

RIERA

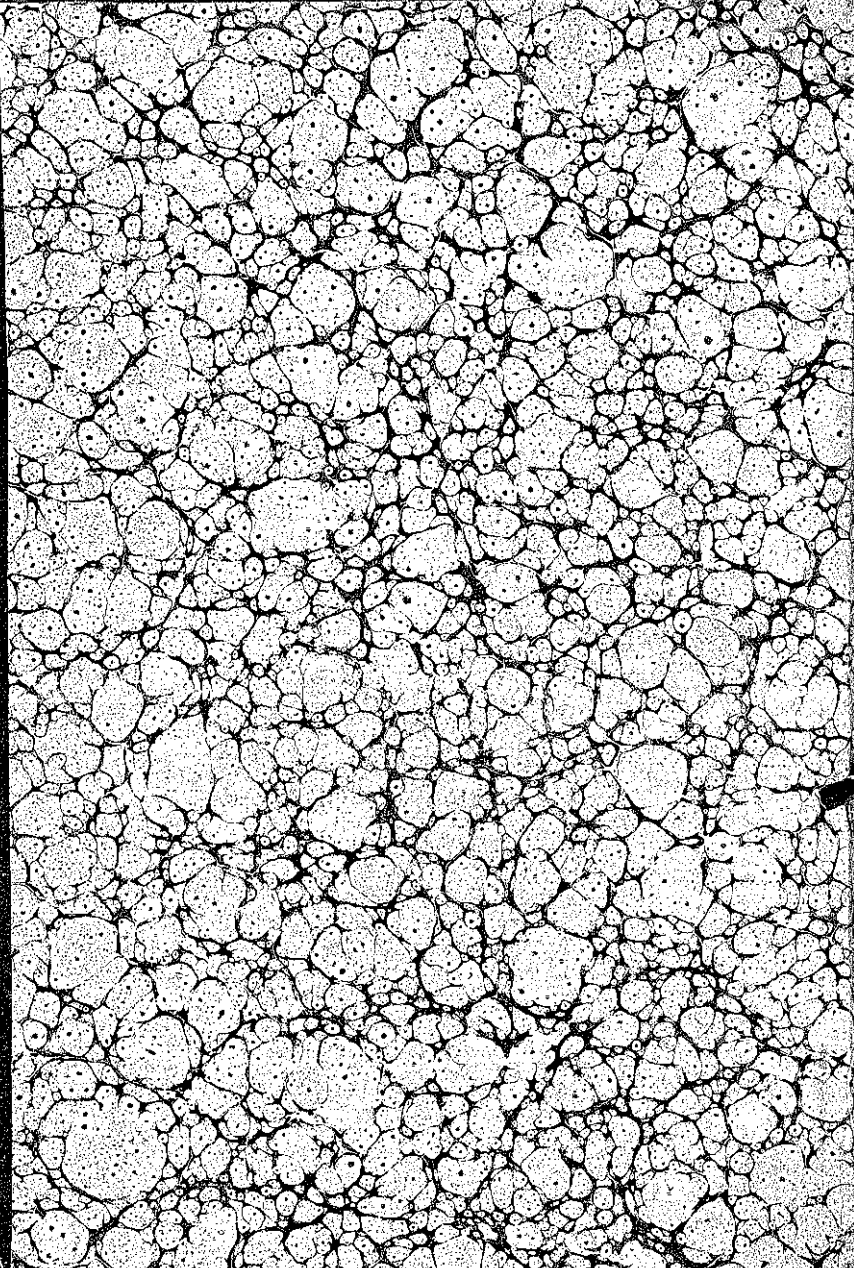
