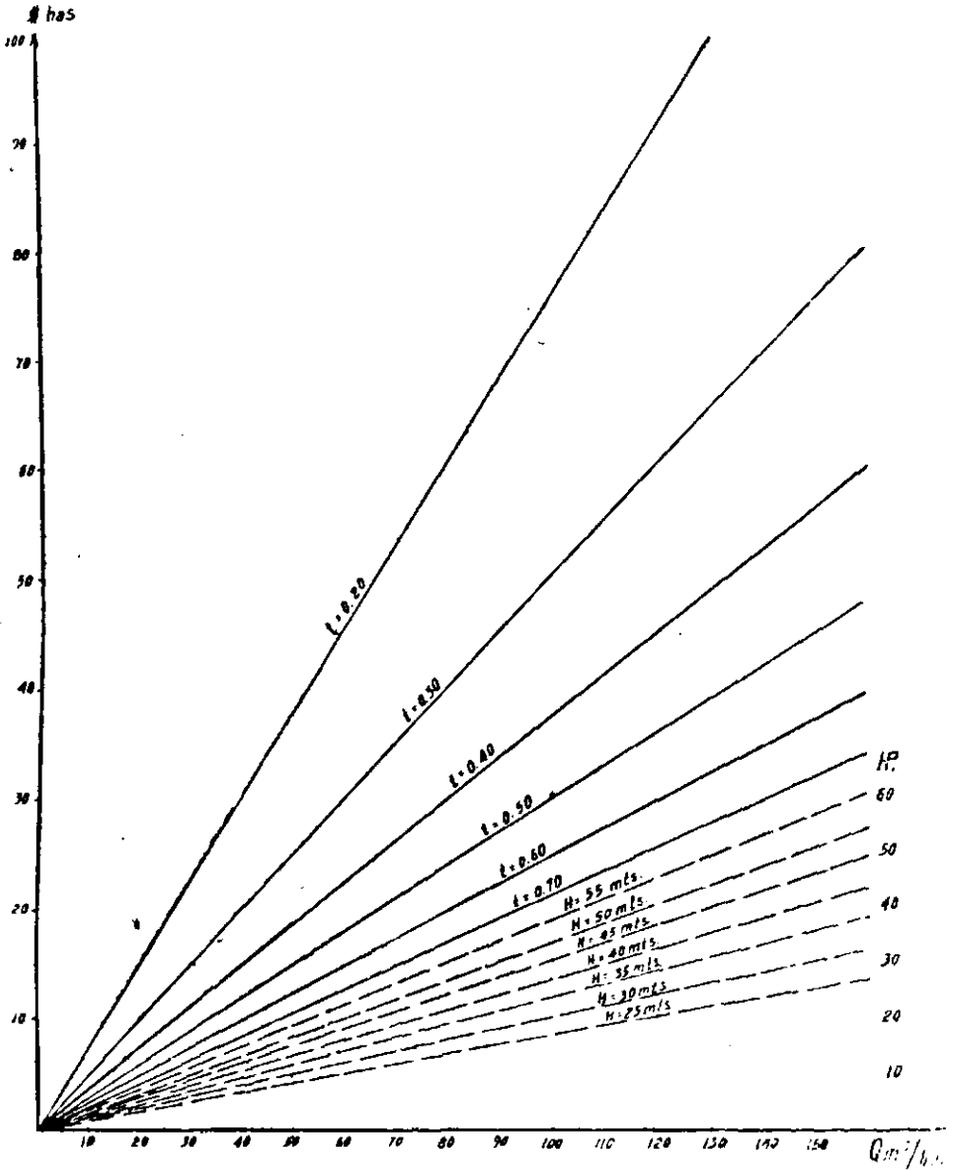


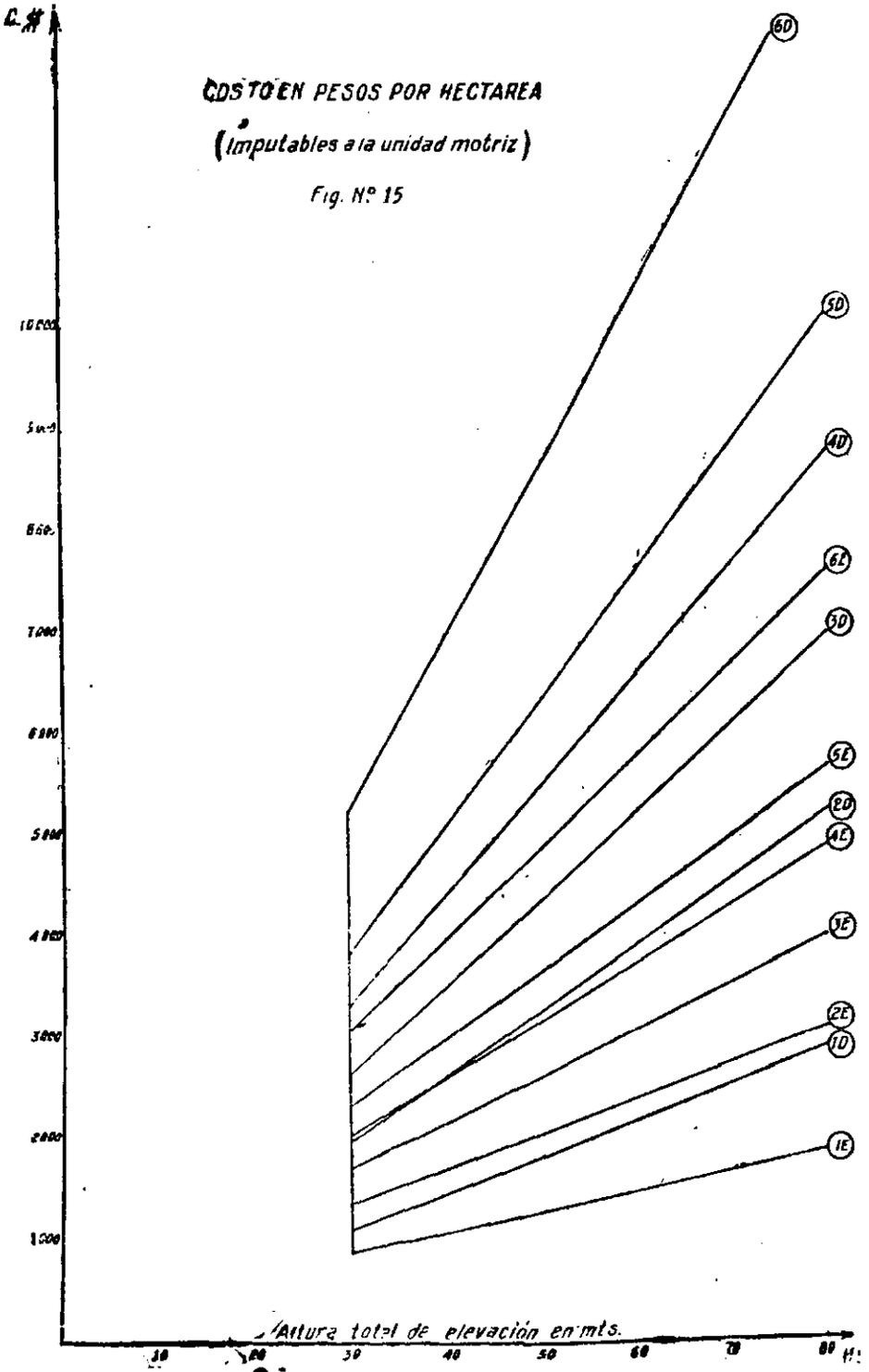
Fig. N° 13

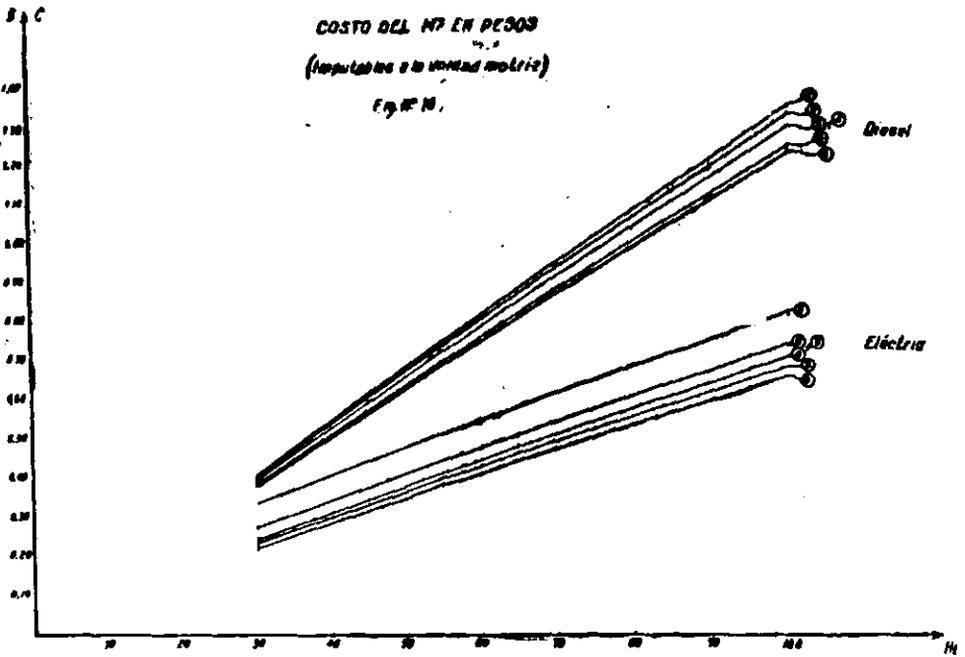
POTENCIAS y GASTOS MÁXIMOS PARA DIVERSAS TASAS y ALTURAS DE ELEVACION

H: Presión mínima en el pistón en mts

Fig N° 14.







CURVA DE COSTOS Y ENTRADAS PARA DIVERSAS TASAS DE RIEGO

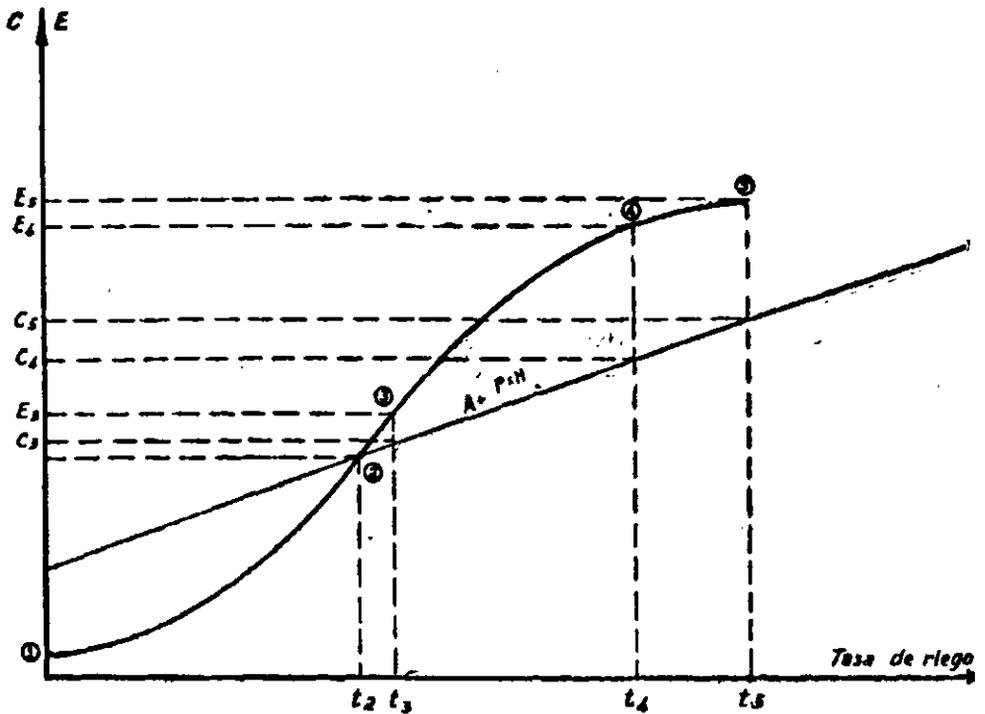


Fig. N.º 17

CAPÍTULO VIII

Aplicación en el Fundo Santa Ana

El fundo Santa Ana se encuentra ubicado en la provincia de Ñuble, departamento de San Carlos y, más o menos a 10 Kms. al oeste del puente ferroviario que cruza el río Ñuble. Su superficie total asciende a 312,4 hás., excluyendo bosques y de éstas se riegan en forma satisfactoria, 220 hás.

