

Riego

TRABAJO PRESENTADO PARA OBTENER
EL TITULO DE INGENIERO CIVIL Y DE MINAS

Isaac J. Senior

CAPITULO I

Suelos

Los suelos cultivables pueden dividirse, según su origen, en cuatro clases principales:

- a) residuales
- b) aluviales
- c) eólicos
- d) glaciales.

Suelos residuales.—Son el producto de la desintegración *in situ* de las rocas bajo la acción del aire, la humedad, la vegetación; todos estos factores actúan sobre la mayoría de las rocas naturales.

Suelos aluviales.—Son los depósitos formados por la sedimentación en aguas tranquilas, por las corrientes sobre sus riberas en épocas de inundaciones y las acumulaciones de sedimentos en los deltas.

Suelos eólicos.—Son aquellos que han sido depositados por la acción del viento. Son comunes en las cercanías de corrientes anchas y poco profundas o de lagos, cuyas aguas fluctuantes dejan grandes extensiones expuestas a la acción del viento que remueve y reedeposita la superficie con un resultado diferente al de las aguas.

Suelos glaciales.—Son depósitos de heleros provenientes de los productos de la erosión glacial.

Generalmente existen ciertas diferencias importantes entre los suelos de las regiones áridas y húmedas, debido a la diferencia de humedad. En las regiones húmedas, la humedad tiende a sacar los constituyentes más solubles del suelo y a provocar el crecimiento de una vegetación exuberante; de tal manera que la tendencia es sacar los minerales solubles y acumular mantillo. Como la mayoría de los minerales alcalinos son muy solubles y por lo tanto se dejan sacar fácilmente del suelo, y como la destrucción de la vegetación produce ciertos ácidos orgánicos, se tiene al final una acidez relativa en los suelos de las regiones húmedas.

En regiones áridas la falta de humedad permite que los minerales solubles se queden en el suelo y que puedan contener altos porcentajes de las sales de potasio, sodio y magnesio, como también de algunos fosfatos poco solubles, que constituyen alimentos útiles para las plantas.

Alcali.—Los álcalis encontrados en los terrenos naturales son generalmente una mezcla de varias sales que poseen propiedades muy diferentes sobre la vida de las plantas.

El álcali más dañino es el carbonato de sodio. Este cuerpo tiene propiedades cáusticas y en presencia de materia orgánica toma una coloración obscura, por lo que con frecuencia se le llama "álcali negro".

La presencia, en promedio, de 0.1% de álcali en la zona de raíces de cualquier suelo es desastrosa para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

En general un suelo con menos de 0.05% de sales solubles es aceptable y con más de 0.05% de las mismas se considera estéril. Entre estos límites, la fertilidad del suelo depende principalmente del carácter de las sales y de él mismo.

De Vries ha mostrado que la presencia de grandes cantidades de sales disueltas en el agua que está en contacto con las raíces de las plantas causa un encogimiento de las células que si persiste llega a producir la destrucción de la planta. Además de esto, los carbonatos alca-

linos tienen un efecto corrosivo sobre el tejido de las plantas. Un exceso de sales alcalinas produce ciertas enfermedades en las plantas y reduce la eficiencia de la labranza.

La presencia de álcali afecta diferentemente los distintos cultivos. De las hierbas cultivables la alfalfa es la más tolerante. De los cereales, la cebada; le sigue la avena. La remolacha soporta más álcali que los cereales.

No se ha definido exactamente la cantidad de álcali que resulta perjudicial pues ella varía, no sólo con el cultivo sino más aún con el carácter del suelo, el carácter de las sales y la humedad. El álcali que puede contener un suelo varía con su humedad, pues si aumenta ésta puede aumentar aquélla sin que la solución alcance alta concentración. Los suelos arcillosos, debido a que pueden contener mayor cantidad de agua, soportan más álcali, sin perjuicios para los sembrados, que los arenosos.

En general las sales de sodio son más dañinas que otras; los carbonatos más que los cloruros y éstos más todavía que los sulfatos. Potasio, calcio y fósforo son alimentos valiosos de las plantas aunque a menudo sucede que algunas sales de estos elementos se encuentran en cantidades perjudiciales a la vegetación.

El álcali sólo es perjudicial cuando está en contacto con el tejido de la planta, es decir, cuando se encuentra en las zonas de raíces. Un suelo muy fértil puede llegar a ser estéril por la concentración de sales en las capas superficiales debido al movimiento ascendente del agua que lleva las sales en solución y su evaporación en la superficie.

Debido a la variedad de factores que influyen en el resultado es imposible dar una regla exacta respecto a la cantidad de álcali que es perjudicial a la vegetación. Las cantidades siguientes deben tomarse como aproximadas:

Carbonato de sodio	0.1%
Cloruro de sodio	0.5%
Sulfato de sodio	1%

Resistencia al álcali.—Las investigaciones de Loughridge y otros indican la resistencia, relativa al álcali, de los distintos cultivos en el siguiente orden:

Hierba de pasto
Palmera
Sorgo
Remolacha
Arveja
Maíz
Alfalfa (vieja)
Cebada
Rábano
Girasol
Haba
Guisante
Vid
Alcachofa
Olivo
Trigo Gluten
Zanahoria
Trigo

Naranja
Apio
Almendro
Altramuz
Centeno
Avena
Higuera
Alfalfa (joven)
Patata
Cebollas
Pera
Gálega
Mora
Ciruela
Melocotón
Manzano
Albaricoque
Limón

CAPITULO II

Humedad del suelo

La mayoría de los suelos de las regiones húmedas y áridas, especialmente cuando han sido regadas, están permanentemente saturadas de agua a cierta profundidad; el límite superior de la masa saturada se llama superficie de saturación (Water-table).

Agua libre.—Cuando un suelo saturado con agua está provisto de buenos drenajes, una porción del agua será sacada por la acción de la gravedad y reemplazada por aire. A esta agua se le denomina agua libre.

Agua capilar.—El suelo así drenado permanecerá todavía húmedo pues una parte del agua será retenida por la atracción capilar de los poros. Esta es la llamada "agua capilar". Su porcentaje varía con la naturaleza del suelo; es mayor en suelos arcillosos que en arenosos. La entrada del aire proveniente de la salida del agua libre y la presencia del agua capilar ponen al suelo en condiciones fa-

vorables para la siembra. El agua capilar será absorbida por las plantas o evaporada y entonces el suelo se clasificará como "seco".

Agua higroscópica.—El suelo así secado contendrá todavía algo de agua, llamada higroscópica. La humedad higroscópica de los suelos varía con su textura, desde 1% en arena gruesa hasta 10% en arcilla. La cantidad de agua higroscópica es insuficiente para el consumo de las plantas y no se considera en los cálculos sobre riego.

Movimiento capilar.—El agua capilar va hacia el suelo más seco bajo la acción de la atracción capilar. En la superficie de saturación todos los poros del suelo están llenos con agua. Encima de este nivel el suelo tiene su "capacidad capilar". La cantidad de agua capilar varía, de la superficie de saturación hacia arriba, a una rata uniforme en los suelos de textura uniforme. A cierta distancia de la superficie de saturación es cero. Esta distancia varía desde 1' para arena gruesa hasta 6' o más para arcilla pesada.

La siguiente tabla elaborada por Lyon y Fippin, muestra la extensión y rata de la capilaridad:

CLASE DEL SUELO	Altura capilar en pulgadas							
	15 m	1 h	2 h	1 d	3 ds	8 ds	13 ds	19 ds
Cieno y arena muy fina	2.7	4.7	7.0	20.0	30.0	15.0	52.0	56.0
Arena muy fina	7.6	10.0	12.4	21.0	23.0	26.0	27.5	28.5
Arena fina	9.0	9.5	10.0	11.6	13.0	14.3	15.2	16.0
Arena medía y gruesa	5.8	6.0	6.3	7.5	9.0	10.0	11.5	12.5
Grava fina	4.0	5.0	5.3	6.1	8.0	9.0	10.0	10.8

El cieno da una altura mayor aunque a una rata menor.

Coefficiente de marchitamiento.—(Wilting coefficient). El punto en el cual la vegetación empieza a marchitarse y muere por falta de humedad, se llama coeficiente de marchitamiento. El agua útil para el consumo de las plantas es pues el exceso del agua capilar sobre el coeficiente de marchitamiento. La cantidad de agua en los suelos no debe pasar de su capacidad capilar ni bajar de su coeficiente de marchitamiento.

Agua necesaria.—La cantidad de agua necesaria para

el riego depende del carácter del suelo, de la profundidad hasta la cual se desee humedecerlo y de la humedad que ya contenga.

A continuación incluimos una tabla de bastante utilidad:

PORCENTAJES, POR PESO, DE LA CAPACIDAD PARA VARIOS SUELOS

Clases del suelo	Coefficiente higroscópico	Wilting coefficient	Capacidad capilar	Capacidad útil	Capacidad total
Arena gruesa	1.0	1.5	13	11.5	33
Arena fina	2.1	3.3	14	10.7	34
Barro arenoso	4.7	7.0	15	8.0	35
Barro arenoso fino	6.9	10.8	16	5.2	37
Barro	9.1	13.4	18	4.6	38
Arcilla marga	11.8	15.0	19	4.0	40
Arcilla	13.2	16.5	20	3.5	42

La capacidad útil, según se deduce de lo anterior, es la diferencia entre la capacidad capilar y el coeficiente de marchitamiento.

De la tabla anterior deducimos que si un barro o marga alcanza al coeficiente de marchitamiento contiene todavía 13.4% de agua por peso, y puede retener por capilaridad 4.6% de agua adicional o 4 lbs./ pie cúbico. En estas condiciones se requeriría $\frac{1}{4}$ de pie cúbico para llenar un pie cuadrado de superficie de este suelo a una profundidad de 4.2 pies y a su capacidad capilar, esto es, se requeriría 3" de profundidad al aplicar el agua al suelo.

Similarmente, un barro arenoso, bajo las mismas condiciones, necesitaría 75% más de agua o una profundidad de $5\frac{1}{4}$ pulgadas; la arena gruesa necesitaría $7\frac{1}{2}$ " y la arcilla 3".

CAPITULO III

Alimento de las plantas

El agua es el constituyente más abundante de la planta y por lo tanto el elemento más importante del alimento

de ella. Además de esto, el agua es el vehículo necesario para llevar en solución todos los otros elementos indispensables para la nutrición de la planta.

La cantidad de agua necesaria para la formación de una unidad de tejido varía grandemente con la clase de la planta y con la cantidad de materia alimenticia.

Libras de agua necesarias para la formación de una libra de materia seca

	Lawes y Gilbert	Hellreigel	Wollmy	King	Witdsoa	Promedio
Trigo	225	359			1006	530
Avena		402	665	557		541
Cebada	262	310	774	393		435
Maíz			233	272	387	297
Patata				423	1440	931
Remolacha					662	662

El agua lleva el alimento necesario a las plantas en dos formas: a) en suspensión, y b) en disolución.

a) Las aguas llevan siempre, en mayor o menor cantidad, elementos en suspensión que depositan en las tierras, haciéndolas accesibles a las plantas. Los elementos llevados en suspensión forman parte del limo arrastrado por las aguas, que ha sido tomado de los terrenos por donde han pasado para depositarlos más tarde, cuando el agua pierde su velocidad, en cantidad proporcional al arrastre y a la pérdida de velocidad.

Las cantidades de limo arrastradas varían entre amplios límites. En una misma corriente de agua, varían con las crecidas. Véanse algunas cifras suministradas por diferentes observaciones que darán idea de las enormes cantidades que pueden ser arrastradas:

RIOS	Metros cúbicos acarreados anualmente
Misisipí	600.000.000
Nilo	95.000.000
Ganges	42.000.000
Po	40.000.000
Ródano	21.000.000
Durance	12.000.000

Var	12.000.000
Loira	6.000.000
Garona	5.700.000
Sena	200.000
Marne	105.000

Hervé-Mangon ha estudiado este asunto con mucho cuidado. Sus observaciones en el Durance pueden resumirse así:

El peso total de los limos acarreados por este río en Merindol, en dos años (1859—1861) fue de 17.923.321 Tons.

Admitiendo que estos limos depositados en el suelo pesen por término medio 1.600 kgs. / mts. cúbicos, su volumen hubiera sido de 11.077.071 mts. cúbicos.

Si este limo se depositase íntegramente en el suelo, cubriría en un año con una capa de 0.01 mts. de espesor una superficie de 110.770 hectáreas.

Añade Hervé-Mangon que en el departamento de Vaucluse se consideran muy fértiles las tierras arables que poseen 0.30 mts. de espesor de este valioso aluvión, o sea 3.000 mts. cúbicos / hectárea. El volumen de limo arrastrado en un año por el Durance en Merindol representa una superficie de primera calidad de $11.077.071/3.000 = 3.692$ hectáreas.

Algunos análisis químicos de limos practicados por Hervé-Mangon darán una buena idea sobre su importancia.

Limo del Durance.—Cantidad media anual de limo contenida en un metro cúbico de agua: 1.454 gr. Composición media por ciento y por año:

	Promedios	
	Mensuales	Extremos
Residuo arcillosilicilico insoluble	45.02	46.650
Alúmina y peróxido de hierro	3.72	4.650
Nitrógeno	0.06	0.098
Carbonato de cal	41.27	41.470
Carbono	0.41	0.686
Agua y productos no dosificados	9.52	6.446

Limo del Var.—Composición centesimal:

Residuo insoluble	44.28
Alúmina y peróxido de hierro	5.03
Carbonato de cal	38.53
Nitrógeno	0.12
Carbono	0.12
Agua y productos no dosificados	15.04

Veamos ahora algunos análisis practicados recientemente por M. Müntz y que indican la cantidad de limo en varias corrientes de agua y de los cuatro principales elementos de fertilidad:

	PARTES POR MIL			
	Nitrógeno	Acido fosf.	Potasa	Carbon. de cal.
Isére	1.24	1.66	1.32	255
DURANCE	0.50-1.06	0.92-1.10	1.34-2.2	356.4-484.4
Verdon	0.65	0.82	2.41	452
Garona	1.99	1.59	3.02	124
Canal de Carpentras	1.15-1.51	1.01-1.12	2.9-4.0	389.7-432.5

Creemos conveniente exponer la composición del famoso limo del Nilo. Los análisis del Dr. Letheby indican las siguientes cifras por ciento:

	Crecida	Estiaje
Materias orgánicas	15.02	10.37
Acido fosfórico	1.78	0.57
Cal	2.06	3.18
Magnesia	1.12	0.99
Potasa	1.82	1.06
Sosa	0.91	0.62
Alúmina y óxido de hierro	20.92	23.55
Acido carbónico y pérdidas	1.28	1.44

Es lástima que este análisis no comprenda el nitrógeno que tanta importancia tiene como fertilizante; esta falta se puede suplir promediando los análisis de Payen y Champion que dan 0.9-1.3 por mil de nitrógeno.

El valor fertilizante de los limos de algunos ríos del Suroeste de EE. UU., comparado con lo requerido por una tonelada de alfalfa aparece en la tabla siguiente:

RIO	Fecha	Materia fertilizante por acre			Investigador
		Acido fosf.	Pta de agua	Nitrógeno	
Río Grande	1893-94	31.4	325.5	24.40	Goss.
Río Salado	1899-1900	10.5	26.5	9.00	Forbes
Río Colorado máx.	1900-01	43.56	444.6	69.70	"
Río Colorado mín.	1900-01	2.26	16.3	1.03	"
1 ton. de alfalfa		16.7	33.0	42.00	Goss.