CANALES

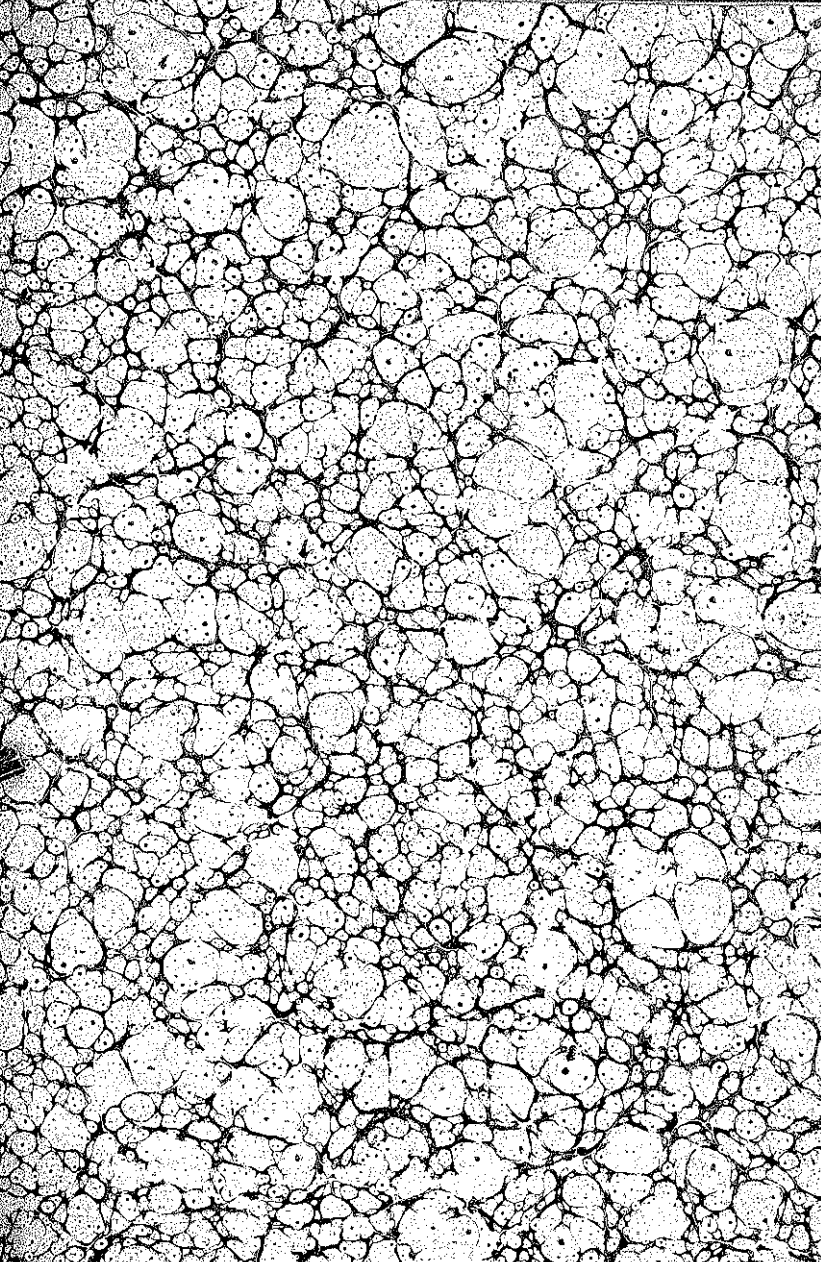
DE BUENOS