Uno de los rubros principales del fundo es la ganadería fina, siendo el mayor obstáculo para su mejor desarrollo, la falta de buen forraje durante el invierno. Este problema se presenta en casi toda la zona y, quizás su origen principal se deba a la reducción de caudal que sufren los ríos desde diciembre hacia adelante, siendo un caso típico el río Ñuble, donde el fundo tiene sus derechos y que disminuye su caudal en un 66% entre fines de noviembre a febrero; en estas condiciones, los agricultores prefieren regar sus cultivos más valiosos en desmedro de los forrajes. Es así como en el mes de septiembre de 1953 mientras el quintal de heno seco de alfalfa se cotizaba en Santiago base Alameda entre \$ 240 — \$ 300, llegó a costar \$ 550 en la zona.

En la parte sur del fundo, a orillas del río se encuentran 16 hás. planas susceptibles de riego y aptas para alfalfa. El suelo está formado por un manto de tierra arenosa de 0.80 mts. de espesor sobre ripio suelto y arena, notándose claramente su origen fluvial reciente. El nivel de la capa subterránea se encuentra a 3 mts. bajo el suelo y dentro de esta profundidad se encuentra muy bien drenado. Este potrero se haya cortado en su mitad por un pequeño canal alimentado por los derrames del fundo vecino, Sta. Laura y cuyo caudal no baja nunca de los 20 lts/seg. Regar un terreno tan permeable como este y con un caudal tan reducido se considera imposible por el método convencional de tendidas, por lo cual se piensa aprovechar 14,2 lts/seg. de este caudal para regar por aspersión desde diciembre adelante. En los meses de septiembre a noviembre, inclusive, se regará por tendidas aprovechando el excedente de agua con que cuenta el fundo en esta época. Actualmente de estas 16 se riegan alrededor de 6 hectáreas dedicadas a alfalfa; para regarlas se recurre a las aguas propias del fundo que junto con las del canal forman un gasto adecuado para regar.

La solución adoptada no sólo permite aumentar la superficie regada de 6 a 16 hectáreas sin recurrir a las aguas propias del fundo cuando ésta es necesitada, de modo que no sólo se obtendrá un beneficio por el hecho de incorporar terrenos nuevos sino que por el mejoramiento de las condiciones totales de riego del fundo, o sea, que se puede considerar que la aspersión incorpora 16 hás. de riego al fundo debido principalmente a:

- 1º Aprovechamiento integral de un recurso de agua cuyas condiciones de

caudal impedían su buen aprovechamiento, en riego por tendidas; asimismo, se podrá aprovechar esta agua durante la noche.

2º Elevada eficiencia de riego que permite en este caso una economía de agua de un 40-50% cuando se le compara con el riego por tendida.

3º Se evitan las pérdidas de conducción de las aguas propias del fundo, durante los meses en que ésta se necesita, hasta la zona por regar (2,4 Kms.).

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

El equipo quedará dimensionado por el consumo peak diario; éste para alfalfa, en un clima moderado, se estima en 0.51 cms.

Considerando que este consumo peak se tome con 22 horas diarias de operación, tendremos que el equipo deberá dar un gasto mínimo de:

$$Q = \frac{100 \cdot t \cdot s}{R \cdot T} = \frac{100 \cdot 0.51 \cdot 16}{0.75 \cdot 22} = 49,5 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Más adelante se puede ver que el máximo consumo mensual se produce en el mes de enero y es igual a 133 mms. Considerando una eficiencia de un 75% en el riego, el equipo deberá dar un máximo de 178 mms. de lluvia en el mes de enero si no se ha contado con lluvias naturales.

VOLUMENES O ALTURAS MAXIMAS DE CADA RIEGO

Ya hemos dicho que el suelo está constituido por un manto de tierra arenosa de ± 0.80 mts de profundidad. Se considera que esta tierra arenosa puede retener entre su capacidad de campo y coeficiente de marchitez permanente un 7% de su peso en agua.

Luego, para un espesor de 0.80 mts. podrá retener:

$$h_1 = 1200 \cdot 0.80 \cdot 0.07 = 67.1 \text{ kgs/m}^2 = 67,1 \text{ mms.}$$

Para mantener una humedad óptima para el crecimiento del cultivo se debe dar un nuevo riego a una vez que se han consumido las 2/3 partes del agua disponible entre el coeficiente de campo y humedad crítica, luego cada riego deberá reponer una altura de agua.

$$h_2 = \frac{2}{3} 67,1 = 44,7 \text{ mms. de agua.}$$

Tomando un rendimiento de 0.75 en el riego, cada uno no deberá exceder:

$$\frac{44,7}{0,75} = 59,6 = 60 \text{ mms.}$$

ELECCION DEL EQUIPO

El equipo deberá dar un gasto mínimo de 49,5 m³/h., para poder cubrir el peak y se deberá adaptar para operación nocturna, o sea, deberá tener períodos de funcionamiento continuo no inferiores a 8 hrs. ya que el movimiento de las líneas en la oscuridad no se puede realizar en condiciones satisfactorias.

La solución adoptada comprende 5 pistones con una boquilla de 16 mms. y de las siguientes características de funcionamiento:

h	Q	Alcance del chorro	Características de la lluvia.
25 mts.	15 m ³ /hra.	30 mts.	Lluvia semigruesa algo dispareja en la periferia.
30 "	17 m ³ /hra.	32,5 mts.	Lluvia fina.
35 "	18 m ³ /hra.	35 mts.	Lluvia finísima.

Los tres pistones, trabajando a una presión de 30 mts. darán un gasto total de 51 m³/hra. de lluvia fina. Usando disposición en cuadrado, el máximo espaciamiento será de:

$$a = b = 0.707 D = 0.707 \cdot 65 = 45,80 \text{ mts.}$$

El espaciamiento entre surtidores deberá ser un múltiplo de la longitud de cada tira de cañería (6 mts.), luego se podrá disponer a 42 ó 48 mts.

Se ha elegido un espaciamiento entre surtidores de 42 mts. debido a que así no se deja ningún punto en seco y se adapta mejor al ancho total del potrero, 260 mts. (Ver figs. N.os 18-19).

El espaciamiento entre líneas se ha tomado igual a 45 mts.

Luego el área neta regada por cada surtidor es igual a 1.890 m² y la intensidad de riego para esta misma será de $\frac{17}{1890} = 0.009 \text{ mts/hra.} = 9 \text{ mms/hra.}$

En la fig N° 18 es puede apreciar que se necesitan 6 posiciones de surtidor para completar el trabajo del ala surtidora, considerando dos turnos de doce horas cada uno, se tendrá el siguiente ciclo de operación para dar riegos de 50 mms.