Para apreciar la abundancia y acción fertilizante de los limos recordaremos ahora la composición por mil de una buena tierra vegetal, del limo de una corriente de agua (Francia), del limo del Nilo y del estiércol de granja:

	Tierra vegetal	Corriente de agua (Francia)	Nilo	Estiércol de Granja
Nitrógeno	1	0.7-1.2	1.4	3-5
Acido fosfórico	1	0.8-1.5	2.5	2-6
Potasa	2	1.5-2.0	5.3	2-4
Cal	50		30.7	3

b) Al igual de las aportaciones de limo, las cantidades de elementos disueltos llevados por las aguas varían con la naturaleza de los terrenos que atraviesan.

Las aguas son más eficaces cuando contienen elementos que sólo existen en pequeña cantidad en el suelo que con ellas se debe regar.

Aguas lluvias.—Los análisis de las aguas lluvias han demostrado que ellas contienen nitrógeno combinado, carbonato y nitrato amónico, materias orgánicas, cloruro sódico, sulfato sódico, óxido de hierro, oxígeno, nitrógeno y ácido carbónico. Las proporciones de estos compuestos varían con la localidad; en las ciudades el agua lluvia está más cargada de ácido carbónico, de materias orgánicas y minerales que en el campo. En la formación de ácido nítrico tienen mucha influencia las tempestades.

Cien litros de agua lluvia hervida han dado:

Nitrógeno	1.308 lts.
Oxígeno	0.637 "
Acido carbónico	0.128 "
	2.073 "

En general se puede admitir un promedio anual de 8.08 kgs. de nitrógeno combinado (amoníaco y ácido nítrico) por hectáreas y por año.

Aguas de arroyos y ríos.—La composición de estas aguas varía tanto, según la época del año en que se opere y el procedimiento que se siga para obtener la muestra, que es bastante difícil comparar los resultados de los diversos experimentos.

Las aguas corrientes, en contacto con el aire, disuelven los gases contenidos en él. La absorción de oxígeno es relativamente mayor que la de nitrógeno. En general las cantidades de gases disueltos varían con la temperatura y, para el gas carbónico, con la composición de las aguas.

Según Poggiale y Hervé-Mangon el agua del Sena contenía a 0° y 760 mmts.:

	Poggiale	Hervé-Mangon
Oxígeno	0.0095 lts.	0.0072 lts.
Nitrógeno	0.0021 "	0.0136 "
Acido carbónico	0.02325 "	0.0254 "

La cantidad de nitrógeno y materias minerales contenidas en las aguas de que nos ocupamos varían grandemente y para dar idea del orden y magnitud de las mismas, citaremos los datos de algunas aguas según M. Müntz:

MATERIAS	Bourne gr.	Iseré gr.	Rodano gr.	Sourges gr.	Durance gr.
Nitrógeno nítrico por m ³	0.038	0.223	0.828	0.104	0.285
" amoniacal "	0.100	0.110	0.130	0.036	0.010
" orgánico "	0.130	0.140	0.230	0.130	0.140
Acido fosfórico	0.078	0.044	0.332	0.026	0.034
Potasa	2.180	3.390	2.980	3.740	3.120
Cal	80.000	65.000	84.000	90.600	82.000
Magnesia	4.000	10.000	9.300	8.700	19.000
Acido sulfúrico	4.100	48.000	22.300	algo	66.500
TOTALES	90626	126907	120100	103336	171089
Peso total de la mat. en di.	100	175	158	160	240

Si suponemos que la cantidad total de agua de riego

repartida en una región sea de 16.000 mts. cúbicos por hectárea y por año, resultará, por ejemplo, en el Isere que el nitrógeno aportado por ellas será: $0.473 \times 16.000 = 7568$ grs. o sea 7.5 kgs., que es bastante apreciable. En algunos casos resultan cifras muy elevadas; así, Hervé-Mangon ha encontrado que una pradera de los Vosgos recibe 208 kgs. de nitrógeno mediante los canales de riego, resultando innecesaria la aplicación de este abono.

CAPITULO IV

Fuentes de abastecimiento

Las aguas que se emplean para regar pueden provenir:

- 1º De las corrientes subterráneas.
- 2º De los estanques o depósitos de almacenamiento.
- 3º De las corrientes de agua.

1º—Corrientes subterráneas.

A—Origen.—El origen de las aguas subterráneas no está establecido científicamente más que desde hace pocos años; el estudio de los fenómenos geológicos antiguos y recientes y el de la meteorología han permitido a distinguidos observadores determinar las múltiples acciones y reacciones que las aguas ejercen a través de la corteza terrestre.

Muchas fueron las teorías que sobre el origen de las aguas subterráneas se emitieron. Sin referirnos a una antigüedad muy remota diremos que la teoría correcta fue creciendo en importancia y confirmándose cada vez más.

En 1847, J. Degousse menciona las causas de la presencia del agua en las capas geológicas que están cerca de la superficie del suelo: "En resumen la cantidad de agua que, elevada por la evaporación en la atmósfera, recae en forma de lluvia, niebla, nieve, etc., sobre los continentes, es más que suficiente para alimentar las corrientes de agua que circulan en su superficie o en sus cavidades interiores".

Hoy, que innumerables trabajos de minas, y sobre todo de sondeos profundos destinados a la busca de agua,

han perforado la superficie del suelo; que el régimen de las corrientes de agua y la acción de las lluvias sobre él ha sido estudiado, ninguna duda es ya posible: Las observaciones llegadas de todas las regiones geológicas prueban que la alimentación de todas las corrientes de agua superficiales o subterráneas de todas las capas está asegurada únicamente por las aguas de la atmósfera.

B—Manera de encontrar y buscar las aguas subterráneas.—Para encontrar las aguas subterráneas se pueden dar solamente ideas generales. Las aguas, para que hagan su aparición en el subsuelo, necesitan un recipiente, un hueco en él. Para el hidrólogo será siempre tarea difícil tener que buscar agua, sobre todo si se trata de grandes cantidades de aguas subterráneas en las capas geológicas antiguas, pues en las rocas de esta edad la estratigrafía de las capas permeables, de las roturas y de los abismos es de una naturaleza tan complicada y tan difícil de comprobar, que los medios hidrológicos son aplicables solamente en casos determinados. Por otra parte, las rocas detríticas de las edades geológicas más recientes, del cuaternario diluvial o actual, ofrecen un campo de investigación más favorable.

Por la misma formación de la superficie, el hidrólogo podrá deducir muchas veces si el subsuelo se presta para llevar aguas. Son de importancia las deposiciones arenosas producidas por la atmósfera, las dunas, de las cuales muchas ciudades se abastecen de agua. Las deposiciones cuaternarias se distinguen por su regularidad; sin embargo, es frecuente encontrar buenas condiciones hidrológicas en las formaciones arenosas del terciario.

Excelentes indicios ofrecen los pozos existentes, se deberán anotar las variaciones de nivel y las entregas de agua. Si el pozo no se ha secado ni aun en los tiempos de mayor sequía, y si no se ha procedido nunca a profundizarlo, se debe pensar que hay un buen portador de aguas. Si el nivel del agua en el pozo baja muy poco aunque se saquen grandes cantidades de agua, se tiene indicios de que el subsuelo procede de buenas capas permeables.

Los terrenos, según su naturaleza química y física, roturas y grietas que los atraviesan, son capaces de retener

o dejar filtrar más o menos agua; desde el punto de vista de esta propiedad los dividiremos en permeables e impermeables.

Las aguas de lluvia, al caer sobre el suelo, empiezan por impregnar la capa superficial facilitando así su absorción por las plantas; otra parte se evapora al contacto con el suelo, cuya temperatura es generalmente superior a la del aire; el resto del agua trata de seguir a los arroyos o ríos, a menos que, durante el trayecto, estas aguas sean absorbidas, por la porosidad del suelo.

La parte de agua que no es utilizada por la vegetación desciende lentamente hasta encontrar una capa impermeable que la obligue a escurrirse siguiendo su contorno.

Si las raíces son numerosas e importantes, constituirán una especie de filtro subterráneo que hará regular el régimen de las aguas subterráneas; al contrario, en terrenos donde la vegetación es escasa las aguas arrastran la tierra vegetal y el régimen subterráneo será irregular. De esto deducimos la importancia de los bosques, pues ellos son reguladores de la humedad del suelo, dan origen a manantiales y moderan el escurrimiento de las aguas superficiales.

Las rocas superficiales permeables provienen generalmente de la disgregación de las rocas sólidas, sea por las reacciones químicas, por la acción de las aguas, del calor, etc. Las rocas silíceas o cuarzosas (cuarzo, pizarras silíceas, areniscas) se transforman en arenas más o menos gruesas, en cascajo, en guijarros y cantos rodados. Las rocas graníticas, gneis, pizarras micáceas, es decir, las rocas de los terrenos cristalinos a base de feldespatos, se descompondrán en tierras arcillosas o caolinas ricas en álcalis y en arenas. Los esquistos se transformarán en tierras silíceas o arcillosas. Las calizas y las margas calizas darán tierras y arenas calizas.

De todas estas rocas la más permeable es el aluvión; esto se comprueba observando la facilidad con la cual baja el nivel de los pozos cuando se ha secado cierta cantidad de agua. Se mide la permeabilidad desnivelando la capa de agua de un pozo por medio de bombas; la modificación del nivel del agua para un gasto determinado permite evaluar la permeabilidad.

Las arenas silicosas, areniscas según su grado de cementación, las calizas friables y porosas, son también rocas permeables.

La tabla siguiente da la porosidad de varias formaciones en porcentaje por volumen:

Formación	Localidad	Porosidad % Volum.	Investigador
Dolomita	Joliet, Ill	2.7	Merrill
Caliza (oolíticas)	Bedford, Ind.	9.8	"
Dolomita	Winona, Min.	11.7	"
Arenisca	Jordán, Min.	23.7	"
"	Medeia, N. Y.	4.4	"
"	Barea, Ohio	13.2	"
Granito	Wisconsin	0.019-0.62	Buckley
Caliza de Trenton	Duck. Creek, Wis.	1.04	"
Tiza	Inglaterra	14.44	Humber
Arena		35.45	
Arena y grava		25.30	
Suelo arenoso	Carolina del S.	41.3	Whitney
Arenisca de Postdam.	Ablemans, Wis.	7.12	Buckley

Para comprobar la existencia de aguas subterráneas, debe estudiarse si ellas están en estado de reposo o movimiento. En el primer caso se tendrá una aglomeración de aguas que pueden agotarse por la extracción permanente. En el segundo, la aglomeración dará un rendimiento continuo que se sostendrá mientras no se saque una cantidad mayor que la que alimenta las existencias.

A fin de informarse de sus movimientos, debe levantarse un plano de las alturas de las capas del nivel de las aguas subterráneas. La construcción del subsuelo se ha de relevar primeramente por medio de tres pozos situados, siempre que sea posible, en los vértices de un triángulo equilátero. Deben determinarse las capas que forman el terreno, la manera como se suceden, el espesor y la situa-

ción de ellas, y anotarse los resultados en un libro de perforación que tendrá el siguiente rayado:

Pozo N^o. . . . 200 mts. al S. de , perforado entre el

Y

Número de la capa	Altura Mts.	Espesor de la capa. Mts.	Profundidad Bajo la sup. Mts.	Naturaleza del terreno
-------------------	-------------	--------------------------	-------------------------------	------------------------

Cuando se llegue a la capa portadora de las aguas, se colocará un tubo de observación en el pozo para determinar el nivel del agua subterránea y sacar muestras de ella. El tubo de observación tiene un diámetro de 4/5" hasta 1 1/2" y está provisto, en su extremidad inferior, de un filtro de un metro de largo.

El extremo que lleva el filtro se fabrica de un tubo perforado, revestido exteriormente con un tejido de trencilla. Al colocar el tubo de observación dentro de la perforación, debe rellenarse con arena lavada el espacio entre ambos y luego quitar los tubos de perforación. Debe hacerse luego una nivelación para determinar las alturas de los extremos superiores de los tubos de observación y la situación de los niveles de las aguas subterráneas.

Conocidos los signos exteriores que revelan la presencia de las aguas subterráneas, conviene tener en cuenta algunos caracteres geológicos del terreno para proceder con más acierto en el alumbramiento de las aguas. Estos caracteres principales son:

Terrenos poco permeables que descansan sobre un terreno impermeable.—La topografía de un terreno de este género es fácil conocerla consultando los mapas con curvas de nivel. La línea de mayor pendiente indica la dirección en que las aguas subterráneas son más abundantes, porque generalmente la capa impermeable del subsuelo está inclinada en dirección de la línea de máxima pendiente; en algunos casos la pendiente de la capa impermeable sigue otra dirección, y entonces la línea en que se encontrará la mayor cantidad de agua será la diagonal del paralelogramo.

Cuando la capa impermeable presenta ondulaciones, como es frecuente, las aguas subterráneas se acumulan en las depresiones del terreno impermeable, que corresponden aproximadamente a las depresiones superficiales; en este punto deberán practicarse los pozos.

Terrenos de aluvión y descompuestos.—Las aguas subterráneas de estos terrenos están muy cerca del suelo. Para obtener en ellos un gran caudal de agua, se abren los pozos en los sitios en que la corriente de agua subterránea tiene mayor velocidad. Para averiguarlo suelen emplearse dos métodos: el de Thien, que consiste en abrir dos taldros o pequeños pozos y tirar sal marina en el pozo más alto, determinando el tiempo que demora el agua salada en aparecer en el pozo más bajo. El otro método, que es más práctico, es de Schuchter, y consiste en practicar dos pozos en uno de los cuales se vierte cloruro de amonio, electrolizando el suelo por una corriente eléctrica; la aguja de un galvanómetro permite averiguar la llegada de la solución al otro pozo, por disminuir notablemente en este momento la resistencia del circuito eléctrico así formado.

Terrenos muy permeables y homogéneos.—Si éstos descansan sobre una capa arcillosa, bastará hacer suficientemente profundo el pozo para encontrar la capa de agua. De un modo general, convendrá seguir las mismas reglas indicadas para los terrenos poco permeables. El empleo de la dinamita parece ser ventajoso pues la violencia de este explosivo origina grietas y fisuras que favorecen la filtración.

Terrenos muy permeables y heterogéneos.—Es frecuente que en estos terrenos haya dos circulaciones de aguas superpuestas; por ser generalmente muy profunda la capa inferior, presenta más interés el alumbramiento de la capa superior.

C—Manera de calcular la cantidad de agua subterránea.—El mejor método para calcular la capacidad de una fuente subterránea es hacer ensayos de bombeo durante un tiempo suficientemente largo para alcanzar un equilibrio aproximado entre la entrega y la demanda. Rara vez será práctico continuar tales ensayos hasta alcanzar el equilibrio perfecto, pues en la mayoría de los casos sería

esto labor de varios años. Por otra parte, los ensayos de corta duración generalmente dan resultados falsos o al menos engañosos.

α—Velocidad del flujo.—La velocidad del flujo de una corriente subterránea es función de la pendiente o gradiente hidráulica y de la resistencia que ofrecen las partículas del suelo.

La pendiente puede determinarse fácilmente haciendo sondeos hasta el nivel de las aguas subterráneas, teniendo cuidado de medirla en la dirección de máximo declive. Si sobre el estrato permeable se encuentra otro más o menos impermeable, el agua correrá en el inferior bajo una presión superior a la atmosférica. La pendiente se encontrará determinando la altura a que sube el agua en los tubos colocados en el estrato poroso. Deben sacarse muestras del material e investigar su tamaño y porosidad. La porosidad está influenciada no sólo por el tamaño de los granos sino también por el grado de compactación de la formación; es por esto por lo que ella sólo puede calcularse aproximadamente. El tamaño de los granos se determina por medio de tamices.

Habiendo encontrado estos elementos, nos resta expresar la relación entre ellos y la velocidad del flujo.