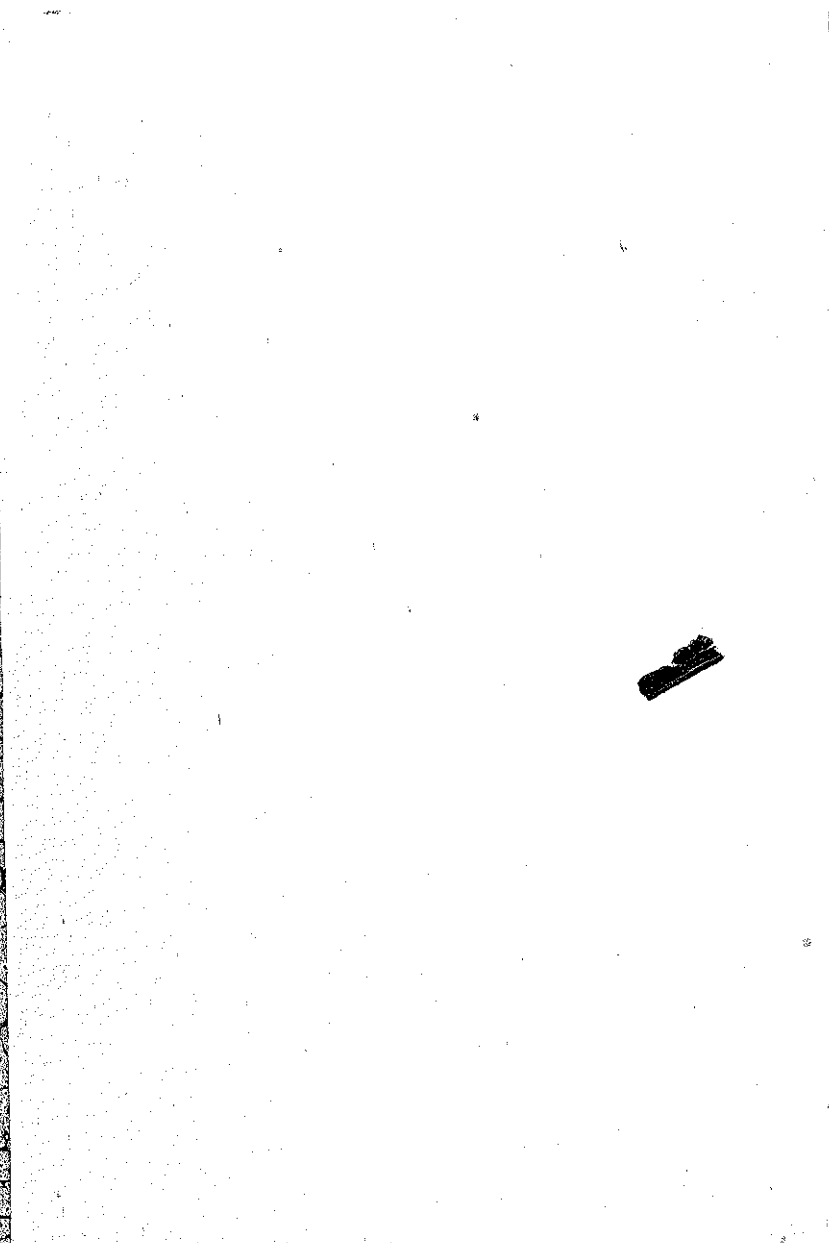
A. M.