Los tres pistones A, B, C funcionarán durante 5 horas y 30 minutos en su posición 1 dando así una precipitación de 50 mms., luego serán movidos a su posición 2 por el hombre encargado de la vigilancia del equipo, este traslado se hace rápidamente ya que se ha dispuesto en cada una de las posiciones del surtidor de una válvula automática que permite un rápido desmontaje e instalación.

Al cabo de 11 horas, la línea surtidora habrá terminado su trabajo y se juntarán el hombre de un turno con el del otro, para mover la instalación a su nueva posición. Como se verá más adelante, debido a los diámetros usados todas las tiras son transportables por un hombre. El tipo de operación elegido exige la atención permanente de un hombre, se ocuparán dos operarios, uno para el turno del día y otro para el nocturno.

El riego de 50 mms. fuera de dar condiciones muy favorables de trabajo permite mantener los primeros 67 cms. del suelo a una humedad óptima y da, asimismo, mayor oportunidad de poder aprovechar las lluvias naturales.

De los 50 mms. que se dan en cada riego, quedaron útiles en el suelo 37,5 mms., si suponemos una eficiencia de 75% y como el consumo peak puede llegar a 0.51 cms. se deberá poder cubrir todo el potrero en no más de $\frac{3.75}{0,51} = 7,35$ días, si no se ha contado con ayuda de lluvias naturales.

El equipo puede cubrir toda la superficie regada con 13,5 posiciones de 11 horas cada una, o sea, en 6,75 días, o sea, que es capaz de cubrir el peak.

APROVECHAMIENTO DE LAS LLUVIAS NATURALES Y CONSUMOS MEDIOS MENSUALES

Para que la lluvia natural ya incorporada al suelo sea aprovechada integralmente por los cultivos, debe pasar a formar parte de la solución útil del suelo y no profundizarse más allá de la zona de las raíces.

Supongamos que un cultivo obtenga el agua que necesita de una profundidad determinada y que cada riego lleve al suelo a su capacidad de campo para esta profundidad con una altura h de agua; todo exceso sobre h se perderá. Consideremos asimismo, que el consumo de agua por los cultivos es lineal con el tiempo. (se puede aceptar en un período corto, en este caso entre riego y riego) y, que al darse un nuevo riego a un punto determinado el cultivo habrá consumido ya el riego anterior.

Si llevamos en abscisas el tiempo t que falta para que el equipo pase por un lugar determinado y en ordenadas la altura de agua almacenada en el suelo y disponible para el consumo de la planta, tendremos que la distribución de esta reserva a lo largo de un ciclo de riego que demora un tiempo OT es la recta OB . (ver fig. N° 20).

Si el consumo de agua es igual a $U = c \cdot t$ tendremos que la ecuación de la recta OB es

$$h_d = \frac{h}{T} \cdot t = h - c (T - t) = \text{recta } OB$$

Si en un momento cualquiera cae una lluvia "y", la recta OB se traslada a DAC , pero como todo exceso sobre h se pierde por percolación, la distribución será DAB .

El agua total caída queda medida por el área $OBCD$, la útil, por $OBAD$ y la inútil por ABC .

$$\text{Agua perdida} = K \cdot \frac{1}{2} AB \cdot y$$

$$\text{Agua total} = K \cdot OT \cdot y$$

$$\text{pero } \frac{AB}{OT} = \frac{y}{h}$$

$$AB = OT \cdot \frac{Y}{h}$$

$$\frac{\text{Agua perdida}}{\text{Agua total}} = \frac{Y}{2h}$$

$$\frac{\text{Agua total} - \text{agua perdida}}{\text{agua total}} = \frac{2h - y}{2h} = 1 - \frac{Y}{2h} = \text{aprovechamiento de lluvia.}$$

Luego al caer una lluvia natural "y" entre riego y riego, el aprovechamiento será igual a $1 - \frac{Y}{2h}$ o sea, de los "y" milímetros serán útiles

$y = \frac{y^2}{2h}$ expresión válida para $0 < y < h$

Si $y = H$ serán útiles $\frac{h}{2}$ o sea un aprovechamiento del 50%, si y es mayor que h sólo se aprovechará $\frac{h}{2}$

Como hemos elegido riegos de 50 mms. que mantienen los primeros 67 cms. del suelo dentro de límites de humedad y se considera un suelo de 80 cms. de profundidad, habrá 13 cms. del suelo que puedan ser llevados a su capacidad de campo por las lluvias naturales, antes de que se empiece a perder agua. Luego los primeros $1200 \cdot 0.07 \cdot 0.13 \cdot 11$ mms. de lluvia dentro del período que dura un riego serán útiles en un 100%.

APROVECHAMIENTO TEORICO DE PRECIPITACIONES NATURALES ENTRE RIEGO Y RIEGO

Para lluvias menores o iguales a 11 mms. 100% y para lluvias mayores que 11 mms.:

$$y \text{ útil} = 11 + (y - 11) - \frac{(y - 11)^2}{2H} = y - \frac{(y - 11)^2}{2h}$$

Si consideramos riegos de 50 mms. con una eficiencia de 75% la cantidad de agua repuesta en el suelo en cada riego será de 37,5 mms. luego $h = 37,5$ mms.

Precipitación en mms.	Precipitación útil en mms.	Aprovechamiento en %
0 — 11	0 — 11	100
20	18,9	94,5
30	25,2	84
40	28,8	72
48,5	29,7	61
(37,5 + 11)		
$y > 48,5$ mms.	29,7 mms.	—

ESTIMACION DE LA TASA NETA Y CONSUMOS MEDIOS MENSUALES

La alfalfa es un cultivo que se presta admirablemente para calcular la tasa neta mediante datos climatéricos, de modo que aplicaremos el método de Blanc y Criddle.

Las temperaturas y precipitaciones medias mensuales son:

Mes	Temperatura media en °C	Precipitación media en mms. (y)
Diciembre	19,6°C	26,6 mms.
Enero	21,5 "	14,5 "
Febrero	20,4 "	17,4 "
Marzo	17,6 "	30,8 "
Abril	14,4 "	62,0 "

Mes	Temp. media en °F	p (36°)	$\frac{i}{p.t.}$ 100	K	U''	U mms.
Diciembre	67,6	9,83	0,75	6,75	5,05	129
Enero	70,6	9,99	7,05	0,75	5,28	134
Febrero	68,8	9,40	6,46	0,75	4,85	122
Marzo	63,6	8,36	5,32*	0,75	4	100
Abril	58,0	7,85	4,55	0,70	3,18	81

Para obtener los consumos medios mensuales debemos descontar las precipitaciones naturales: desde diciembre a marzo la consideraremos efectiva en un 100% ya que a ningún riego le corresponderían más de 11 mms. de lluvia natural. Para el mes de abril se considera efectivo un 84% (dos lluvias de 30 mms.). Debemos, además, anotar que si bien durante el primer año la alfalfa extraerá toda el agua que necesite de la zona regada, más tarde profundizará sus raíces hasta dos metros, de modo que el agua perdida por percolación profunda se reducirá seguramente a cero.