Los experimentos de Darcy, Hagen y Hazen, han demostrado que la rata a la cual un agua fluye a través de arena o grava fina sigue aproximadamente las leyes que rigen para el flujo en tubos capilares, es decir, la velocidad es aproximadamente proporcional a h/l , siendo h la carga hidrostática y l la distancia que el agua recorre.

Para diferentes clases de materiales la velocidad depende del tamaño de los poros, siendo ésta una función del tamaño de los granos y del grado de compactación. Para una arena de tamaño uniforme y un grado dado de compactación, se encuentra que la velocidad del flujo es aproximadamente proporcional al cuadrado del diámetro de los granos; expresando el grado de compactación en término de porcentaje de poros, se encuentra que para materiales de igual tamaño la velocidad del flujo es aproximadamente proporcional al cuadrado de la relación de porosidad. El volumen del flujo, que viene a ser igual a

la velocidad multiplicada por el área de la sección neta será entonces proporcional al cubo de la porosidad.

La enorme variedad en tamaño y porosidad de las arenas y gravas hace bastante difícil la aplicación de fórmulas matemáticas y resultados experimentales a las condiciones de trabajo.

Sin embargo, los resultados obtenidos por Hazen en filtros de arena son de bastante importancia en esta materia. La formación por él obtenida y que se aplica a arena de un tamaño efectivo de 0.1-3.0 mts. es:

$$v = cd^3 \frac{h}{l} \left(\frac{t + 10^\circ}{60^\circ} \right), \text{ siendo}$$

v, la velocidad en metros por día de una columna sólida de la misma sección que la de la arena.

c, una constante que varía entre 400 y 1.000.

d, el tamaño efectivo de los granos de arena en mmts.

h, la carga hidrostática que causa el movimiento.

l, el espesor de la capa de arena.

t, la temperatura en grados Fahrenheit.

El valor de la consonante c varía con la compactación y uniformidad de la arena. La velocidad del flujo a través de los poros se encontrará dividiendo la ecuación anterior por la relación de porosidad p. Despreciando las correcciones de temperatura la velocidad en pies por día será:

$$v = 3.3 \times \frac{cd^3}{p} \times s = K s, \text{ donde}$$

v, velocidad promedio a través de los poros de la arena en pies por día.

d, tamaño efectivo de la arena en mmts.

p, relación de porosidad.

s, gradiente hidráulica.

$$K = 3.3 \times \frac{cd^3}{p} = \text{velocidad para la pendiente unitaria.}$$

La porosidad p varía entre 40% para arena más o menos uniforme y 30% o menos para arena más compacta o

de un grado de uniformidad menor. El término c/p , que representa la influencia de la porosidad sobre la velocidad, se puede calcular en $1000/0.40 = 2500$ para $p = 40$ y $400/0.30 = 1330$ para $p = 30$. Estos resultados concuerdan con los experimentos de Slichter que establece que la velocidad del flujo es aproximadamente proporcional al cuadrado de la relación de porosidad. Partiendo de esta base y asumiendo $c = 1000$ para $p = 40$ calcularemos los valores de K .

Valores de K o velocidad del flujo en pies por día para $S=1$

Porosidad	Muy				Muy				
	Fina	Fina	Media	Gruesa	Gruesa	G R A V A F I N A			
%	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	1.00	2.00	3.00
25	0.5	3.6	5	8	13	33	50	200	470
30	0.9	3.8	9	15	24	60	100	380	860
35	1.6	6.1	14	25	39	100	160	610	1400
40	2.4	9.8	22	39	61	160	250	980	2200

Lembke calculó los siguientes valores para K , basado en los experimentos de Darcy, Kröber y otros:

Material	K en pies or día
Arena y grava	9400
Arena gruesa	2800
Arena media	760
Arena fina	150

Slichter dio los siguientes valores de K para una porosidad de 32% y una temperatura de 50°:

Material	Tamaño efectivo	K en pies	Por día
Arena fina	0.10-0.20	16 "	65
Arena media	0.25-0.45	100 "	330
Arena gruesa	0.50-0.95	400 "	1550
Grava fina	1.00-5.00	1600 "	40000

No debe esperarse mucha exactitud de los cálculos hechos por los procesos antes descritos; ellos sirven como una guía general para estudios más precisos e indican límites razonables de estos valores.

b—Cantidad de agua.—Habiendo determinado la velocidad del flujo, la porosidad del material y la sección transversal del estrato poroso, en ángulo recto a la dirección del flujo, la rata total será el producto de estos tres factores:

$$Q = \text{velocidad} \times (\text{área de la sección} \times \text{porosidad}) = v \times A_p = KsA_p, \text{ las unidades empleadas son el pie y el día.}$$

Las irregularidades de la sección, pendiente y materiales afectarán más o menos los resultados; los cálculos hechos en esta forma no tendrán un valor considerable en el estudio de las fuentes de agua subterráneas pero sí servirán para modificar las ideas erróneas que sobre su capacidad se tienen con frecuencia.

En la tabla que a continuación insertamos se dan las ratas de flujo, en galones por día y por pie cuadrado de sección, para arenas de diferentes grados de menudez y porosidad, y para una pendiente de 1%. Para otras pendientes, multiplíquese el número de la tabla por la pendiente expresada en decimales.

Porosidad	Muy			Muy		G R A V A	F I N A		
	Fina	Fina	Media	Gruesa	Gruesa				
%	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	1.00	2.00	3.00
35	61	240	550	970	1500	3900	6000	24000	55000
25	28	110	250	450	700	1800	2800	11000	25000
10	82	330	710	1300	2000	5300	8000	33000	75000
50	42	170	380	680	1100	2700	4300	17000	38000

2—Estanques de almacenamiento

Estos recipientes se usan para regular el flujo del agua de tal manera que se acomode a las necesidades, evitando el gasto excesivo cuando el abastecimiento excede a la demanda y conservándola, para ser usada, cuando ocurra lo contrario.

El almacenamiento de agua para las necesidades del riego requiere condiciones topográficas especiales para ser financieramente posible. Tales condiciones deben hacer posible el almacenamiento de grandes cantidades de agua de tal manera que las estructuras necesarias sean de di-

menciones y costo moderado, comparadas con la cantidad de agua almacenada. Con respecto a las particularidades topográficas, los sitios que se acomodan a este fin se pueden dividir en cuatro clases:

1—Lagunas naturales;

2—Aquellos que están localizados en líneas de drenaje natural;

3—Depresiones naturales;

4—Estanques artificiales.

Las lagunas naturales son importantes reguladores del agua de drenaje que reciben. Controlando la salida, por medio de represas y compuertas reguladoras, puede aprovecharse gran parte de las existencias, a muy bajo precio.

Los sitios más comunes para el almacenamiento de agua son los comprendidos en el N° 2, pero requieren mucho cuidado para la descarga de las crecidas y en general son muy costosos en proporción a su capacidad.

Las depresiones naturales o lagos secos, provienen del hundimiento de cavernas subterráneas formadas por la acción erosiva de las aguas subterráneas. Estas depresiones son inapropiadas para el almacenamiento a causa del fácil escape que pueden encontrar las aguas por las grietas que se encuentran en sus vecindades.

Los estanques artificiales exigen trabajos especiales de excavación; en general son excesivamente costosos y sólo se recomienda su construcción en caso de que el agua tenga un costo elevado.

Elección del sitio.—Las principales circunstancias que afectan la posibilidad y valor de un sitio para almacenamiento son:

1—Su relación con los regadíos;

2—Su relación con el abastecimiento;

3—Su topografía;

4—Su geología.

Debe hacerse un examen cuidadoso de la región donde se desea localizar el almacenamiento a fin de descubrir todos los sitios posibles y poder escoger el que ofrezca condiciones más ventajosas.

El estanque debe estar situado lo bastante alto para poder distribuir el agua por gravedad y tan cerca de los

regadíes que las pérdidas por transporte sean mínimas. Además, debe ser tal el sitio que intercepte una cantidad suficiente de agua o que se la pueda conducir a él.

Geología del sitio.—Habiendo estudiado la topografía e hidrografía del lugar, debe estudiarse cuidadosamente su geología, a fin de conocer el carácter y profundidad de los estratos inferiores. La conformación geológica debe ser tal que contribuya a la eficiencia del almacenamiento. Los lugares situados en valles inclinados son generalmente favorables. Como en éstos los estratos se inclinan de las colinas al fondo del valle, el agua que cae en aquéllas, irá, por percolación, al estanque.

En las formaciones de cal y yeso es corriente encontrar cavernas que fácilmente pueden derrumbarse; es por esto por lo que debe estudiarse cuidadosamente la geología de estas formaciones antes de construir un estanque sobre ellas.

Pérdidas en los estanques.—En relación con este tópico, mencionaremos algunos estanques que han tenido que ser abandonados por lo alto de las pérdidas.

Estanque de Tumalo.—Fue construído por el Estado de Oregón. Durante la discusión del proyecto, un grupo de ingenieros recomendó se construyera parcialmente y se hicieran ensayos sobre su impermeabilidad; este consejo no fue seguido y la represa se construyó de la altura proyectada. Terminada la obra, se llenó el estanque hasta que el agua alcanzó una altura de 20 pies sobre el orificio de salida. En estas circunstancias se abrió un hueco en el fondo que descargaba 200 pies cúbicos por segundo y que rápidamente vació el estanque. Este hueco fue taponado y vuelto a llenar el receptáculo, pero las nuevas grietas que se abrieron no permitieron que el agua volviera a alcanzar la altura inicial. Las pérdidas subieron tanto que le quitaron todo valor al estanque como lugar de almacenamiento.

Estanque Hondo.—Cerca de Roswell, Nuevo Méjico, se construyó este estanque aprovechando una depresión natural. La depresión se aumentó por la unión de las colinas circundantes por medio de diques. El agua se suministró por medio de un canal de alimentación. Las fugas se presentaron inmediatamente que estuvo lleno el estanque y

umentaron rápidamente debido al ensanchamiento de los huecos y grietas que se abrieron en el fondo. Muchos esfuerzos se hicieron para restringir las pérdidas, pero todos fracasaron y el estanque tuvo que ser abandonado.

La roca de la región era principalmente yeso, que como anteriormente se dijo es inapropiada para este fin ya que en estas formaciones se encuentran muchas cavernas. Es seguro que la depresión que se escogió para el almacenamiento se formó debido al hundimiento de alguna caverna.

Las siguientes recomendaciones generales pueden ser de alguna utilidad para la escogencia del lugar apropiado:

1—Evítense los lugares cercanos a las formaciones de yeso y cal.

2—Las formaciones volcánicas deben estudiarse cuidadosamente pues en ellas es corriente encontrar grietas o cavidades.

3—Las areniscas de grano grueso ofrecen algún peligro.

4—Las depresiones naturales no son recomendables y deben evitarse si se encuentran en las cercanías de rocas cavernosas o si reposan sobre material grueso que ofrece salida fácil al agua.

Sedimentación en los estanques.—Sabemos que todas las corrientes naturales erodan sus canales, y llevan más o menos limo en suspensión. Cuando se concluye una represa a través de una corriente, la sedimentación de los limos, debida al estancamiento del agua, puede llegar a disminuir grandemente la capacidad del estanque si no se remueve.

El problema relativo a la sedimentación en los estanques construídos sobre corrientes portadoras de limo ha sido cuidadosamente estudiado, y se han expuesto muchas teorías sobre su solución, pero ninguna de ellas ha sido confirmada por la práctica.

Se han hecho muchos esfuerzos para determinar el factor exacto que exprese la relación entre el peso de un limo seco obtenido por observación, y el volumen del mismo limo como se deposita en el fondo de los estanques.

La tabla siguiente muestra el resultado de cuatro ensayos:

Observador	Peso de 1 P. C. Limo húmedo. Lbs.	Limo seco Peso. Lbs.	Densidad
Follet		53.0	
Coghlan	104.7	92.3	2.64
Hughes	89.5	76.1	2.55
Lawson		86.0	2.60
Promedio		77.0	

Las variaciones se deben en parte al diferente carácter y peso de los limos ensayados. Por esto el promedio (77 lbs./ pie cúbico) sólo debe tomarse como un valor aproximado.

El Gobierno de los EE. UU. ha hecho observaciones sistemáticas del limo que lleva el Río Grande, desde 1897 hasta 1912; W. W. Follet estudió cuidadosamente las diversas observaciones y los resultados por él obtenidos aparecen compendiados en la siguiente tabla:

Año	Agua/acres - pies	Limo - %	Limo - acres - pies
1897	2.215.953	1.72	38051
1898	960.981	1.55	14858
1899	239.434	2.14	5127
1900	467.703	2.02	9459
01	656.252	2.82	18503
02	200.729	3.05	6123
03	1.272.069	0.97	12319
04	709.796	2.37	16838
05	2.422.008	0.78	18875
06	1.563.737	0.89	13901
07	2.157.709	1.11	23889
08	774.109	2.00	15469
09	1.279.934	1.51	19318
10	852.692	0.76	6520
11	1.799.733	4.14	74563
12	1.499.614	1.47	22018
	19.072.453		315832
Promedio	1.192.028	1.66	19739

Las observaciones se hicieron de la siguiente manera: Se tomaron muestras del agua turbia del río, se removió el limo por sedimentación y filtración, se le secó a 60° C y luego se le pesó. Los porcentajes son por volumen y se les calculó tomando como base que un pie cúbico de limo en el estanque pesa, después de secado, 53 lbs.

Después de considerar los resultados de los experimentos efectuados en India y América, Elcheverry concluye así:

1—Un pie cúbico de limo saturado sedimentado en un tubo por un año, contiene alrededor de 30 lbs. de limo seco. El porcentaje por volumen, de lodo saturado, es igual al porcentaje por peso multiplicado por 2.1.

2—Un pie cúbico de limo húmedo, como se deposita bajo condiciones naturales, el % por volumen de lodo húmedo es igual al % por peso multiplicado por 1.2.

3—Un pie cúbico de lodo seco pesa alrededor de 90 lbs.

Remoción del limo depositado.—La represa Assuan, en Egipto, forma sobre el Nilo un estanque de gran capacidad y considerable volumen de limo. La gran capacidad del estanque se debe principalmente a la suave pendiente del río, pues debido a ésta la represa logra represar las aguas unas 40 millas aguas arriba, formando así un estanque largo pero angosto. La represa está provista de 180 compuertas que permanecen abiertas mientras dura la crecida anual, permitiendo así que la corriente torrencial arrastre su limo a través del estanque y al mismo tiempo saque parte del que se depositó el año anterior.

Este método de remoción parece ser efectivo pues sostiene la capacidad de almacenamiento para las necesidades actuales del riego, pero él exige el gasto de la mayor parte del agua en años normales y su eficiencia depende mucho de las circunstancias locales (estanque angosto) pues bajo estas condiciones una corriente rápida es muy efectiva para sacar el sedimento depositado. Por otra parte, las variaciones del Nilo son tan regulares que permiten la adopción de un programa predeterminado, lo que es generalmente imposible en otras corrientes.

La combinación de estas condiciones es tan rara que la solución adoptada no tiene aplicación en la mayoría de

los casos, y presenta, por lo tanto, muy poco interés como solución general al problema de que nos ocupamos.

El ingeniero norteamericano W. W. Follett propuso el siguiente método para remover el limo del estanque "Elephant Butte":

En la mitad del estanque se construirá una pequeña represa de 40—50 pies de altura, formando así un pequeño estanque dentro del principal. Esta pequeña represa estará provista de una torre de esclusas; éstas darán acceso a un conducto que desembocará en el valle, pasando por la represa principal.