RIERA

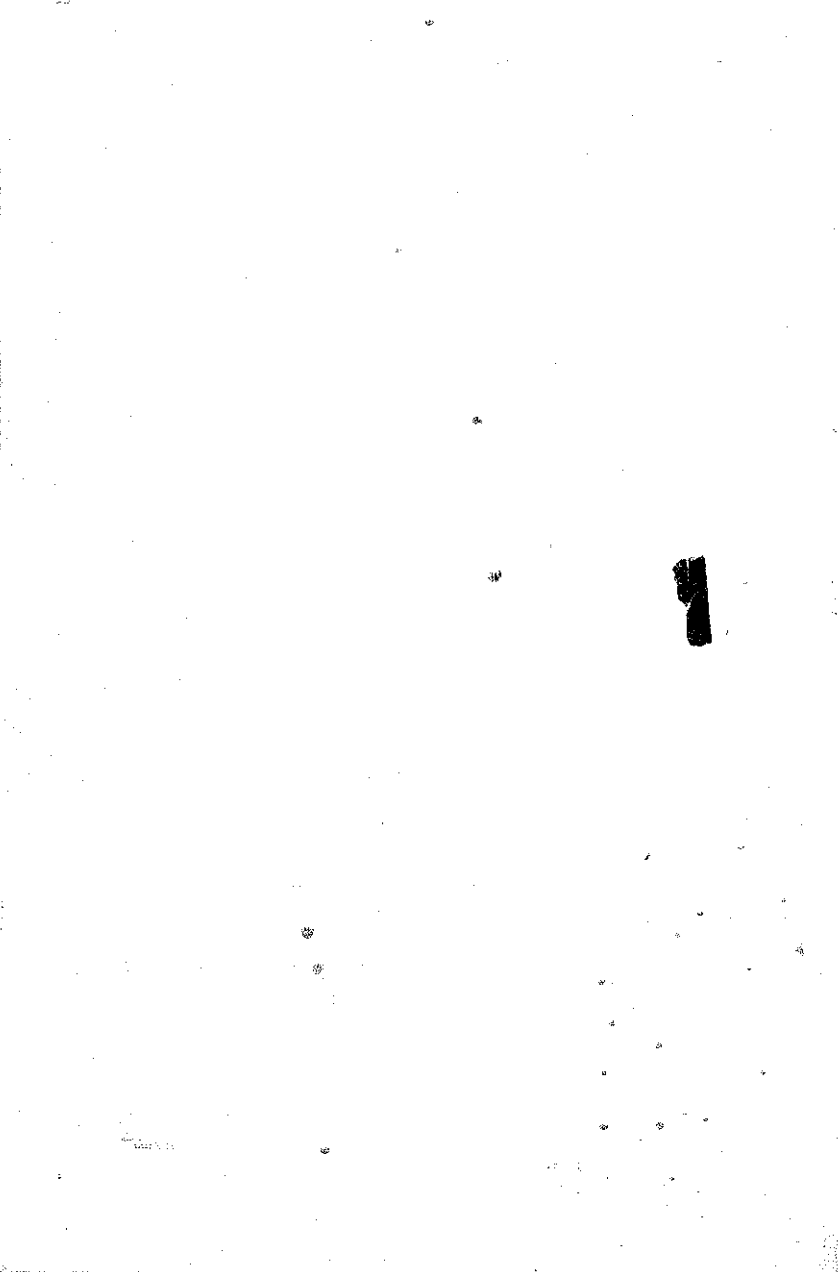






MANUAL
DE
CANALES DE RIEGO.





13782
NM 4439

MANUAL

DE

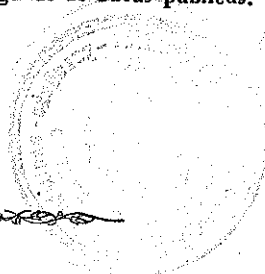
CANALES DE RIEGO

que comprende su trazado, construcción y legislación.

POR

DON MARIANO RIERA Y PERERA,

director de Caminos vecinales y Canales de riego, Maestro de
Obras y Ayudante segundo de Obras públicas.