CONSUMOS MEDIOS MENSUALES EN MMS.

Mes	U	"Y" útil	U - y	$\frac{U - y}{0,75}$	Número de riegos de 50 mms.
Diciembre	129	26	103	135	2,7
Enero	134	14	120	160	3,2
Febrero	122	17	105	140	2,8
Marzo	100	30	70	94	1,9
Abril	81	50	31	41	0,8
				570,0	11,4 riegos de 50 mm. c/u.

Se ha considerado en el riego una eficiencia de 75%. Considerando que el equipo da 51 m³/hra. éste deberá funcionar como término medio, las siguientes horas:

Diciembre	423 hras. de funcionamiento
Enero	502 " "
Febrero	439 " "
Marzo	293 " "
Abril	128 " "

O sea, un total de 1.785 horas durante las cuales dará un volumen total de 91.000 mm.³ ó 570 mms. sobre 16 hás.

Durante los meses de diciembre, enero y febrero se deberá disponer de dos turnos, uno para el día y otro en la noche, en marzo y abril será necesario sólo 1 turno.

Es de observar que las 502 horas de operación en el mes de enero, las puede cubrir el equipo trabajando 23 días de modo que se dispondrá de 7 días adicionales para imprevistos.

DIMENSIONAMIENTO DE LA RED SURTIDORA Y ALIMENTADORA

En la Fig. N° 18 se puede apreciar la disposición elegida; la cañería alimentadora es de ϕ 108 y llega desde la motobomba hasta O_1 , esta última debido a la disposición elegida trabaja siempre en terreno seco, condición muy favorable tanto para la operación como para la conservación. La cañería surtidora de ϕ 70 se extiende desde O_1 hasta A_1 y desde O_2 hasta C_2 .

ANALISIS DE LAS PERDIDAS DE CARGA

La cañería surtidora termina su trabajo con dos posiciones de cada uno de los surtidores.

Posición 1: $A_1 - B_1 - C_1$

Posición 2: $A_2 - B_2 - C_2$

Como ambas posiciones son simétricas respecto a O_1 O_2 las pérdidas de carga serán iguales.

Analizaremos la posición 2:

Pérdida de carga entre A_2 y O_2 . La presión mínima de un pistón es de 30 mts. de modo que supongamos que en A_2 $H = 30$ mts.

La pérdida de carga se puede dividir en tres partes.

hp entre A_2 y B_2

$$Q = 17 \text{ m}^3/\text{hra. } L = 42 \text{ mts. } \phi 70 \text{ mms. } hp = 0.032 \cdot 42 = 1.34 \text{ mts.}$$

hp entre B_2 y O_1 .

$$Q = 54 \text{ m}^3/\text{hra. } L = 18 \text{ mts. } \phi 70 \text{ mms. } hp = 0.128 \cdot 18 = 2.30 \text{ mts.}$$

hp entre O_1 y O_2 .

$$Q = 54 \text{ m}^3/\text{hra. } L = 18 \text{ mts. } \phi 108 \text{ mms. } hp = 0.014 \cdot 6 = 0.08 \text{ mts.}$$

Luego la pérdida de carga total entre O_2 y $A_2 = 3.72$ mts. y la presión en O_2 será igual a 33.72 mts.

Si en el tramo $O_2 - C_2$ $Q = 17 \text{ m}^3/\text{hra.}$ la pérdida de carga será igual a:

$hp = 0.032 \cdot 102 = 3.26$ y la presión en C_2 sería igual a $33.72 - 3.26 = 30.41$, por lo cual se puede considerar correcto que el gasto de C_2 sea $17 \text{ m}^3/\text{hra.}$ ya que si aceptamos que fuese esta la presión en C_2 el gasto debería ser igual a

$$Q = 17 \sqrt{\frac{30.46}{30}} = 17 \sqrt{1.012} = 17.1006 = 17 \text{ m}^3/\text{hra.}$$

Luego las presiones en los surtidores si ésta en O_2 es igual a 33,72, éstas serán iguales a:

$$A_2 = 30 \text{ mts.}$$

$$B_2 = 31,3 \text{ mts.}$$

$$C_2 = 30,4 \text{ mts.}$$

La presión máxima de funcionamiento de un surtidor será igual a 31,30 mts. y la mínima a 30 mts., esto significa que el surtidor de mayor presión dará un gasto de 2% mayor que el de menor presión.

Desde O₂ hasta la bomba hay 42 mts. de ϕ 108 lo que significa una pérdida de carga igual a

$$Q = 51 \text{ m}^3/\text{hra. hp} = 0,032 \cdot 42 = 1,35 \text{ mts.}$$

La pérdida de carga en la T) en O₂) será como máximo igual a

$$\frac{U^2}{2g} = \frac{1,6^2}{19,6} = 0,13$$

La pérdida de carga total será de $3,72 + 1,35 + 0,13 = 5,20$

Estimando la altura de succión en 1 mts. la altura total de elevación será igual a:

$$H_t = 30 + 5,20 + 1 + 0,13 = 36,33 \text{ mts.}$$

Se ha elegido un grupo motobomba Diesel de las siguientes características: Potencia del motor a 20° C y al nivel del mar a 1.450 RPM = 15 HP.

La bomba de 1.450 RPM. va acoplada directamente al motor y para $H = 37$ mts. $Q = 51 \text{ m}^3/\text{hra.}$ $\eta = 0,65$

La potencia consumida en el eje, considerando $H = 37$ mts. será de:

$$\text{HP} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 75} = \frac{14,2 \cdot 37}{0,65 \cdot 75} = 10,8 \text{ HP.}$$

El motor trabajará en forma continua a 1.450 r.p.m. a un 72% de su potencia máxima.