Cuando el estanque principal se esté llenando, el pequeño recibirá el agua del río y gran parte del limo se depositará en él antes de que el agua pase, por sus vertederos, al principal. Cuando el estanque pequeño esté poco lleno las aguas turbias se harán pasar por el conducto, arrastrarán el limo depositado en el pequeño estanque y llevarán su carga fertilizante a los regadíos. Si se necesitare agua adicional, se sacará del estanque principal.

La principal ventaja de este método estriba en que conserva las propiedades fertilizantes del agua aumentando así la fertilidad de las tierras que con ella se rieguen.

3—Corrientes de agua.—La derivación de una corriente de agua abarca esencialmente tres obras: Una "barrera", un sistema de "compuertas" y un "canal de derivación".

La barrera se dispone a través de la corriente, debajo de la presa de agua, y en el lugar donde las orillas estén más cercanas. Ella levanta las aguas y las conduce al canal de derivación.

El tipo de la barrera depende del caudal de la corriente que se quiere derivar.

En un simple arroyo la operación es sencillísima. Algunas piedras grandes y troncos de árboles bastan para establecer barreras muy resistentes. Las figuras 1 y 2 explican la disposición de una de estas barreras. Siempre conviene proteger con un zampeado de madera o piedra la parte más abajo de la barrera para evitar el desgaste en las avenidas.

Crevat describe así las obras de una presa de agua en el río Ain. Uno de los problemas más difíciles en un pro-

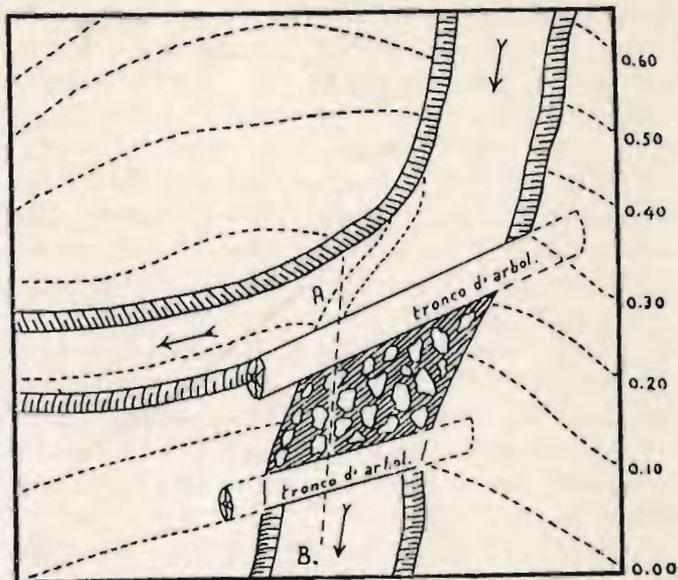


Fig. I.

Planta de la barrera rústica cuyo corte representa la fig. 2.

yecto de derivación es el establecimiento de la presa de agua, sobre todo cuando el río es ancho y torrencial y hay que prevenir la invasión del cascajo y la arena gruesa.

Cuando sea posible, conviene aprovechar un recodo del río donde disminuye la velocidad y, por consiguiente, au-

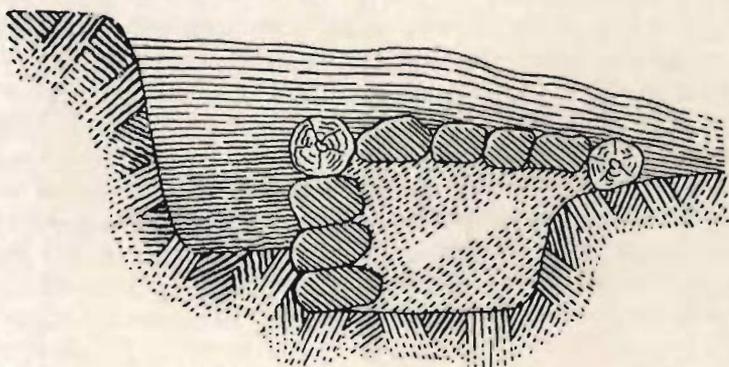
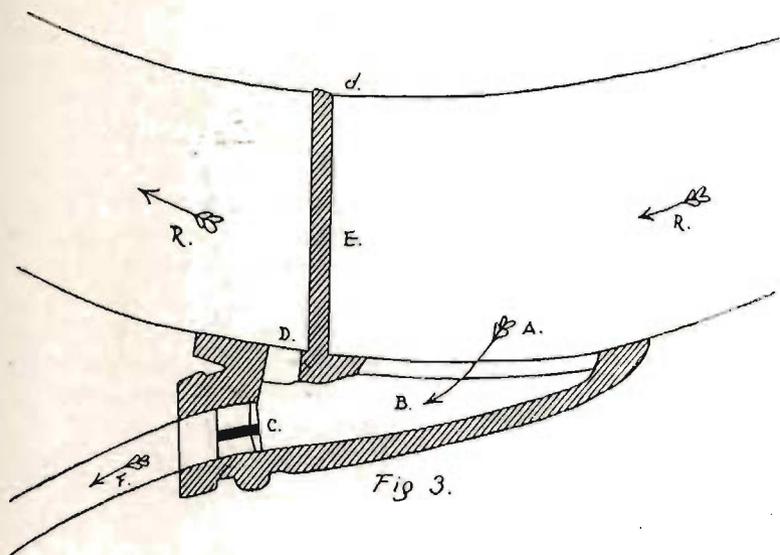


Fig. 2.

Barrera rústica en un arroyo. Corte según A. B. de la fig. 1.

menta la altura del agua. En la orilla (Fig. 3) se construye, con grandes piedras talladas, un muro de 30 mts. de longitud, cuya base, al nivel de las aguas bajas, está protegida por un enlosado de cemento de 3 mts. de ancho para facilitar el deslizamiento del cascajo, que puede ser considerable durante las crecidas.

Este muro A, por tener que servir de vertedero, es vertical por la parte del río con 0.30 mts. de altura sobre el nivel de la orilla y está sostenido exteriormente por un talud de cemento de muy alargada pendiente, que forma el



Plano de una barrera y toma de agua.

fondo de un pequeño depósito B, fácilmente vaciable, después de las crecidas, por medio de una gran compuerta.

En la parte inferior del depósito B hay que establecer un macizo de mampostería que forma la cabeza del canal F, en el que se habrán abierto dos túneles C de dos metros de anchura y un metro de altura, cuya entrada puede cerrarse con compuertas de hierro reforzadas con nervios. El agua, al pasar por estos dos túneles, desemboca en el canal de derivación F, que allí debe ser poco profundo, pero ancho (5 mts.), estrechándose en seguida progresiva-

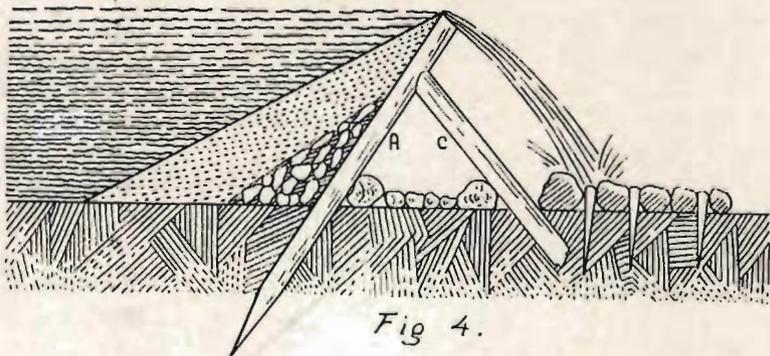


Fig 4.

Perfil de una barrera de caballetes.

mente hasta que alcance el tiro de agua y anchura normales.

En el muro de defensa A del recipiente B se coloca una compuerta inmediatamente delante de las aberturas de toma de agua y debajo de la barrera.

Transversalmente al río y en el extremo inferior del vertedero se construye un sólido zampeado de fondo E rectilíneo, algo más alto que el fondo del río y que se vrya elevando un poco hacia la derecha d: se eleva de 0.50 el nivel de la corriente y se echa nuevamente contra el vertedero A, al propio tiempo que se ancha un poco el cauce.

Charpentier de Cossigny habla de una "barrera de caballetes" que con frecuencia se ve en el sur de Francia:

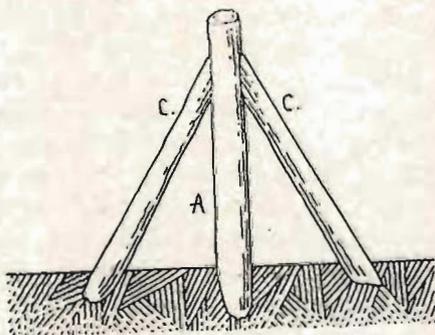


Fig. 5.

Frente de una barrera de caballetes.

Para establecerla a través del cauce del río se fijan una serie de caballetes, como lo representan las figuras 4 y 5, donde A es una estaca gruesa, inclinada, y C, C' los sostenes. Sobre estos caballetes se clava una serie de tablas sobre las cuales se echa, desde río arriba, grava. Río

abajo, se defiende al pie de la obra con peñascos sostenidos con estacas.

Las barreras importantes se construyen de piedra o de cemento, empezando por trazar el armazón de la barrera. Aprovechando la época del año en que el río lleva poca agua, se clavan a través una serie de sólidas estacas cuyos extremos superiores delinean el perfil transversal de la barrera. Estas estacas se unen entre sí y en ambos sentidos por medio de cruceros. Entre ellos se hincan tablonés. Terminada la armazón, se llenan los huecos con guijarros y piedras y luégo se rellenan los intersticios con grava y tierra. La parte superior de la barrera se recubre con un techo de carpintería o bien con losas que formen una especie de embaldosado entre los cruceros.

A fin de obtener una barrera más fuerte, se puede hacer la siguiente variación: Una vez terminada la armazón se colocan, apoyados contra los tablonés, sacos llenos de cemento que no tarda en fraguar. Estos sacos forman un muro muy resistente. Se acaba de construir la barrera llenando con cemento el interior limitado por el muro. La cara superior se resguarda de la acción del agua con un revestimiento de mortero hidráulico, para el cual se puede emplear ladrillos.

Las compuertas colocadas a la entrada del canal, completan el conjunto de las obras de derivación y sirven para llevar el agua de uno a otro canal.

Hay considerable número de modelos de compuertas, desde las mayores, que se aplican para cerrar los canales, hasta las menores para abrir y cerrar las atarjeas. En principio, una compuerta se compone de un quicio horizontal que ocupa el fondo del agua y dos montantes verticales sobre los que se desliza el ventanillo, enlazados por un dintel en el extremo superior. El quicio y los montantes pueden ser de madera o de piedra. El ventanillo es la parte móvil de la compuerta y se acciona, ya a mano, ya por medio de palanca o cremallera, según el tamaño. Las partes superior e inferior de las compuertas deben protegerse contra las socavaciones por planchas de madera o por construcción de mampostería.

En suelos flojos se draga el fondo hasta encontrar ro-

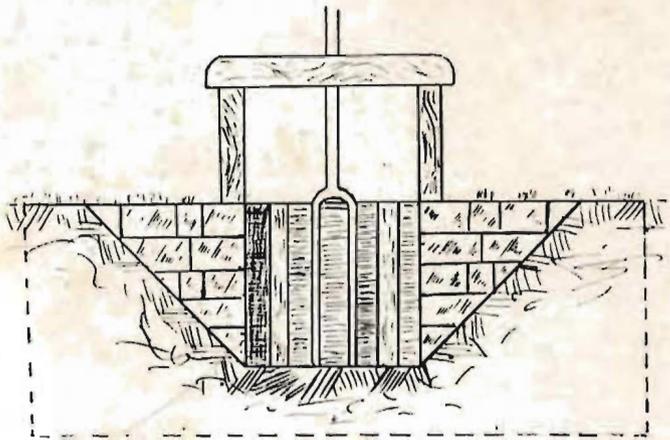


Fig 6

Alzado de una compuerta.

ca o tierra firme y luego se pone a través una hilera de estacas, sobre la cual descansa la compuerta; a cada lado de esta primera armazón se amontonan sacos de cemento.

Las figuras 6 y 7 representan un modelo de compuerta ordinaria. Las figuras 8 y 9 representan la compuerta pe-

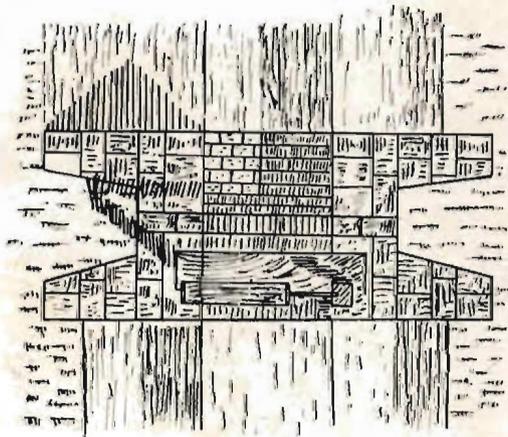


Fig 7

Planta de una compuerta.

queña de hierro, muy práctica, que se emplea para abrir y cerrar las atarjeas de riego. La figura 9 indica claramente cómo se mantiene fija esta compuerta por medio de dos grandes piedras inclinadas que pueden sustituirse por dos puntales de madera.

En cuanto al canal de derivación, también llamado de alimentación, se ceba en la corriente de agua, un poco por

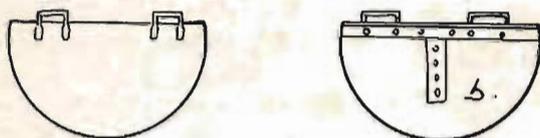


Fig 8

Pequeña compuerta para atarjeas de riego.

encima de la barreta. Abierto o cerrado por una compuerta, debe seguir en su trazado la parte superior del terreno y presentar el mayor relieve posible. Más adelante hablaremos sobre él.

Evaluación del caudal de una corriente.—El caudal de una corriente de agua es igual al producto del área de la sección bañada, por la velocidad media, por segundo, del agua.

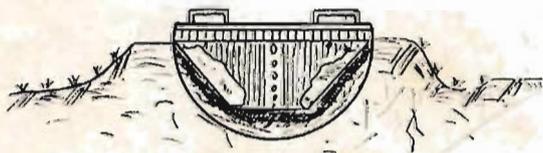


Fig 9

La compuerta de la fig. 8 colocada en la entrada de la atarjea.

Es necesario obtener el perfil de la corriente en varios lugares y promediar los resultados. Para obtener un perfil se tiende una cuerda de una a otra orilla, perpendicularmente a la dirección de la corriente y lo más cerca posible de su superficie. A distancias regulares, señaladas en la cuerda, se practican sondeos que dan la profundidad del

agua en cada una de las divisiones. Obtenido el perfil con estos datos, se sumarán los trapecios parciales para obtener el área de la sección dañada.

La velocidad media del agua se deduce de la velocidad media en la superficie: es igual al producto de ésta por el coeficiente 0.8 en los canales y ríos de dimensiones medianas, y por 0.6887 en arroyos y atarjeas. La velocidad en la superficie puede calcularse fácilmente de la siguiente manera: A unos 30—40 metros más arriba del paraje cuyo perfil se ha encontrado, se echan unos cilindros de madera gruesa o corcho y con un cronómetro se cuenta el tiempo que gastan en recorrer la distancia comprendida entre el lugar donde se echaron y otro previamente fijado, 30—40 mts. más abajo del lugar del perfil. La operación debe repetirse varias veces y promediar los resultados.

En vez de valerse del flotador para determinar la velocidad de la corriente, suelen emplearse los medidores de velocidad o corriente (Current Meter). Existen varios modelos de estos aparatos; los más usados son el de Haskell y el de Price. En el modelo Price existen dos tipos, el eléctrico y el acústico. Por ser estos aparatos suficientemente conocidos y venir acompañados de instrucciones para su uso, no nos detenemos a explicarlos.