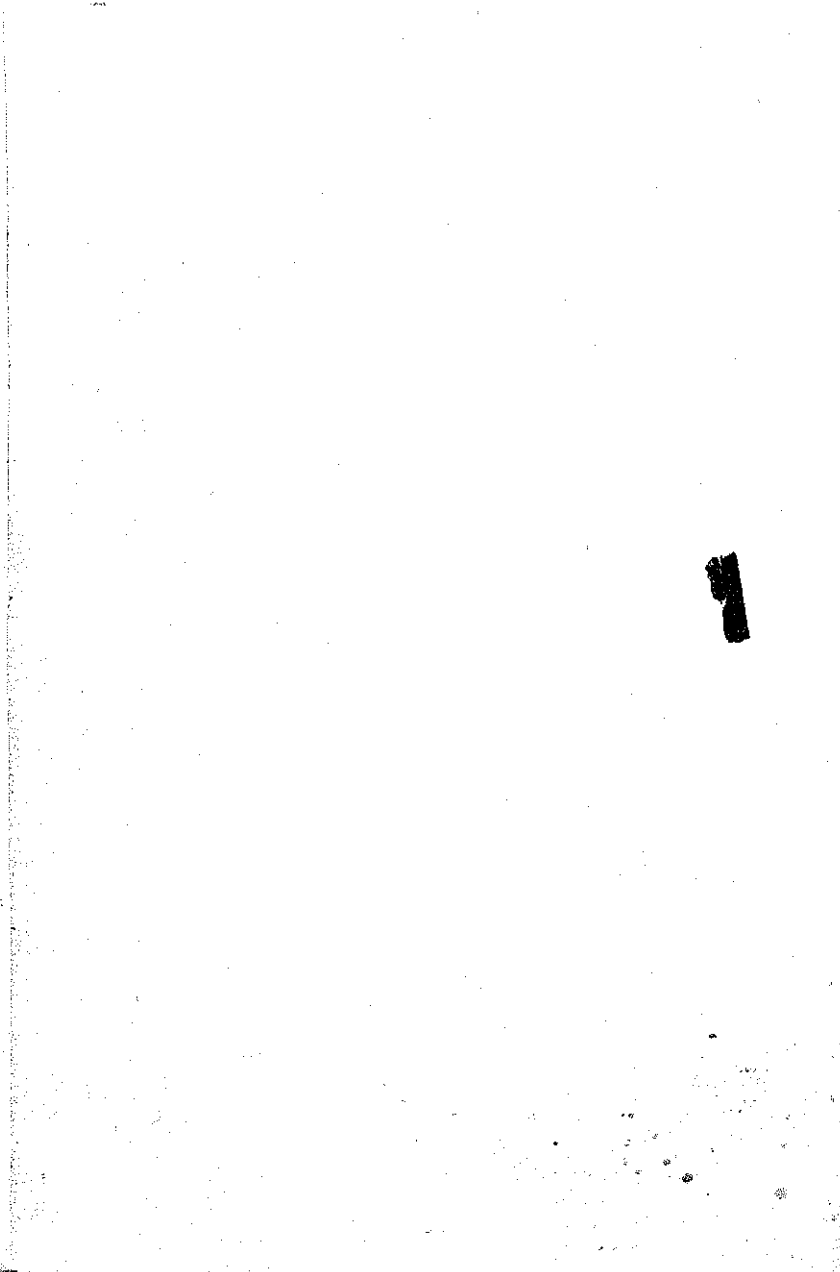


MADRID

CÁRLOS BAILLY-BAILLIÈRE

Plaza de Topete (antes de Santa Ana), número 10.

1870.



SUMARIO DE LAS MATERIAS QUE ABRAZA.

Ventajas generales de los riegos.—Canales de riego.—Diferentes modos de establecerlos.—Idea general de la composición de los terrenos.—Clasificación de los terrenos.—Configuración general de los terrenos.—Irrigaciones.—Cantidad necesaria por hectárea, época y duración de los riegos.—Trazado y establecimiento de los canales.—Estudios sobre el terreno.—Proyectos.—Pendientes y secciones.—Principales obras de fábrica, dependientes de los canales de riego.—Fundaciones, acequias, muros, badenes, etc.—Toma de aguas para los canales principales y secundarios.—Puentes, alcantarillas, acueductos, puentes-acueductos, sifones, etc.—Continuación de las obras de arte.—Túneles.—Reglas generales relativas á su establecimiento.—Método de ejecución, sujeciones diversas, agotamiento, gastos comparativos, etc.—Aplicaciones de estos principios a los canales de riego.—Tipos varios.—Cuadro demostrativo del coste de varios túneles.—Descripción del túnel de Monclar en el canal de Urgel.—Reseña del túnel de Espeluy.—Puentes-acueductos.—Consideraciones sobre las obras de grandes dimensiones.—Detalles del puente de Roquefavour.—Estudio comparativo entre uno y otro puente-acueducto y un sistema de tubos de fundición.—Obras del canal de Urgel.—Acueductos del Sio de Cervera y el de Rocafort.—Acueductos del canal del Lozoya.—De las presas.—De las presas en general.—Sus diferentes sistemas.—Elección de su emplazamiento.—Dirección de las presas con vertientes.—Construcción de las presas y su forma.—Fórmulas para el cálculo de sus espesores.—Sistemas de construcción.—Presa del ponton de la Oliva, canal del Lozoya.—Presa de la Llanquadera en el canal de Urgel.—Cuadro comparativo de las principales presas construidas en España.—Presas movibles.—Su utilidad para los riegos.—Variedad de sistemas.—Presas con tablones.—De montantes movibles.—Su descripción y maniobra.—Presas automóviles.—Presas volantes.—Observa