INVERSION INICIAL Y COSTO ANUAL DE FUNCIONAMIENTO

El equipo consta esencialmente de:

a) Un grupo motobomba Diesel montado sobre un chasis de cuatro ruedas y de un peso total de 840 Kgs. La bomba elevará un caudal de 14,2 lts/seg. a 37 mts. de altura con un rendimiento de 0,65. El motor Diesel que tiene una potencia máxima de 15 HP a 1.450 r.p.m. trabajará al 72% de su potencia máxima.

b) *Sistema de cañerías móviles:*

Las cañerías son de aleación de aluminio con acoplamiento rápido, marca Lanninger, se han usado 48 mts. de ϕ 108 mms. y 204 de ϕ 70 mms., ambos diámetros vienen en tiras de 6 mts. de longitud y el peso de una de éstas con patas y acoplamiento rápido es de 21 y 11 Kgs. respectivamente, los espesores son de 2,5 y 2 mms.

c) Tres surtidores rotativos Lanninger con una válvula automática para cada una de las posiciones de surtidor.

El equipo completo tiene un costo CIF Talcahuano igual a US\$ 2.650 y considerando el dólar a \$ 110 c/u. son \$ 291.500 y que recargado en \$ 18.500

por el transporte hasta el fundo se puede estimar una inversión inicial de \$ 310.000, o sea, \$ 19.400 por há.

Los costos se hayan divididos del siguiente modo:

Equipo motobomba Diesel	US\$ 1.185	CIF \$ 130.350
Cañería de succión (6 mts.)	" 145	CIF 15.950
Cañerías de aleación de aluminio, incluyendo piezas especiales	" 1.060	CIF 116.600
Tres surtidores con 6 válvulas automáticas	" 260	CIF 28.600
<hr/>		
TOTAL	US\$ 2.650	\$ 291.500
Recargo por flete		18.500
<hr/>		
TOTAL		\$ 310.000
<hr/>		
$\frac{\$ 310.000}{16} = \$ 20.000$ por há.		

El peso neto del equipo es alrededor de 1-1/4 Ton.

GASTOS ANUALES FIJOS PRODUCIDOS POR EL EQUIPO

Grupo Motobomba: Consideraremos un 10% de interés anual + 10% de amortización + 10% en conservación y reparaciones mayores. Total 30% del costo inicial.

Cañería de Succión: 10% de interés + 10% de amortización. Total 20% del costo inicial.

Cañerías d aleación de aluminio: 10% de interés + 4% de amortización + 1% de conservación. Total 15% del costo inicial.

Surtidores y Válvulas automáticas: 10% de interés + 25% de amortización. Total 35%.

Los gastos de flete se podrían cargar a cada uno de los ítems anteriores en proporción a sus volúmenes, pero lo consideraremos como un ítem aparte con un interés del 10% y una amortización media de un 8%.

Luego los gastos anuales fijos serán:

Grupo motobomba 30% de \$ 130.350	\$ 39.105
Cañería de succión 20% de 15.950	3.190
Sistema de cañerías móviles 15% de \$ 116.000	17.490
Surtidores y válvulas automáticas 35% de \$ 28.600	10.010
Flete 18% de \$ 18.500	3.330
<hr/>	
Total gastos anuales fijos	\$ 73.125
<hr/>	

Gastos de operación:

Combustible, lubricantes y reparaciones menores en el grupo motobomba.

El equipo funcionará como término medio 1.785 hrs. anuales (de bombeo) a un 72% de su potencia y considerando 200 grs. de petróleo por HP hora efectivo, tendremos que se consumirán:

$$1.785 \cdot 0.72 \cdot 15 \cdot 0.200 = 3.860 \text{ lts. de petróleo a } \$ 4.00 \text{ cada uno} = 15.440$$

Gastos en petróleo	\$ 15.440
Gastos en aceite, grasa, filtros, 25% gastos de combustible	\$ 3.610
	<hr/>
Gastos totales anuales por combustible, aceite, grasa, etc.	<u>\$ 19.050</u>

Gastos de servicio:

Se trabajarán durante el año, 1.785 horas de bombeo más un 10% de tiempo adicional para mover cañerías, o sea, un total de 1.963 horas. El equipo necesita ser atendido por un solo hombre en forma permanente y se estima la hora hombre a \$ 30 cada una. (\$ 20 jornal + 50% leyes sociales).

Gastos de servicio:

1.963 horas a \$ 30 cada una	<u>\$ 58.890</u>
--	------------------

Luego el total de gastos anuales imputables a riego por aspersión suben a:

Gastos fijos	\$ 73.125
Gastos en petróleo, lubricantes, etc.	19.050
Gastos de servicio	58.890
Total.	<u>\$ 151.075</u>

Considerando que se riegan 16 hás. la temporada de riego por aspersión desde diciembre a abril inclusive, cuesta por há. \$ 9.450.

El costo por m³. colocado será de $\frac{151.065}{91.000} = \$ 1,66$

COSTOS DE PRODUCCION

En los costos de producción entran gastos producidos por rotura del suelo, siembra, limpias, cosecha, enfardadura, etc. y que se pueden estimar en \$ 5.500/há. de alfalfa.

GASTOS ANUALES TOTALES POR HA. DE ALFALFA

Gastos culturales	\$ 5.500
Interés del suelo al valor actual (de rulo) 8% de \$ 8.000	640
Riego por aspersión	9.450
5 riegos por tendidos a \$ 100 c/u.	500
Gastos anuales totales por há. de alfalfa	<u>\$ 16.090</u>

Estimando un rendimiento mínimo de 85 qq. de heno seco por há. tendremos que el costo de producción por qq. sube a \$ 189.40.

El heno seco será guardado para ser consumido durante el invierno por la lechería, por lo tanto, recargaremos su costo por los intereses devengados durante el almacenamiento; considerando un almacenamiento medio entre 3 y 4 meses se puede considerar un recargo del 3% por concepto de interés.

Costo de producción	\$ 189.40	
3% interés de almacenamiento	5.60	(10% anual)
	<hr/>	
	\$ 195.00	
	<hr/>	

Durante el tiempo en que será consumido el heno seco, abril-octubre, se puede considerar que el precio de venta mínimo será de \$ 240 el qq. llegando a 300 y más (\$ 550, Sep. 1953). Si consideramos un precio medio de \$ 260 qq. tendremos que cada hectárea dejará una utilidad líquida de \$ 5.525 y entre las 16, \$ 88.400.

Fuera de esto se habrá incorporado al fundo 16 há. de riego que indiscutiblemente con el tiempo mejorarán notablemente la calidad de su suelo debido a la presencia de un cultivo como es la alfalfa.