Cuando el cauce es de sección bastante regular, es preferible usar una compuerta para medir el caudal.

Compuerta rectangular.—De sus experimentos con esta clase de compuertas, Francis dedujo la siguiente fórmula:

$$Q = 3.33 H^{3/2} (L - 0.2 H), \text{ siendo:}$$

Q = descarga en pies cúbicos por segundo,

L = longitud de la compuerta en pies,

H = altura del agua sobre la compuerta en pies.

Cuando la velocidad de aproximación tiene un valor suficientemente alto para afectar los resultados, deben hacerse las correcciones necesarias. Francis propuso la siguiente fórmula para este caso:

$$Q = 3.33 (L - 0.2 H) [(h + H)^{3/2} - h^{3/2}]$$

donde h = altura debida a la velocidad de aproximación.

Compuerta de Cippoletti.—Las fórmulas correspondientes a los dos casos mencionados para la compuerta regular, son:

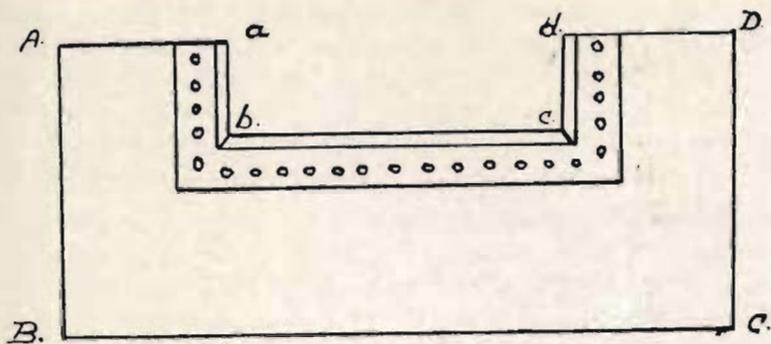


Fig. 10.

Vertedero de aforo.

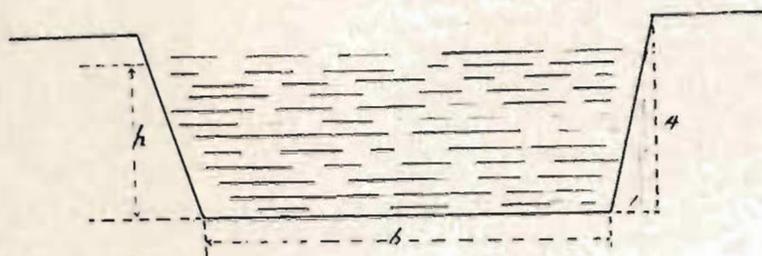


Fig. 11

Compuerta de Cipoletti.

$$Q = 3.367 L H^{3/2} y$$

$$Q = 3.367 L (H + 1.5 h)^{3/2}$$

Las figuras 10 y 11 representan la compuerta rectangular y la de Cipoletti respectivamente.

CAPITULO V

Uso de bombas para el riego

La práctica de elevar agua de un nivel inferior a otro superior para usarla en el riego es sin duda tan antigua

como el riego mismo. En China, India y otros países orientales todavía se acostumbra regar tierras más altas que los canales que conducen el agua, elevándola, con potencia humana e animal, unos pocos pies. Naturalmente que esto se puede efectuar sólo cuando la altura es moderada y el trabajo muy barato.

Molinos de viento.—La fuerza del viento se empleó primitivamente para las necesidades del riego y aún hoy se usa frecuentemente para elevar agua de pozos, para las necesidades domésticas y para el riego de jardines y pequeños huertos. Aunque la fuerza no represente gasto alguno, el bombeo por medio de molinos de viento resulta en promedio más costoso que cualquier otro método, exceptuando aquellos que usan fuerza animal. Esto se debe a la pequeña potencia desarrollada por estos aparatos, la inconstancia del viento, y la gran atención y reparación que exigen los molinos de viento. Por estas razones, el costo del bombeo, por este sistema, hace prohibitivo su empleo, excepto para cultivos intensos de pequeños terrenos, donde se esperan grandes beneficios.

Los molinos de viento se usan extensamente en el valle de San Joaquín (California) y en los grandes llanos de las Montañas Rocosas, para obtener agua para el riego. El principal inconveniente de estos molinos es su inseguridad, pues su funcionamiento depende completamente de la fuerza del viento.

A causa de esta inseguridad, los molinos nunca deben usarse para regar sin proveerse de un estanque amplio para almacenar el agua. Debe instalarse un recipiente de gran capacidad a fin de poder almacenar el agua durante los días que no se la usa para regar. Este recipiente se puede obtener usando uno de los tanques elevados que suministran los constructores de molinos de viento; o, si el molino se puede instalar en un punto alto de la hacienda, se puede excavar un estanque para el almacenamiento.

En promedio se necesita una velocidad del viento 5—6 millas por hora, para mover un molino. La tabla siguiente da la fuerza del viento para las velocidades ordinarias.

Velocidad del viento y potencia

Millas por hora	Pies por segundo	Presión Lbs./Pulg ²	Millas por hora	Pies por segundo	Presión Lbs./Pulg ²
6	7.5	0.12	30	40.0	4.4
10	14.07	0.50	35	51.3	6.0
15	22.0	1.10	40	58.8	7.9
20	29.30	2.00	45	66.0	10.0
25	36.70	3.10	50	73.3	12.3

Energía del viento al actuar sobre una superficie de 100 pies²

Velocidad del viento Millas por hora	A nivel del mar H. P.	A mil pies sobre el nivel del mar H. P.	A dos mil pies sobre el nivel del mar H. P.
5	0.0835	0.0780	0.0724
10	0.6683	0.6237	0.5792
15	2.2550	2.1050	1.9550
20	5.3470	4.9900	4.6340
25	10.4400	9.7460	9.0500
30	18.0400	16.8400	15.6400

La tabla siguiente, tomada de un trabajo de Mr. A. R. Wolff sobre molinos de viento, muestra la capacidad y economía de un molino experimental con rueda de distinto diámetro, asumiendo una velocidad promedio del viento de 10 millas por hora durante ocho diarias.

CAPACIDAD DE LOS MOLINOS DE VIENTO

Tamaño de la rueda pies	Revoluciones de la rueda	Galones de agua levantados por minuto a una altura de						H. P. desarrollados
		25'	50'	75'	100'	150'	200'	
10	60-65	19.2	9.6	6.6	4.7			0.12
12	55-60	33.9	17.9	11.8	8.5	5.7		0.21
14	50-55	45.1	22.6	15.3	11.2	7.8	4.9	0.28
16	45-50	61.6	31.6	19.5	16.1	9.8	8.0	0.41
18	40-45	97.7	52.2	32.5	24.4	17.5	12.2	0.61
20	35-40	121.9	63.7	40.8	31.2	19.3	15.9	0.78
25	30-35	212.4	107.0	71.6	40.7	37.3	26.7	1.34

Al diseñar un molino de viento para bombear agua, deben considerarse dos cosas: El momento de torsión y la velocidad de la rueda en relación con la de la bomba. La primera debe ser lo más grande posible a fin de que el molino arranque con un viento suave, la segunda no debe ser muy alta para las bombas en un molino pequeño ni demasiado baja para uno grande. De lo anterior deducimos que el tamaño de un molino es un elemento importante en el arreglo de sus aspas.

El ángulo entre cualquier porción de una aspa y el plano de la rueda se denomina "ángulo del viento"; para obtener el mayor momento de torsión al arranque, este ángulo debe ser el complemento de los mejores ángulos de incidencia, o entre 70°—55°. Se ha encontrado en la práctica que el ángulo del viento no alcanza estos valores siendo muy recomendable usar 43°. La tabla siguiente da los resultados de los experimentos de J. A. Griffith con cinco clases de molinos norteamericanos:

CAPACIDAD Y EFICIENCIA

	STOVER
Diámetro exterior de la rueda, pies	11.5
" inferior " " " "	4.5
Area bruta de la rueda, pies cuadrados	104.0
Angulo del viento en la extremidad exterior de las aspas	43°
Diámetro y carrera de la bomba, pulgadas	3 × 4
Altura promedio del agua durante el ensayo, pies ..	29.2

A máxima eficiencia:

Velocidad del viento, millas por hora	5.8
Velocidad del molino, revoluciones por minuto	13.0
H. P.	0.011
H. P. por 100 pies cuadrados de área bruta	0.011
Eficiencia neta máxima, tanto por ciento	8.7

	Perkins	Althouse	Althouse	Carlyle
	1.0	525.0	540.0	270.0
	0.080	0.051	0.115	0.057
	0.83	0.102	0.180	0.046
	1.11	0.71	1.59	0.78
				0.72

Máquinas de combustión interna.—Las máquinas modernas de combustión interna de gas y vapor, no sólo consumen poco combustible sino que son adaptables a unidades pequeñas; además, requieren poca vigilancia para un buen manejo y las reparaciones se efectúan fácilmente. Estas ventajas importantes han hecho generalizar el uso de esta clase de máquinas.

Máquinas de vapor.—Algunas de las más grandes plantas de bombas para riego usan el vapor como fuerza motriz. En las islas Hawai se emplean grandes bombas movidas por vapor para elevar agua a 550 pies y regar caña de azúcar. Grandes plantas a vapor se emplean para elevar grandes cantidades de agua a pequeñas alturas, y regar las plantaciones de arroz en Louisiana (EE. UU.) Las grandes plantas usan la máquina recíproca y la bomba directamente conectada. En algunos casos se puede obtener mayor eficiencia usando turbinas de vapor, las que por su alta velocidad se prestan para mover generadores eléctricos, los cuales a su vez pueden suplir corriente a bombas instaladas en distintos puntos. Este método de distribución es especialmente ventajoso cuando el agua se obtiene de muchos pozos. El costo de esta clase de plantas está generalmente fuera del alcance individual y por esto la mayoría de ellas son manejadas por grandes compañías o por las municipalidades.

Bombas.—La bomba centrífuga es la más usada para regar.

La bomba centrífuga eleva el agua por medio de un disco provisto de cuchillas curvas que giran rápidamente dentro de una cámara, que se ajusta lo más posible dejando el juego necesario para el movimiento rápido. Las cuchillas fuerzan el agua a través del tubo de salida. Algunas veces se sumergen dentro del agua que va a bombearse

o se colocan unos pocos pies encima del nivel del agua, en cuyo caso se necesita cebarlas.

La bomba centrífuga es la más recomendable cuando se trata de elevar grandes cantidades de agua a pequeñas alturas. Sus principales ventajas son: sencillez, seguridad, bajo costo y poca probabilidad de daño por ceno, etc. Cuando han sido bien diseñadas, alcanzan eficiencias de más de 80% para alturas de 30-60 pies. Las pérdidas a la entrada del tubo de succión y a la salida del de descarga, se disminuyen grandemente ensanchándolos progresivamente al salir de la bomba.

El profesor W. B. Gregory da la siguiente tabla para ilustrar la ventaja que se obtiene al ensanchar los tubos de succión y descarga:

BOMBA CENTRIFUGA — ALTURA DE ELEVACION 5 PIES

Forma del tubo	Pérdida de altura a la entrada	Pérdida de altura a la salida	Pda. por fricción usando tubo recto	Altura total	Beneficio pie %
Recto - diámetro 2'	1.44	1.55	0.24	8.23	
Ensanchado a 2½'	0.59	0.63	0.24	6.46	1.77 21.5
" a 3'	0.28	0.31	0.24	5.83	2.40 29.1
" a 4'	0.09	0.10	0.24	5.43	2.80 34.0

Ariete hidráulico.—Esta máquina usa un gran volumen de agua que cae de una pequeña altura para elevar una cantidad menor de agua a una altura mayor.

En este aparato un tubo A conduce el agua a la caja de la válvula B; el tubo está en comunicación con la cámara de aire C de la cual arranca el tubo de descarga D. La válvula B se abre hacia abajo y se hace de un peso tal que permanezca abierta cuando el agua circule a velocidad moderada, pero se cierre rápidamente cuando la velocidad del agua alcance un valor determinado. Cuando la válvula se cierra, el agua se detiene súbitamente, produciendo un golpe de ariete que abre la válvula de la cámara de aire, comprimiendo éste y haciendo pasar una parte de él al tubo de descarga. Cuando se iguala la pre-

sión, la válvula de la cámara de aire se cierra, pero el flujo en el tubo D continúa durante un período corto a causa de la expansión del aire comprimido en la cámara C. Como el aire de esta cámara es absorbido gradualmente y expulsado por el agua, debe proveerse para su renuevo pues de otra manera la eficiencia del ariete disminuiría. Cuando el agua en el tubo A está detenida, la válvula B cae, el agua empieza a moverse y el proceso se repite.

El flujo de un ariete hidráulico es pues una serie de pulsaciones y a cada impulso debe vencerse la inercia de la columna de agua que se encuentra en el tubo D. Si dos arietes se conectan en el mismo tubo de descarga pero de tal manera que sus pulsaciones no coincidan, la descarga será más continua y se economizará energía; estas ventajas se obtienen en mayor escala al aumentar el número de arietes conectados. Véase fig. 12.

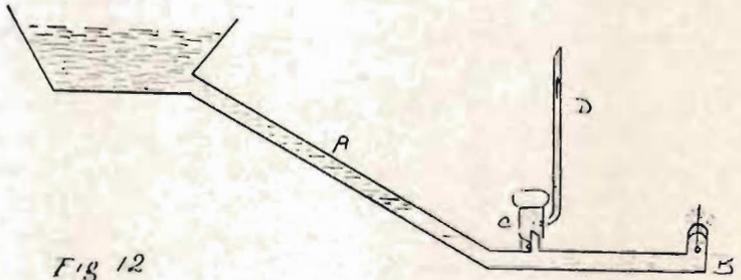


Fig 12

Ilustración del principio del ariete hidráulico.

CAPITULO VI

Canales y atarjeas de riego

Cualquiera que sea el método de riego que se haya escogido, su práctica requiere cierto número de canales y atarjeas. Vamos a definir estos canales y atarjeas y a indicar las principales consideraciones que rigen su construcción.

Todo riego supone una presa de agua en un canal, río, etc. Esta agua, por medio de un "canal de derivación" se

lleva a los regadíos. De cualquier forma que sea, en él o en sus ramificaciones nacen y se alimentan zanjas de menores dimensiones llamadas "atarjeas de distribución", las cuales llevan el agua a las "atarjeas de riego".

Como todo riego debe ir acompañado de una desecación del suelo, es necesario construir "atarjeas de desagüe" que lleven el agua usada a los "canales de evacuación". En ciertos casos las atarjeas de riego, una vez vacías, sirven para el desagüe.

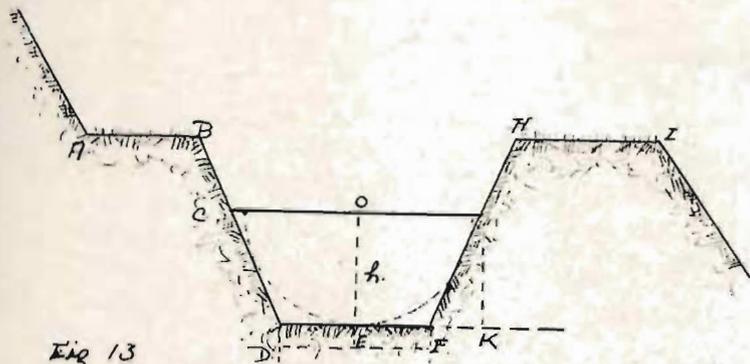


Fig 13 Sección de un canal de riego o de drenaje.