ciones.—Sistema de alzas que giran sobre un eje.—Estreñimiento de las presas movibles.—Presas temporales ó inestables.—De los depósitos.—Su utilidad.—Ejemplos de esta clase de obras.—Reglas principales para su construcción.—Indicación de algunas empresas modernas de este género.—De los depósitos.—Su utilidad para los riegos que se hacen con los manantiales y escasos volúmenes de agua.—De los lagos y estanques en las regiones montañosas.—Proyectos varios.—De la distribución de las aguas.—Obras relativas a su partición y distribución.—De los partidores.—Varios sistemas de repartir el agua.—Hidrómetros y reguladores.—Sistema de módulos.—Sistema propuesto para el canal que ha de regar los campos de Madrid.—Precio del agua.—Canon anual en diferentes canales.—Canon en varias provincias de España.—De los diferentes métodos que se usan para el riego.—Submersion ó inundación.—Infiltraciones.—Regueras en pendiente.—Bancos escalonados.

Apéndice.—Parte legislativa, que comprende las leyes, decretos, reales órdenes, reglamentos e instrucciones relativas al aprovechamiento de las aguas para el riego, desde 1833 hasta 1868.

vir especialmente para uso de mis apreciables compañeros.

Para realizar mi propósito he consultado, así la Revista de Obras públicas, la de Canales de riego y asociación de Ayudantes, como las obras españolas y extranjeras de Vallejo, Valdés, Camporedondo, Pereto, Roret, Laffineur, etc., y muy especialmente la de Nadault de Buffon, acompañándolo, para su mejor inteligencia, con la variedad de tipos de obras de fábrica necesarias, aplicables á los proyectos á que se refiere, añadiendo á todo ello el fruto de los particulares y detenidos estudios que he hecho sobre la materia y la legislación correspondiente.

Tal vez no haya sido infructuoso mi trabajo y nueva al ménos el ánimo de personas más aptas y profundas á corregirlo y completarlo; tal vez yo mismo en otra ocasión vuelva sobre el asunto y consiga acercarme más al límite de mis aspiraciones; de todos modos, yo habré hecho algo en favor de asunto tan principal, y esa seguridad pagará con exceso mis desvelos.

CANALES DE RIEGO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Ventajas generales de los riegos.

Los numerosos vestigios de canales, depósitos y grandes obras que para riego habían establecido los pueblos antiguos en el Asia y en el Mediodía de Europa; los grandes trabajos que para ello ejecutaron, ante los cuales no retrocedieron, nos demuestran perfectamente el interés y consideración que merece tan útil como precioso don, cual es el de poder regar las tierras cuando su producto se retrasa por causa de las sequías.

En algunas provincias de nuestra Península existen acequias, cuyos nombres nos dicen quiénes fueron sus constructores, quiénes los hombres que comprendieron el inmenso bien que debía ejercer en beneficio del país el mejorar la agricultura por medio de riegos. Los árabes nos han dejado obras para tan útil tarea y nos enseñan la gran influencia que se ejerce en beneficio de la agricultura y del país en general.