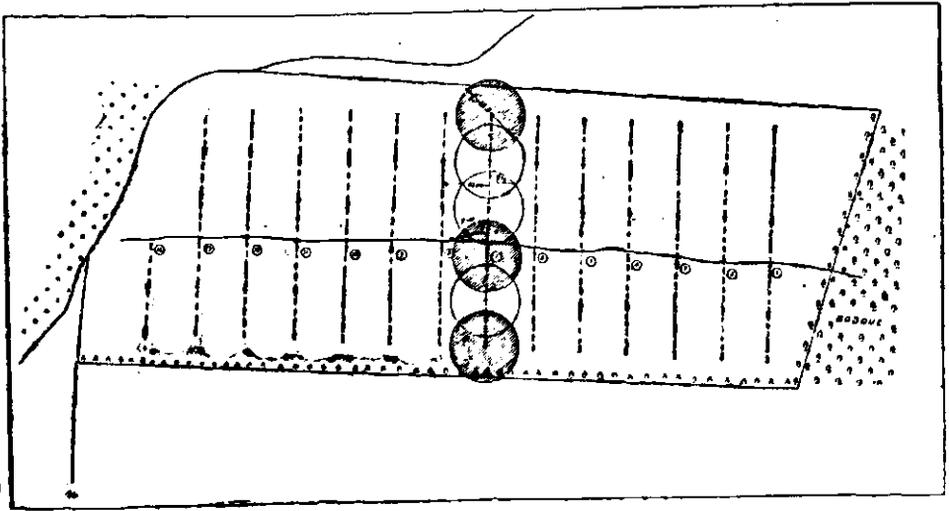


Fig. N.º 19

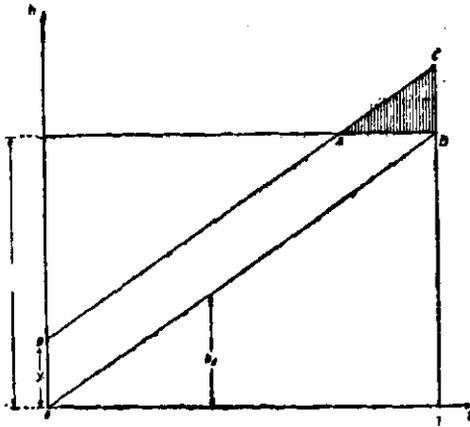


Fig. N.º 20

CAPÍTULO IX

Conclusiones

CONCLUSIONES RESPECTO A LA APLICACION DEL RIEGO POR ASPERSION

El riego por aspersión, es indiscutiblemente caro, de modo que antes de aplicarlo habrá que considerar todos los beneficios que le puede reportar al propietario. Por estas condiciones el riego por aspersión se ha aplicado principalmente cuando se presentan una o más de las siguientes condiciones:

- a) Allí donde el agua es escasa o muy cara y debido a las condiciones de los terrenos no se puede regar sin grandes pérdidas de agua;
- b) En aquellas regiones donde los sistemas convencionales de riego sean imposibles de aplicar, sin producir erosión, o donde las condiciones topográficas exigían extensa sistematización del terreno;
- c) En aquellas regiones donde la lluvia natural es la base del riego y se usa la aspersión como un medio de asegurar o mejorar las cosechas (riego suplemental);
- d) En aquellos cultivos intensivos donde la aspersión ofrece especiales ventajas de operación.

Trataremos a continuación, de analizar el caso a):

Mucho se ha hablado sobre las economías de agua que produce el riego por aspersión; si bien ésta puede ser, en ciertos casos, de magnitud, no lo será siempre. La tasa neta de riego será igual cualquiera que sea el sistema de riego que se use, lo que sí va a variar, es *la eficiencia* del riego. Respecto a la posibilidad de obtener una mayor penetración con una menor cantidad de agua cuando se riega por aspersión, se puede decir que esto no existe, lo cual no sólo se demuestra teóricamente sino que prácticamente.

El ahorro de agua será importante en dos casos:

- 1º Cuando se puede regar una mayor superficie;
- 2º Cuando el agua es cara.

La solución más económica será aquella que haga máxima la entrada anual — valor del agua aplicada.

Si llamamos:

- U = Entrada neta producida por 1 m³. (neto).
C₁ = Costo del m³. puesto en la zona por regar.
C₂ = Costo del m³. colocado por aspersión.
C₃ = Costo del m³. colocado por tendido o camellones.

a = Rendimiento del riego por aspersión (0.60 — 0.80).

t = Rendimiento del riego por tendido o camellones (0.30 — 0.80).

En este caso el riego por aspersión será económicamente factible siempre que:

$$Q \cdot U - (C_1 + C_a) > t \cdot U - (C_1 + C_t)$$
“a · U” y “t · U” representan las entradas producidas por 1 m³. bruto aplicado con rendimientos a y t, respectivamente.

En el caso que sea imposible aumentar la superficie regada, la ecuación de arriba se transforma en

$$\frac{C_1 + C_t}{t} > \frac{C_1 + C_a}{a}$$

Este caso sólo será importante cuando C₁ es alto, siendo el caso más típico cuando se usa agua que ha sido elevada mecánicamente.

El caso más favorable es el primero, o sea, cuando el ahorro de agua permite incorporar nuevos terrenos al cultivo intensivo.

Solamente como fin ilustrativo supongamos que 1 m³. neto de agua nos va a producir una entrada neta de \$ 4 y que los otros datos son:

$$\begin{aligned} C_1 &= \$ 0.30 \\ C_a &= 1.00 \\ C_t &= 0.20 \\ Q &= 0.75 \\ t &= 0.50 \end{aligned}$$

$$a \cdot U - (C_1 + C_a) = 0.75 \cdot 4 - 1.30 = 3 - 1.30 = \$ 1.70$$

$$t \cdot U - (C_1 + C_a) = 0.50 \cdot 4 - 0.50 = 2 - 0.60 = \$ 1.50$$

Luego el riego por aspersión será en este caso más económico aún cuando el ahorro de agua sólo alcanza a un 25%, es de notar que este ahorro de un 25% de agua permite aumentar la producción o la superficie regada en un 33%.

La utilidad que se obtiene en el ejemplo anterior por m³. bruto colocado es de \$ 1.70 en el caso de aspersión y \$ 1.50 en el caso de riego por tendidas. En el caso de mayores ahorros de agua o cultivos más lucrativos o mayor valor del agua aplicada, las utilidades serán mucho más notorias. Asimismo, es de observar que aún cuando la utilidad hubiese sido igual, la implantación habría sido conveniente ya que la producción habría sido, a lo menos, un 35% mayor.