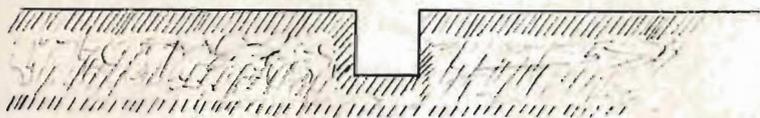


Fig 14

Sección de una atarjea de riego.

Sección de los canales y de las atarjeas.—Los canales de alimentación, de distribución y de evacuación tienen sección trapezoidal (Fig. 13). Las atarjeas de riego y de desagüe son rectangulares (Fig. 14). Sólo miden 5-15 cms. de profundidad.

Un canal de riego se compone de las siguientes partes (ver fig. 13):

El fondo D F sobre el cual fluye el agua;

- La altura $O E = h$ del agua;
- Las banquetas $A B, H I$ que sostienen el agua por cada lado;
- Los taludes, formados por las caras laterales $B D, F H$;
- El perímetro mojado, P , o la longitud $C D + D F + F G$;
- La sección útil S del canal es la superficie que tiene por base $G C$ y $D F$ y por altura $O E$;
- El radio medio R es igual a S/P ;
- La pendiente de los taludes, m , se determina por la relación $G K/F K$.

Pendiente de los taludes de los canales y de las atarjeas principales.—Las pendientes de los taludes dependen de la naturaleza del terreno. Hasta 15 cms. de profundidad son verticales. Pasando de esta profundidad y para atarjeas abiertas en desfonde, se dan las siguientes pendientes:

Roca	$m = 1/0$
Arcilla pura	$m = 1/0.33 = 3.03$
Tierra arcillosa	$m = 1/0.5 = 2.00$
Tierra arenosa	$m = 1/1.5 = 0.66$

Para los taludes de fosos construídos en terraplén:

Arcilla pura	$m' = 1/0.5 = 2.00$
Tierra arcillosa	$m' = 1/0.75 = 1.33$
Tierra arenosa	$m' = 1/2.25 = 0.44$

Para el mismo terreno, si m es la inclinación del talud en desfonde, la inclinación m' del talud de terraplén es igual a

$$\frac{1}{\frac{1}{m} + \frac{1}{2m}} = 2/3 m.$$

Pendiente de los canales.—Cuanto más fuerte es la pendiente, más se puede reducir la sección de un canal para la misma descarga. Conviene pues construirlos con la mayor pendiente a fin de disminuir los trabajos de excavación. Por otra parte, hay que considerar que una pendiente fuer-

le disminuye, por la reducción de sección, la superficie de contacto y por consiguiente la filtración. Además, la velocidad del agua no debe pasar de determinados valores, según el terreno, pues produciría erosiones en las paredes.

Velocidades de las que no conviene exceder en los diferentes terrenos:

	Velocidad límite por segundo	Pendiente por kmt.
Arcillas blandas	0.152 mts.	0.045 mts.
Arenas	0.305 "	0.136 "
Gravas	0.609 "	0.433 "
Guijarros	0.914 "	0.570 "
Piedras en grandes fragmentos	1.220 "	1.509 "
Guijarros aglomerados	1.520 "	2.115 "
Rocas blandas	1.830 "	2.786 "
Rocas duras	3.050 "	7.342 "

También existe un límite inferior de velocidad que no se debe traspasar, pues se forman depósitos que destruyen los cauces.

Los depósitos principian a formarse por debajo de una velocidad media de:

0.25 mts. por segundo en corrientes de agua fangosa.

0.30 " " " " " " " " cargada de arena fina.

0.50 mts. por segundo en corrientes de agua cargada de arena gruesa.

Por consiguiente, la velocidad no bajará de 0.50—0.80 mts. en el canal principal, a fin de que no se deposite la arena gruesa.

No deberá ser inferior a 0.25—0.40 mts. en los canales de distribución para que en ellos se deposite la arena gruesa, que si llegara a las atarjeas de riego podría ser perjudicial. Como estos canales no se usan continuamente, será fácil quitar los depósitos así formados.

Canal de conducción.—La pendiente de éste depende

del nivel de la presa de agua y de la altura de la parte más alta que deba regarse.

Generalmente su pendiente varía de 0.0007-0.0014 mts. por mt. La velocidad no excede de 0.80 mts. por segundo. La sección es trapezoidal y debe ir disminuyendo a medida que el canal avanza, como que tiene que servir a menor extensión.

Este canal debe estar dispuesto de tal forma, que en su punto de unión con el río quede su nivel más bajo que el quicio de la presa, a fin de poder instalar un aparato de afor. Siempre debe estar provisto de una compuerta de modo que sea fácil impedir o regular la entrada del agua, para poder efectuar reparaciones o prevenir una crecida de la corriente alimentadora.

A fin de evitar la erosión, conviene tapizar con césped las paredes laterales y el fondo.

Atarjeas de distribución.—Derívanse del canal de conducción y llevan el agua a las atarjeas de riego. Son casi horizontales, con pendientes de 0.001-0.015 mts. por mt. La velocidad del agua no debe ser inferior a 0.25-0.40 mts.

Se ponen en comunicación con las atarjeas de riego por medio de un tubo de alfarería o de una caja rectangular de madera. Esta abertura debe poderse cerrar con una compuerta.

Atarjeas de riego.—En general deben ser tan poco profundas como sea posible. Con frecuencia se les da un perfil rectangular. En la unión con las atarjeas de distribución pueden tener de 30—35 cms. de ancho para luego ir disminuyendo.

El fondo es generalmente horizontal, y sus bordes están ligeramente inclinados según la dirección de la corriente y se aproximan a medida que se alejan de las atarjeas de distribución.

Atarjeas de desagüe.—Las atarjeas de desagüe recogen las aguas después de regar y las llevan a los canales de evacuación. Son doblemente útiles pues secan el suelo y permiten volver a usar las aguas para el riego de nuevas extensiones.

Los bordes están cortados verticalmente. Su anchura, ordinariamente, es de 0.15—0.30 mts.

Canales de evacuación.—El canal de evacuación recibe el agua de los desagües y la conduce al río o a regar otras tierras. Debe ocupar la parte más baja del terreno. Debe tener una sección suficiente para el agua que recibe. Tiene forma trapezoidal. Sus paredes deben protegerse contra el desgaste por medio de césped.

Cálculo de las dimensiones de los canales y de las atarjeas principales.—Hemos dicho que la sección de los canales y atarjeas principales es trapezoidal. La sección de las secundarias es triangular o rectangular. Generalmente no se calculan. Es necesario determinar, lo más exactamente posible, las dimensiones de los canales y atarjeas principales. Las fórmulas empleadas dan resultados aproximados que la experiencia modifica. A continuación damos las fórmulas de Darcy perfeccionadas por M. Bazin.

Consideremos la sección representada en la fig. 13 y llamemos:

$l = DF =$ longitud del fondo

$h = OE =$ la altura

$S =$ área de la sección

$U =$ velocidad media del agua = velocidad media en la superficie $\times 0.80$.

$Q =$ descarga

$I =$ la pendiente

$P =$ perímetro mojado

$R =$ radio medio

Estas cantidades están relacionadas de la siguiente manera:

$$(1) R I = b U^2 \quad \text{ó} \quad U = C \sqrt{R I} (2)$$

$$(3) Q = S U \quad \text{ó} \quad Q = S C \sqrt{R I} (4)$$

$C = 1/\sqrt{b}$ es un coeficiente que depende de la rugosidad de las paredes del canal. M. Bazin ha expresado su valor así:

$$C = 1/\sqrt{b} = \frac{1}{1 + \frac{\delta}{\sqrt{R}}};$$

δ tiene los siguientes valores:

Paredes muy lisas (cemento, madera lisa)	$\delta = 0.06$
Paredes lisas (tabla, ladrillo)	$\delta = 0.16$
" poco lisas de mampostería	$\delta = 0.46$
" de naturaleza mixta	$\delta = 0.85$
Canales de tierra, en condiciones ordinarias	$\delta = 1.30$
Canales de tierra, con resistencia excepcional	$\delta = 1.75$

Más adelante daremos los valores del coeficiente C en función del radio R y los valores del coeficiente b de la fórmula (1) correspondientes a los valores del coeficiente $C = 1/\sqrt{b}$

Ganguillet y Kutter adoptan también la fórmula

$U = C \sqrt{RI}$ pero dándole a C el siguiente valor:

$$C = \frac{0.00155 + \frac{1}{n}}{23 + \frac{1}{I} + \frac{1}{n}}$$

$$C = \frac{1}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

El número n varía con la naturaleza de las paredes y tiene los siguientes valores:

	n	1/n
Paredes muy uniformes, cemento, madera cepillada	0.010	100
Paredes finas , piedra tallada, ladrillos	0.013	77
Paredes poco uniformes	0.017	58
Paredes rugosas, piedras en bruto	0.020	50
Paredes de tierra	0.025	40
Paredes de grava	0.030	33
Paredes irregulares de grava y mal cuidadas	0.035	29
Paredes muy irregulares	0.040	25

Las dimensiones de los canales deben llenar otras condiciones que determinan las fórmulas anteriores:

En primer lugar, la tangente trigonométrica m queda determinada por la naturaleza del terreno. Luego, si circunstancias especiales no exigen la adopción de una profundidad, conviene dadas l y m , dar a la sección la forma que corresponda a la "máxima descarga por unidad de área de ella". Esta será evidentemente la sección más económica. De la fórmula (3) $Q = S U$ deducimos que para una superficie dada S la descarga Q es máxima con U . Por consiguiente, para una pendiente dada y teniendo en cuenta la fórmula (2) $U = C \sqrt{R I}$ con R o también, puesto que $R = S/P$, cuando P es mínimo.

De la fig. 14 deducimos que:

$$(5) S = h (l + h/m)$$

$$(6) P = l + 2 h/m \sqrt{1 + m^2}$$

$$(6) P = l + 2 h/m \sqrt{1 + m^2}$$

$$(7) R = \frac{S}{P} = \frac{h (l + h/m)}{l + 2 h/m \sqrt{1 + m^2}}$$

y por cálculo deducimos que P es mínimo cuando

$$(8) \frac{h}{l} = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{2 m}$$

En este caso, los lados $B D$, $H F$, $D F$, son tangentes a la circunferencia descrita desde O como centro y con h como radio.

Si sustituimos en (7) l por su valor sacado de (8), obtendremos:

$$(9) R = \frac{h \left(\frac{2 m h}{1 + \sqrt{1 + m^2}} + h/m \right)}{\frac{2 m h}{1 + \sqrt{1 + m^2}} + \frac{2 h \sqrt{1 + m^2}}{m}} =$$

$$h/2 = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{m} \times \frac{1}{4}$$

es decir, el radio medio es igual a la mitad de la profundidad del agua.

La relación h/l , que determina la sección óptima, sólo depende, para S e I dados, del valor m . El valor de h/l en (8), permite calcular fácilmente h y l conociendo S y m . Reemplazando l por su valor en función de h en la ecuación (5) tendremos:

$$(10) S = h \left(\frac{2 m h}{1 + \sqrt{1 + m^2}} + \frac{h}{m} \right) = \frac{h^2 2 \sqrt{1 + m^2}}{m} l:$$

$$(11) h = \left(\frac{m S}{2 \sqrt{1 + m^2} - 1} \right)^{1/2}$$

Según esto, se ve que cuanto más se acerquen los taludes del canal a la vertical, mayor es h y por consiguiente R . Conviene adoptar para R el mayor valor posible, pues así no disminuye la anchura del canal de pendiente dada I y se aumenta la velocidad media del agua, que es proporcional a R .

Cuando las circunstancias obligan la adopción de una profundidad determinada, la ecuación $S = h (1 + h/m)$ sólo contiene la incógnita l .

VALORES DEL COEFICIENTE C DE LA FORMULA

$$U = C \sqrt{R I} \text{ (según M Bazin)}$$

R mts.	VALORES DE C		R mts.	VALORES DE C	
	r = 1.30	r = 1.75		r = 1.30	r = 1.75
0.05	12.8	9.9	0.45	29.6	24.1
0.06	13.8	10.7	0.46	29.8	24.3
0.07	14.7	11.4	0.47	30.0	24.5
0.08	15.5	12.1	0.48	30.2	24.7
0.09	16.3	12.7	0.49	30.4	24.8

R mts.	VALORES DE C		R mts.	VALORES DE C	
	r = 1.30	r = 1.75		r = 1.30	r = 1.75
0.10	17.0	13.3	0.50	30.6	25.0
0.11	17.7	13.9	0.55	31.6	25.9
0.12	18.3	14.4	0.60	32.5	26.7
0.13	18.9	14.9	0.65	33.3	27.4
0.14	19.4	15.3	0.70	34.1	28.1
0.15	19.0	15.8	0.75	34.8	28.8
0.16	20.4	16.2	0.80	35.5	29.4
0.17	20.9	16.6	0.85	36.1	30.0
0.18	21.4	17.0	0.90	36.7	30.6
0.19	21.8	17.3	0.95	37.3	31.1
0.20	22.3	17.7	1.00	37.8	31.6
0.21	22.7	18.1	1.10	38.8	32.6
0.22	23.1	18.4	1.20	39.7	33.5
0.23	23.4	18.7	1.30	40.6	34.3
0.24	23.8	19.0	1.40	41.4	35.1
0.25	24.2	19.3	1.50	42.2	35.8
0.26	24.5	19.6	1.60	42.9	36.5
0.27	24.8	19.9	1.70	43.6	37.1
0.28	25.2	20.2	1.80	44.2	37.7
0.29	25.5	20.5	1.90	44.8	38.3
0.30	25.8	20.7	2.00	45.3	38.9
0.31	26.1	21.0	2.20	46.4	39.9
0.32	26.4	21.2	2.40	47.3	40.8
0.33	26.7	21.5	2.60	48.1	41.7
0.34	26.9	21.7	2.80	48.9	42.5
0.35	27.2	22.0	3.00	49.7	43.3
0.36	27.5	22.2	3.20	50.4	44.0
0.37	27.7	22.4	3.40	51.0	44.6
0.38	28.0	22.7	3.60	51.6	45.2
0.39	28.2	22.9	3.80	52.2	45.8
0.40	28.5	23.1	4.00	52.7	46.4
0.41	28.7	23.3	4.50	53.9	47.6
0.42	28.9	23.5	5.00	55.0	48.8
0.43	29.2	23.7	5.50	56.0	49.8
0.44	29.4	23.9	6.00	56.8	50.7

VALORES DEL COEFICIENTE b CORRESPONDIENTE A

LOS VALORES DEL COEFICIENTE $C = 1/\sqrt{b}$

C	b	C	b
15	0.0044	54	0.00034
16	0.0039	55	0.00033
17	0.0035	56	0.00032
18	0.0031	57	0.00031
19	0.0028	58	0.00030
20	0.0025	59	0.00029
21	0.0023	60	0.00028
22	0.0021	61	0.00027
23	0.0019	62	0.00026
24	0.0017	63	0.00025
25	0.00160	64	0.00024
26	0.00148	65	0.000240
27	0.00137	66	0.000230
28	0.00128	67	0.000223
29	0.00119	68	0.000216
30	0.00111	70	0.000204
31	0.00104	72	0.000193
32	0.00098	74	0.000182
33	0.00092	76	0.000172
34	0.00086	78	0.000163
35	0.00081	80	0.000156
36	0.00077	82	0.000149
37	0.00073	84	0.000142
38	0.00069	86	0.000135
39	0.00066	88	0.000129
40	0.00062	90	0.000123
41	0.00059	92	0.000118
42	0.00057	94	0.000113
43	0.00054	96	0.000108
44	0.00051	98	0.000104
45	0.00049	100	0.000100
46	0.00047	105	0.000091
47	0.00045	110	0.000083
48	0.00043	115	0.000075

C	b	C	b
49	0.00042	120	0.000069
50	0.00040	125	0.000064
51	0.00039	130	0.000059
52	0.00037	140	0.000051
53	0.00036	150	0.000044

VALORES DEL COEFICIENTE C DE LA FORMULA

$$U = C \sqrt{RI} \text{ SEGUN GANGUILLET Y KUTTER}$$

	R mts.	PENDIENTE I						
		0.000025	0.00005	0.0001	0.0002	0.0004	0.001	0.01
	0.05	12	13	15	16	17	18	18
	0.10	17	18	19	20	21	22	22
	0.20	22	23	24	25	26	27	27
Paredes	0.30	26	28	29	30	30	31	31
de	0.50	31	32	33	34	34	35	35
tierra	1.00	40	40	40	40	40	40	40
n 0.025	2.00	50	48	47	46	45	45	45
	3.00	56	53	51	49	48	48	47
	0.05	10	11	12	13	13	14	14
	0.10	13	14	15	16	17	18	18
	0.20	18	19	19	20	21	22	22
Paredes	0.30	21	22	23	24	24	25	25
de	0.50	25	26	27	27	28	29	29
arena	1.00	33	33	33	33	33	33	33
n 0.30	2.00	42	41	40	40	39	38	38
	3.00	48	45	43	42	42	41	41
	5.00	56	51	47	45	44	43	43
	15.00	72	62	55	52	51	49	48

Empleo de las fórmulas; uso de las tablas; ejemplos numéricos.—Los problemas que se presentan más frecuentemente son:

I—Conocida la sección transversal de un canal y su pendiente, calcular su descarga.