Si tales obras se ejecutaban antiguamente, ¿qué debe hacerse hoy que la población y la comodidad han crecido? Es indudable que se necesitan buscar medios de producción en nuestro fértil suelo.

No tendremos que esforzarnos mucho para demostrar la necesidad de ello, así como el que en España, que se la llama y quieren algunos que sea meramente agrícola, dista mucho de poder tener tal título, puesto que necesita de los productos agrícolas de otras naciones para atender al principal interés, al de la cuestión de subsistencias.

Para convencernos, basta ver el Anuario estadístico de nuestra España, y sus datos nos dicen que para nuestro consumo tenemos que importar granos, harinas, ganados, quesos, mantecas y otros géneros análogos que sirven para la subsistencia.

Dichos datos nos dan una idea de lo poco que se atiende la industria agrícola; por ellos vemos que, á pesar de nuestro rico suelo y de las ventajas que respecto á otros países tenemos, en la parte hidrográfica somos tributarios de ellos.

Con el objeto de no concretarnos en un asunto de tanto interés, creemos conveniente tomar un *término medio* de los datos estadísticos que arrojan los anuarios de los años 1858, 1859 y 1860 que hemos podido proporcionarnos, y en los que se hicieron, por término medio, las siguientes importaciones:

	ESCUDOS.
En trigo, centeno, maiz, cebada, otros granos y harinas, por valor de	9.671.868
Lanas, cáñamos y linos.	256.497
Cueros y pieles de becerro y carnero.	3.066.196
Quesos y mantecas.	211.496
	<hr/>
	13.206.057
	<hr/>

	ESUDOS.
	<hr/>
<i>Suma anterior.</i>	13.206.057
Ganados, caballar, mular, etc.	2.053.797
Hortalizas secas y verdes.	303.078
Vinos.	186.605
Abonos para tierras.	1.205.189
	<hr/>
<i>Cuyo valor total es.</i>	16.954.726
	<hr/>

Si á este valor se añade el de otros artículos, como son tejidos, combustibles, productos químicos, materiales de ferro-carriles, obras públicas, etc., etc., que asciende á 88.544.943 escudos, nos resultará para la importacion total un valor general de 105.499.669 escudos.

	ESUDOS.
	<hr/>
La exportacion agrícola está representada por trigo, centeno, maíz, cebada, etcétera, valor de.	10.591.401
Productos de la ganadería.	3.547.315
Productos del cultivo de la viña.	31.125.105
Productos del cultivo del olivo.	2.451.42
Frutas secas y verdes.	9.707.866
Cultivos diversos.	7.701.638
	<hr/>
<i>Suma total.</i>	65.124.748
	<hr/>

· Añádase á la suma anterior el valor de los productos forestales, de la pesca, de la minería y de la industria,

que es de 45.065.126 escudos, resultando un total para la exportacion de 110.189.874 escudos.

Comparada esta suma con la del valor de los artículos importados, nos da una diferencia en su favor de 4.690.205 escudos. Para este resultado hay que atender que las cosechas fueron buenas y que hubo una gran extraccion de caldos y cereales por causa de la guerra de Africa.

Pero si se atiende á las recolecciones de los años 1866 á 1868, en los que hemos tenido que recurrir á los mercados extranjeros, resultará un déficit anual de cien millones de escudos, déficit que por término medio desde 1858 hasta hoy, puede calcularse sin exageracion en 56.000.000 de escudos anualmente.

Este disminuirá considerablemente, y quizás llegaria á equilibrarse, si no tuviéramos que recurrir á otros países en busca de trigo, harina, lanas, ganados y otros artículos que, beneficiando la agricultura, obtendriamos.

La base de la prosperidad agrícola es la multiplicacion de los ganados vacuno, lanar y cabrío.

Los grandes abonos que producen, extendidos en las tierras laborables, dan á estas la fuerza productiva, y sin lo cual llegarían los productos á ser muy pequeños por lo cansados que estarian los terrenos por el cultivo de cereales.