En este caso, no se han considerado algunas de las innumerables ventajas que puede presentar el riego por aspersión, tales como: eliminación de acequias, desagües, tacos, lo que significará una mayor área cultivable y mayores posibilidades de mecanización; ahorros en abonos, eliminación de la erosión, posibilidad de aumentar el rendimiento, calidad de riego, etc., todo esto indiscutiblemente dejará un saldo favorable a la aspersión.

LA ASPERSION EN NUESTRO TERRITORIO

Durante muchos años, la producción agrícola nacional ha aumentado a una velocidad menor que la de la población; según informe de la comisión económica

de la NU. para la América latina la producción agrícola per cápita durante el año 1952, fué un 2% menor que en 1948 y un 8% menor que para el período 1934-1938.

Para aumentar nuestra producción indiscutiblemente se deberá aumentar nuestra superficie regada; la aspersión en este sentido ofrece grandes posibilidades debido, a dos razones principales: 1º Máximo aprovechamiento del agua y de la superficie regada, y 2º Posibilidad de regar terrenos que por cuya configuración topográfica sean imposibles de regar por los métodos convencionales sin grave peligro de erosión.

1º Respecto a la economía de agua se puede decir que ésta se producirá por por dos razones:

a) Posibilidad de obtener la penetración más adecuada sin pérdidas de percolación y escurrimiento superficial.

b) Mala técnica en los métodos de riegos convencionales.

Según el "United States Bureau of Reclamation", la aplicación de la aspersión en Estados Unidos ha producido economías de agua entre un 15-30%, pudiéndose en casos extremos economizarse un 50% o nada. Si bien esto puede ser cierto para Estados Unidos donde se riega con gran perfección y en terrenos previamente nivelados, no lo será en Chile donde el riego está a cargo de operarios, en general, mal pagados y menos eficientes. En este sentido se debe aplicar la aspersión solamente cuando ofrezca posibilidades de ahorros de agua al compararse con el riego convencional hecho en las mejores condiciones ya que indiscutiblemente será más barato pagarle bien al peón regador y exigirle más, que regar mecánicamente.

En Chile, donde abundan terrenos delgados y permeables, la aspersión indiscutiblemente producirá ahorros notables de agua y si a esto le agregamos la mala técnica empleada para regar por los métodos convencionales, *no es de extrañar que la economía de agua pueda llegar a un 50% o más.* Esto se ha comprobado ya en La Serena donde se ha regado por aspersión y *se ha conseguido en ciertos casos, triplicar la superficie regada,* lo que viene a significar un ahorro de agua de 66%.

2º En Chile abundan terrenos que se presentan en forma de faldeos y que son aptos para explotación agrícola y que no se encuentran explotados intensamente debido a que cualquier método de riego superficial provoca erosión. La aspersión en este sentido ofrece la posibilidad de incorporar nuevas tierras al cultivo intensivo. De especial interés serán las tierras ubicadas en la costa y en la zona sur, ya que necesitarán de cantidades menores de agua que otras regiones debido, en el primer caso, a la acción del mar, y en el segundo, a la presencia de lluvias naturales durante el verano, por lo cual la aspersión se podrá usar como complemento de las lluvias naturales.

• Será de fundamental importancia aprovechar primero la posibilidad de aumentar el rendimiento de las obras de regadío existentes ya que en ciertos casos debido al ahorro de agua producido existía un margen apreciable para aumentar su presente productividad. Es de interés observar que una economía de agua de un 30% aumenta el área cultivable en un 43% y la producción seguramente en más, debido a la posibilidad de diversificar los cultivos.

Donde será de gran interés el aprovechamiento máximo del agua es cuando

ésta ha sido elevada mecánicamente y se debe regar terrenos relativamente permeables, como es el caso de aguas subterráneas.

Finalmente, diremos que en aquellas zonas donde existe energía eléctrica disponibles, y se deba regar mecánicamente, se deberá adoptar siempre que un estudio económico no la proscriba y será de gran interés establecer cooperativas de riego, caso muy común en Europa, ya que evidentemente, no sólo se logrará una menor inversión inicial, sino una explotación más económica.

INDICE GENERAL

Capítulos I y II

	<u>Págs.</u>
<i>Aspectos físicos y fisiológicos del riego</i>	125-148
El agua y la planta	125
La aspersión y el clima general	128
El agua y el suelo	129
La economía de agua en la aspersión	141
Tasas de riego	142

Capítulo III

<i>Características de los surtidores y distribución del agua</i>	149-163
Características de los surtidores	149
Radio de acción y grado de atomización	149
Tipos de surtidores	151
Distribución del agua	152
Espaciamento de los surtidores y área neta	153
Uniformidad de riego y diagrama de distribución	157
Estudios experimentales sobre uniformidad de riego	159

Capítulo IV

<i>Características de las tuberías y sus pérdidas de carga</i>	164-173
Sistema de cañerías	164
Resistencia mecánica y a la corrosión	166
Pérdida de carga en las redes móviles	168
Pérdidas por fricción en las cañerías	171
Variación de la presión en las líneas surtidoras	171

Capítulo V

<i>Características de bombas y motores</i>	174-178
Bombas	174
Máquinas motrices	176

Capítulo VI

<i>Dimensionamiento de la instalación y modo de operarla</i>	179-183
--	---------

Capítulo VII

<i>Estudio económico</i>	184-212
Los costos	184
Redes alimentadoras y surtidoras	185
Factores económicos en el dimensionamiento de la instalación	186
Diámetro más económico de la cañería alimentadora	186
Línea surtidora más económica	190
El uso de energía eléctrica en los sistemas de aspersión	198
Comparación entre la solución Diesel y Eléctrica para diversas tasas y alturas de elevación (Gastos en la unidad motriz)	201
Influencia de los gastos de servicio en los costos	207
Tasa más económica	208

Capítulo VIII

<i>Aplicación en el Fundo Santa Ana</i>	213-226
Dimensionamiento del equipo	214
Volúmenes o alturas máximas de cada riego	214
• Elección del equipo	214
Aprovechamiento de las lluvias naturales y consumos medios mensuales	216
Estimación de la tasa neta	217
Dimensionamiento de la red surtidora y alimentadora	219
Inversión inicial y costo anual de funcionamiento	220
Costos de producción	222

Capítulo IX

<i>Conclusiones respecto a la aplicación del riego por aspersión</i>	226-229
La economía del agua	226
La aspersión en nuestro territorio	227