II—Conocido el rendimiento del canal y su pendiente,

calcular las dimensiones que debe tener su sección transversal y la velocidad media del agua.

CASO I—Se aplican las siguientes fórmulas:

$$(5) S = h (1 + h/m) \quad (7) \quad R = \frac{h (1 + h/m)}{1 + 2h \sqrt{1 + m^2}} \\ m$$

y luego:

$$(2) U = C (R I)^{1/2} \quad (4) \quad Q = S C (R I)^{1/2}$$

La fórmula (5) nos da el área, la (1) el radio medio, pues h , l y m son conocidos. Las fórmulas (2) y (4) permiten calcular U y Q .

EJEMPLO: Calcular el rendimiento de un canal de tierra, sabiendo que $l = 1$ mts.; $h = 1.21$; $I = 0.0002$ y la inclinación de los taludes es 45° .

La aplicación de las fórmulas (5 y 7) nos da:

$$S = 2.867 \text{ mts.}^2 \text{ y } R = 0.60 \text{ mts.}$$

El valor de C según la tabla de Bazin es 32.5 y según la de Kutter, 35. Tomamos el promedio de estos dos valores, o sea 33.75.

Aplicando las fórmulas (4 y 2), obtendremos:

$$Q = 0.98 \text{ mts.}^3 \text{ y } U = 0.37 \text{ mts.}$$

CASO II—Si existen circunstancias que obliguen a adoptar una profundidad determinada, se aplicarán las fórmulas de la sección más ventajosa, es decir, las fórmulas siguientes:

$$(9) \quad h = \left(\frac{m S}{2(1 + m^2)^{1/2} - 1} \right) = 2 R \quad (1) \quad R I = b U^2 = b \frac{Q^2}{S^2}$$

Se principiará por adoptar para b un valor provisional, y para escogerlo, según el rendimiento, se evaluará el valor posible de R , y por consiguiente, el de C , según la tabla de Bazin. La tabla de los valores de b dará un valor que se adoptará provisionalmente. Una vez hallado el va-

lor de R, se rectificará el de b. Se volverá a calcular R y se continuarán estas aproximaciones hasta que se encuentren para C y b valores que no difieran sensiblemente de los anteriores. La ecuación (1) contendrá R elevada a la quinta potencia y deberá resolverse por logaritmos.

EJEMPLO: Un canal debe tener un rendimiento de 2 mts.³ de agua por segundo, con una pendiente de 0.0002 por mts. Cuál debe ser su perfil transversal en la tierra, con taludes inclinados 45°?

Supongamos $R = 1$ mt.; entonces, según la tabla de Bazin $C = 37.8$ y según la de Kutter $C = 40$. Tomamos el promedio $C = 38.9$. Para b obtenemos 0.00066.

$$\text{La fórmula (9) da: } 4 R^2 = \frac{m}{2(1 + m^2)^{1/2} - 1} \times S$$

Pero siendo $m = 1$, sacamos:

$$\frac{m}{2(1 + m^2)^{1/2} - 1} = 0.547$$

$$\text{y obtendremos } 4R^2 = 0.547 \therefore S = \frac{4R^2}{0.547}$$

La fórmula (1) nos da:

$$R \times 0.0002 = 0.00066 \frac{4}{S^2} \therefore R S^2 = 13.2$$

y sustituyendo S por su valor,

$$\frac{16 R^3}{(0.547)^2} = 13.2 \therefore R = 0.75$$

Según las tablas de Bazin y Kutter, los valores respectivos de C son 34.8 y 37. Adoptamos 35.9; el valor correspondiente de b es 0.00077. Sustituyendo este nuevo valor de b, tendremos:

$$4 R^2 = 0.547 S \quad R \times 0.0002 = 0.00077 \times \frac{4}{S^2} \therefore$$

$$R = 0.75.$$

Los valores de C y de b no difieren sensiblemente de los que acabamos de adoptar. Tomaremos, pues, para R el valor 0.76 mts.; entonces $h = 1.52$.

$$S = \frac{4 (0.76)^2}{0.547} = 4.42 \text{ mts.}^2$$

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{4.22} = 0.47 \text{ mts.}$$

La fórmula (8) permite determinar l.

$$i = \frac{2 m h}{1 + (1 + m^2)^{1/2}} = \frac{2 \times 1.52}{1 + (2)^{1/2}} = 1.26 \text{ y el problema}$$

queda resuelto.

Pero puede ocurrir que por circunstancias especiales no se pueda adoptar el perfil más económico. Entonces se conoce la profundidad h o la anchura l; por lo tanto:

$$S = h (1 + h/m)$$

$$R l = b \frac{Q^2}{S^2} \text{ en que R está expresado en función}$$

de h y de l y permitirá hallar por tanteo h o l y S.

Supongamos que por causa de la existencia de un subsuelo rocoso, la profundidad del canal no debe exceder de un mt. y que la descarga sea de 2 mts.³ por segundo y la pendiente 0.0002.

Procederemos así:

Puesto que h es a lo sumo igual a 1 mt. el radio medio puede evaluarse en 0.50 mts. Las tablas dan para C, 30.6 y 34; adoptamos 32 y entonces $b = 0.00098$.

De la ecuación $R I = b \frac{Q^2}{S^2}$ deducimos:

$$S^2 = \frac{0.00098 \times 4}{0.50 \times 0.0002} = 39.2 \therefore S = 6.25.$$

La fórmula $S = h (1 + h/m)$ da $l = 5.25$.

La fórmula (6) nos da $P = 8.07$

$$R = \frac{S}{P} = \frac{6.25}{8.07} = 0.77 \text{ mts.}$$

Se partirá de este nuevo valor de R para repetir los cálculos.

Las tablas dan, para $R = 0.77$ mts., $C = 35$ y 37 . Adoptamos $C = 36$; entonces $b = 0.00077$.

Tenemos:

$$S^2 = \frac{0.00077 \times 4}{0.77 \times 0.0002} = 40 \therefore S = 6.32; l = 5.32;$$

$$P = 8.14 \text{ y } R = 0.77.$$

Adoptaremos para el perfil de este canal de 2 mts.³ de descarga por segundo:

$$l = 5.32 \quad h = 1 \text{ mt.} \quad R = 0.77$$

La velocidad media del agua será:

$$U = Q/S = 2/6.32 = 0.31 \text{ mts.}$$

CAPITULO VII

Sistemas de riego

Hay muchos procedimientos de riego, según la naturaleza del terreno, su pendiente, los cultivos o la cantidad de agua de que se dispone.

A continuación describiremos los siguientes sistemas:
Por sumersión, por filtración, por desbordamiento.

El riego por sumersión se divide en tres métodos; el riego por filtración en dos y el por desbordamiento también en dos. De todos ellos hablaremos separadamente.

Riego por sumersión

El sistema de riego por sumersión, llamado también en manta, consiste en cubrir el suelo con una capa de agua que permanece sobre él un tiempo más o menos largo.

Generalmente requiere que el terreno sea sensiblemente horizontal, de pendiente suave, 2 0/00 a lo sumo, y que no sea impermeable. La superficie regable se rodea de pequeños diques. Si la pendiente fuese fuerte habrían de ser altos y emplear más agua, con lo que se perdería la principal ventaja de este sistema, que es su sencillez y economía.

Este procedimiento es uno de los mejores para el riego de praderas cuya pendiente sea de 1-1.5 mmts. por metro. Comprende tres métodos distintos:

1º—"La sumersión natural", que resulta del desbordamiento espontáneo de una corriente de agua o de la inundación artificial proveniente del levantamiento de las aguas;

2º—"La sumersión artificial sencilla", en que las aguas permanecen estancadas mientras dura el riego;

3º—"La sumersión artificial con circulación continua", en que el agua circula suavemente por la superficie del terreno sumergido.

Cuando se riega con aguas que acarrean limos y arenas, estos materiales, generalmente cargados de materias fertilizantes, se depositan sobre el suelo. Entonces el riego por sumersión va acompañado del enarquinamiento.

Sumersión natural.—Muchos terrenos están expuestos a las crecidas de las corrientes de agua que los atraviesan. Esta sumersión natural es fuente de grandes riquezas. Tales son Egipto y las pampas de la América del Sur. En Francia, grandes extensiones de terreno deben su fertilidad a riegos periódicos de esta naturaleza.

Las condiciones esenciales de estas sumersiones natu-

rales son: pendientes longitudinales muy suaves (0.40—0.45 mts. por kmt. como promedio) y pendientes transversales bastante acentuadas para que las aguas de las crecidas vuelvan fácilmente a su cauce primitivo.

Sumersión artificial sencilla.—Exige un suelo de poca pendiente, que no exceda de 2 0/00, a menos de restringir mucho la extensión de las parcelas sumergidas.

Si la pendiente fuese fuerte, no se depositarían los sedimentos, perdiendo así este método su principal ventaja. Además, se correría el riesgo de que las aguas arrastraran la tierra vegetal. Finalmente, sería necesario que las cuencas sumergidas estuvieran rodeadas de diques muy altos, lo que haría perder las ventajas económicas de este sistema.

Consiste en sumergir el suelo bajo una capa de determinado espesor, durante un período de tiempo variable.

El terreno se divide en compartimientos regulares, rodeados de pequeños diques que retienen el agua.

Generalmente, las aguas después de regar un compartimiento superior pasan a regar uno inferior.

Los compartimientos tienen extensión variable. En general no exceden de 10-30 áreas. Se les puede dar una anchura de 50 mts. y una longitud variable según la pendiente del terreno. Los diques que los rodean exceden en todas partes a 25 ctms. al nivel del agua.

La altura media del agua sobre la superficie del suelo es de 15 ctms. En el punto más alto del nivel del agua 25 ctms.

En el centro de cada compartimiento y en sentido de su longitud, se abre una atarjea g (fig. 15) que sirve a la vez de conducción y desecamiento.

A este objeto puede ir acompañado de pequeñas atarjeas h. En el origen y en la extremidad de cada compartimiento la atarjea g, lleva una entrada de madera con compuerta, para retener el agua o dejarla pasar.

La atarjea g debe tener una pendiente aproximada de 0.001 mts. / mt. La anchura en el fondo y su profundidad dependen de la superficie del compartimiento y de la cantidad de agua que conducirá.

La fig. 15 denota la subdivisión del terreno en cuatro recipientes que forman otros tantos saetines cuya longitud depende de la pendiente del terreno.

Es preciso que el nivel del agua en el segundo compartimiento sea inferior de 1—2 cms. al fondo de la atarjea y del primero. Así se logra que el agua pase del primero al segundo compartimiento.

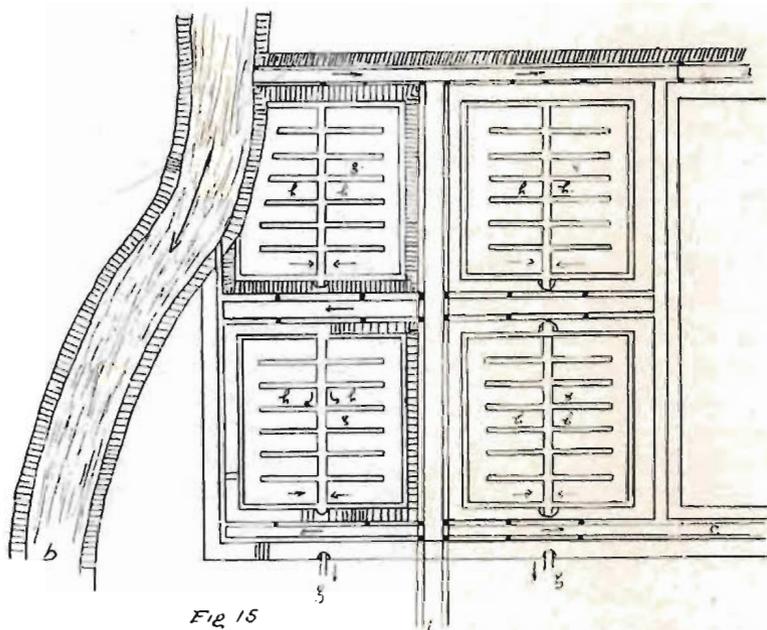


Fig 15

Riego por submersión. Planta de una instalación de cuatro compartimientos.

Ventajas e inconvenientes de este sistema.—Permite regar superficies de poca pendiente, con cantidades de agua demasiado pequeñas para utilizarlas de otro modo. Transforma en tierras fértiles suelos mediocres, siempre que no sean impermeables y que las aguas contengan limos cargados de principios nutritivos. Su instalación y vigilancia son sencillas y baratas.

En suelos impermeables da malos resultados. Rara vez se puede aplicar en el momento de la vegetación y mientras dura, impide la aireación del suelo.

El riego por sumersión se emplea principalmente en el cultivo del arroz.

Riego de los arrozales.—El arrozal ha de estar completamente cubierto por el agua, pero sin quedar estancada, sino circulando con muy poca velocidad. Sin agua no germinaría la semilla, y, en cambio, si quedara estancada enfermaría la planta y podría ser causa de una epidemia palúdica en la región.

El terreno destinado al cultivo del arroz ha de ser enteramente llano y con la pendiente necesaria para la lenta circulación del agua. El campo se divide en parcelas delimitadas por pequeños diques de tierra.

Unas, como B (Fig. 16), están trazadas longitudinalmente en el sentido de las labores y del movimiento del agua, al paso que otras, las señaladas con la letra C, van en dirección perpendicular a las primeras.

Una vez construidos los diques se da el agua a las parcelas D y J, de modo que la capa líquida tenga unos 12 cms. de espesor. Hecho esto, se practican en el dique inmediatamente inferior unas aberturas E de 20—30 cms.

de ancho, por donde fluye el agua a las parcelas inferiores. Así se continúa hasta regar todo el arrozal. El agua se recoge en la atarjea de desagüe A.

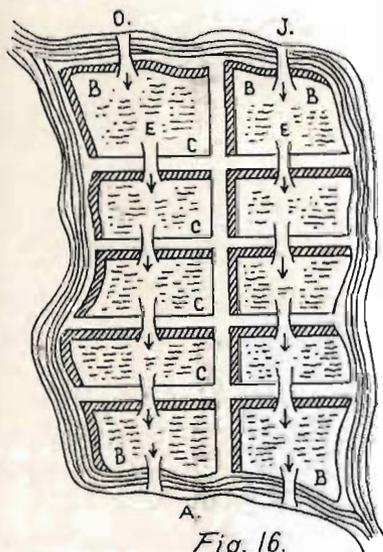


Fig. 16.

Disposición de un arrozal dividido en tablas o cuadriláteros de riego.

El consumo de agua se calcula en 2.4 lts. por segundo y por hectárea.

Sumersión artificial con derrame continuo—Cuando se dispone de gran cantidad de agua la circulación puede ser continua, sin alterar las disposiciones precedentes.

El agua de riego, después de alcanzar el ni-

vel normal en el compartimiento regado, pasa lentamente al inferior y se reemplaza con nueva agua. Este procedimiento priva menos del aire a las plantas que el estancamiento permanente.

El movimiento de las aguas se regula de tal manera que la cantidad salida por la parte inferior sea igual a la que entra por la superior. De este modo se llega rápidamente a resultados excelentes.

Conviene enviar agua nueva a los compartimientos inferiores, disponiendo alrededor del campo un canal de circunvalación. El agua debe vaciar por encima de las compuertas a fin de que no arrastre los sedimentos. En general, los compartimientos tienen dimensiones mayores que los de sumersión sencilla. Si la pendiente es muy fuerte conviene disponer oblicuamente diques interiores que impidan la erosión del suelo. Los diques que bordean las parcelas tienen aproximadamente 1.50 mts. de ancho en la corona y un nivel de 30—40 ctsms. sobre el de las aguas.

Riego por filtración

Este sistema comprende dos subdivisiones:

1º **Por filtración del agua en el suelo por atarjeas profundas.**—Es un procedimiento muy imperfecto desde el punto de vista de los resultados, pero muy sencillo y económico. Emplea las zanjas excavadas en los terrenos para sanearlos.

Esencialmente consiste en cerrar las compuertas que regulan los diferentes canales de desecamiento. El agua de lluvia, etc. fluye así poco a poco por estos canales y, si el suelo es permeable, lo humedece al atravesar las paredes laterales de ellos, pudiendo llegar por capilaridad hasta las raíces.

Este procedimiento sólo es practicable cuando el terreno es bastante permeable y de poca pendiente. En suelos poco permeables los resultados no son satisfactorios: el agua fluye bien por los canales, pero no logra humedecer la tierra.

La fig. 17 muestra la disposición de los canales a, a, b, b, y la de la compuerta d, que cuando está cerrada de-

termina el retroceso del agua, que se va elevando en los canales y penetra en el suelo. Abriendo la compuerta, se inicia la salida del agua y consecuentemente el desecamiento del terreno.

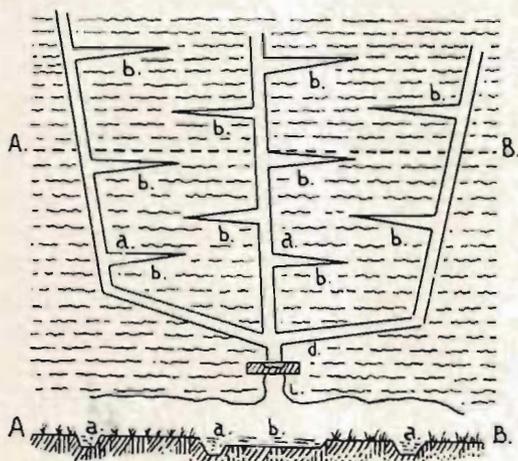


Fig. 17.

Disposición para humedecer un terreno drenado al aire libre. Riego por filtración.

2º Filtración del agua por atarjeas abiertas superficiales.

—Este método se aplica sobre todo a las tierras labradas y, entre otros a los cultivos hortícolas. Difiere esencialmente del anterior en que las atarjeas están mucho más próximas, en que son superficiales y el agua penetra en el suelo y en el subsuelo por las paredes y por el fondo.

El agua circula por atarjeas paralelas que limitan las parcelas de los cultivos. No debe tocar ni las hojas ni los tallos. Por esta razón se emplea el agua de cloacas para los cultivos hortelanos. Como no se ponen en contacto con las hojas ni con los tallos, no pueden contaminar esta parte comestible de los vegetales. Sin embargo, últimamente se ha dicho que las aguas de cloacas contaminan las partes aéreas de las hortalizas con gérmenes nocivos y se ha prohibido su empleo para el cultivo de las hortalizas que se toman sin cocción.

Este método es tanto más eficaz cuanto más próximas

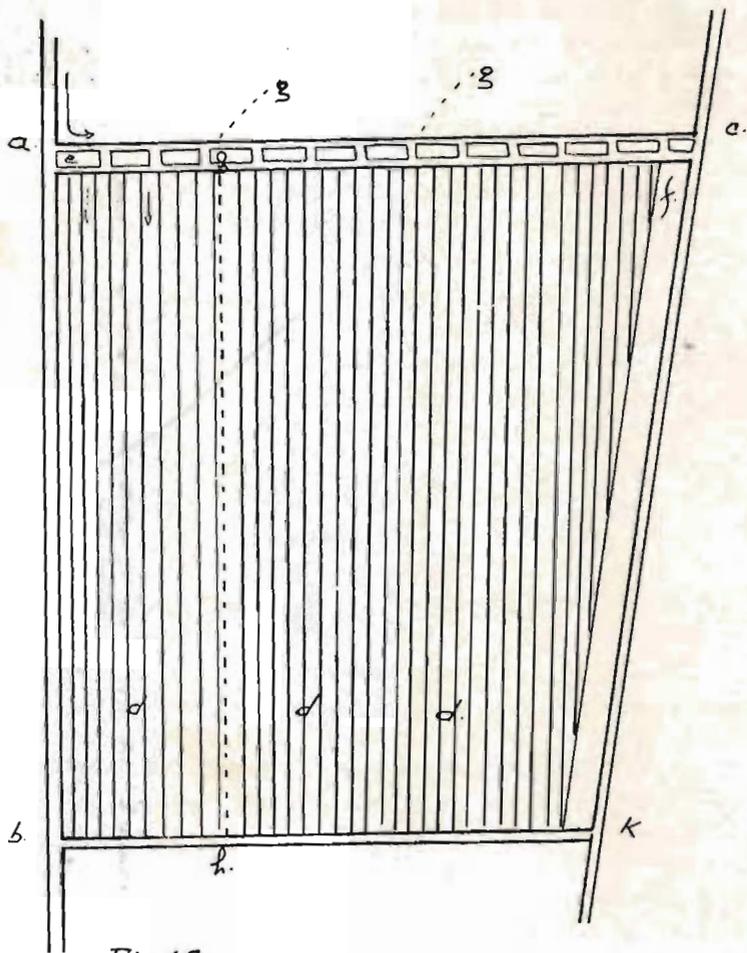


Fig 18

Riegos por surcos. Disposición de las atarjeas.

estén las zanjas, que se trazan con el arado y están separadas unos 0.60—0.80 mts.

La fig. 18 indica la disposición del suelo. La línea a b representa el canal de conducción; a c el canal de riego del campo; d, designan los surcos, que no terminan en el canal a c. La limpieza que necesita el funcionamiento del sistema deteriora pronto este canal. Debe construirse una atarjea auxiliar e f, comunicada con el canal a c por me-

dio de pequeños cortes g. Este canal auxiliar se abre con el arado y se termina cuidadosamente con la pala. Es ancho y tiene una profundidad de unos 10 cms.

Riego por desbordamiento

Puede efectuarse de las maneras siguientes: con regueras de nivel y planos inclinados, que describiremos sucesivamente.

A — **Por regueras de nivel. Fundamento.**—El terreno a regar, está surcado por regueras horizontales de desbordamiento, en que el agua rebosa el borde inferior y se extiende en forma de lámina continua.

Pendiente del terreno.—No debe ser excesivamente pequeña, pues entonces la circulación de la lámina de agua se efectuaría defectuosamente; se admite como necesaria una pendiente de 3%. Si la pendiente fuere excesiva, en vez de una lámina continua se formaría una serie de arroyos que socavarían el terreno; este peligro debe evitarse haciendo las regueras suficientemente próximas.

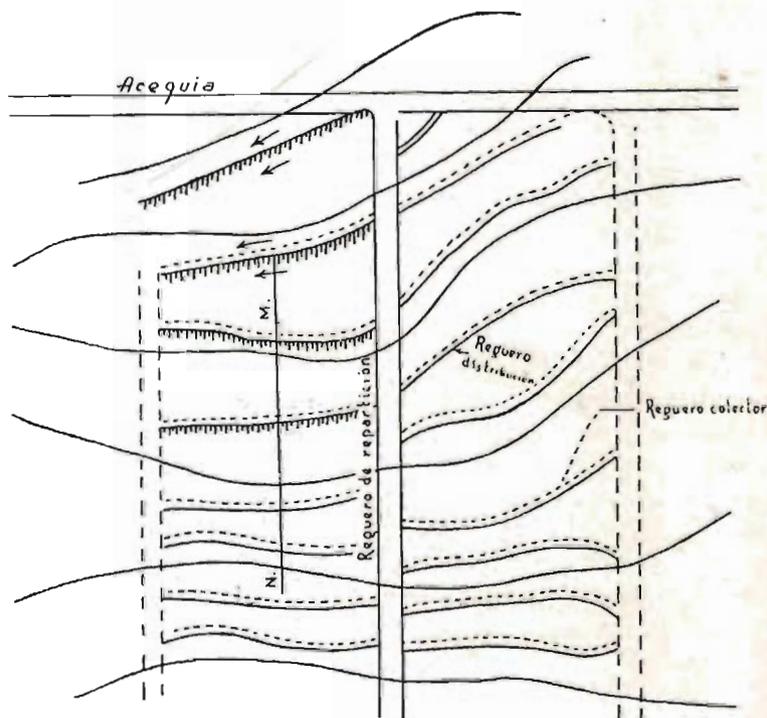
Descripción y funcionamiento.—Las regueras de repartición se trazan en la dirección aproximada de las líneas de máxima pendiente, fig. 19. Si se interrumpe una reguera de distribución, remansando el agua, ésta entrará en la reguera de nivel inmediata anterior, la cual se llenará y desbordará invadiendo el terreno; el exceso se recogerá en el colector inmediato inferior, el cual lo transportará al canal de desagüe.



Alimentación de regueras sucesivas por una misma toma.—En vez de recoger las aguas sobrantes de una reguera directamente en un colector, se recogen en otra reguera, la cual, una vez desbordada, las deja pasar a otra, y así a varias, no pasando de 4 ó 5, según el caudal de

agua de que se disponga. Parece que así pudiera hacerse extensivo a todo el campo con una sola toma superior en la reguera de repartición, pero no debe olvidarse que el agua que llegase a las regueras inferiores estaría escasa en oxígeno y principios fertilizantes. Esta es la razón de las tomas sucesivas.

Perfil longitudinal de las regueras.—En la práctica no



(fig. 19). Riego por curvas de nivel.

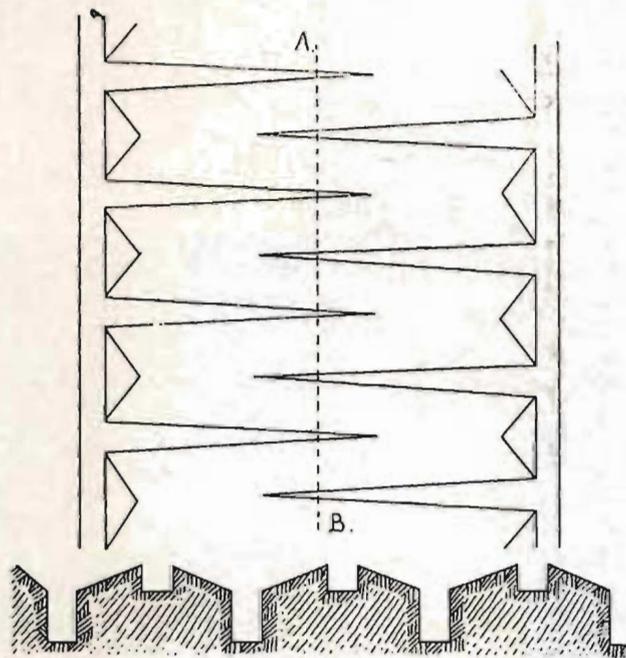
debe dárseles una pendiente superior al 0.003, intercalando cascadas si fuere preciso; esto se refiere a las regueras de repartición. Las regueras de distribución deben ser perfectamente horizontales.

Sección transversal de las regueras.—Las regueras de nivel deben ser poco profundas, a fin de disminuir la presión del agua, y por tanto, su infiltración. Es aconsejable

una anchura de 20 cms. con una profundidad no mayor de 5 cms. Las acequias y regueras de repartición se calculan según las fórmulas hidráulicas.

B—Por planos inclinados.—Son tales las ventajas del riego por regueras de nivel, que se procura emplear un sistema análogo aunque el terreno no tenga la pendiente necesaria.

Principio.—Si la pendiente es inferior al 0.03, se terra-



Corte por A B.

Fig. 20

Riegos por planos inclinados o por doble arista.

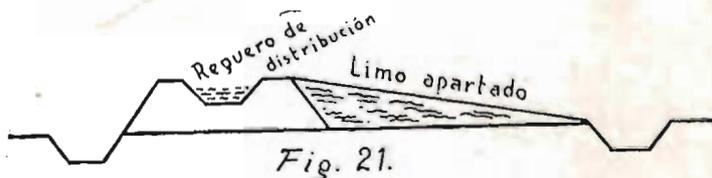
plena, formando un escalonado de planos inclinados que permita el riego por regueras de nivel.

Descripción.—La reguera de repartición se coloca a una altura conveniente, para que el agua pueda entrar a las regueras de nivel practicadas en la parte superior de los planos, en forma que, llena de agua, se vierta por ellos, recogiendo el exceso en colectores, fig. 20. El agua sobrante puede ser muy abundante; en tal caso el colector ali-

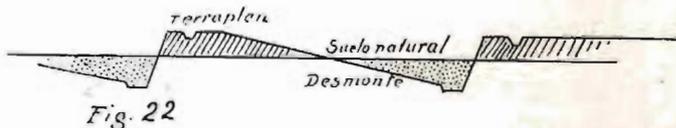
menta a su vez otra serie de planos, actuando a manera de reguera de repartición.

Para establecer el escalonado de planos se siguen dos sistemas: Planos inclinados naturales y planos inclinados artificiales.

Planos inclinados naturales.—Supongamos, fig. 21, un terreno de pequeña pendiente; se construye en terraplén una reguera de distribución con los productos de la excavación del colector inmediato. El primer año el riego será defectuoso; pero en los años sucesivos mejorarán los terraplenes y planos inclinados, merced a la aportación del limo por las mismas aguas.



Planos inclinados artificiales.—Consisten en construirlos directamente con tierra sacada del terreno mismo, lo cual exige terraplenes y movimientos importantes de tierra (fig. 22).



Datos para la formación de un proyecto de riego por planos inclinados.—Se atenderá, en primer lugar, a que las acequias y regueras de repartición sean capaces de suministrar el agua necesaria, y los colectores de desaguar los sobrantes. Las regueras de distribución seguirán sensiblemente las curvas de nivel a fin de que los planos inclinados conserven una longitud constante y que las regueras de distribución sigan la dirección de la pendiente del terreno. La anchura de los escalones no será excesiva, a fin de evitar los grandes movimientos de tierra. En general, tienen 4 ó 5 mts. y si el terreno tiene fuerte pendiente llegan a tener 10 ó 12 mts. La pendiente de los planos inclinados será de 0.03 como mínimum.