Mas para conseguir dicho aumento, preciso es atender á la cuestion de pastos, y no bastando los que hoy existen, es necesario que se obtengan extendiendo los riegos.

Así lo han comprendido la Inglaterra, la Holanda y Alemania, y han hecho en estos últimos tiempos muchos esfuerzos para llegar á dicho fin. Los gobiernos

han coadyuvado y los propietarios, entrando en esa vía de prosperidad, se felicitan más y más de ello.

La proporción que existe entre las praderas y pastos con las tierras laborables, es la medida real de la prosperidad agrícola. La Inglaterra, la Holanda, la Suiza y algunas comarcas del Norte de Alemania cuentan, casi poco más ó menos, una extensión igual de tierras de labor y de prados, esto es, que la proporción es de 1 á 1. En las provincias del Piamonte y de la Lombardia es de 1 á 2. En la Baviera y Wurtemberg, de 1 á 2,50. En Prusia, en Austria, en los principales Estados alemanes, de 1 á 3, y en Francia, de 1 á 5.

En España, por una extensión de 17 millones de hectáreas, tierras laborables, apenas contamos 6 millones de hectáreas en pastos, dándonos próximamente una proporción de 1 á 3.

El aumento de los pastos que tratamos no puede obtenerse en las zonas en que no se preste naturalmente más que por el riego, interviniendo desde luego y dando los medios para realizar la gran mejora del acrecentamiento general de todos los productos de la tierra, consecuencia del aumento fundamental, esto es, el del ganado y los abonos.

Segun los datos estadísticos que hemos expuesto, es indudable la necesidad que hay para que se aumenten los pastos, los que, dando alimento nutritivo á los ganados, proporcionarán grandes abonos para las tierras de labor y estas podrán darnos cosechas, con las que, no solo podremos atender á nuestras necesidades agrícolas sin auxilio alguno, sino que tendremos sobrantes, y por tanto exportacion, equilibrando los valores.

La superficie del territorio español es de 50.703.600 hectáreas, de las cuales solo se riegan 1.552.000 hectá-

reas, cantidad muy corta, si se atiende á las necesidades que hemos expuesto, y las que no podemos cubrir sin el beneficio de los canales de riego.

No hay que perder de vista que la cuestion de subsistencias depende de la prosperidad agrícola, y que tan buenos resultados no podemos obtenerlos sin el auxilio de los canales de riego, por lo que no dejaremos de llamar la atencion para la ejecucion de tan importante como útil mejora.

Los resultados que se obtendrán con dicha realizacion son muy halagüenos, pues á más de atender á la cuestion de subsistencias, por consecuencia precisa se obtendrán rentas indirectas que serán un gran beneficio para el país y para los particulares.

En efecto, segun se puede deducir de la práctica, sabemos que la peor hectárea de terreno de regadío produce una renta, cuadruplicada por lo ménos, que la mejor hectárea de terreno secano.

Con el riego, abono y trabajo hay tierras en todos los países, cuyos productos han llegado á ser diez, quince y hasta veinte veces mayores.

En Francia, lo mismo que en Italia, los cantones regados dan cuando ménos triple producto que los de secano. En el Piamonte hay tierras que valian 2.300 reales la hectárea cuando eran de secano, y no há muchos años que han subido con el riego á 9.500 rs. En España los terrenos eriales, convertidos en huertas, en Murcia, Aragon, Valencia y Cataluña, han adquirido con el riego un precio diez veces mayor. Lo mismo sucede con las pocas huertas ó tierras de regadío comparadas con las de secano en la mayor parte de localidades de nuestra provincia.

Para terminar, extractaremos de la excelente obra

del Ingeniero Mr. Pareto los párrafos siguientes:

En los alrededores de Senier y de Abellon, las tierras para cereales se arrendaban de 30 á 70 francos por hectárea. Las mismas tierras regadas adquirieron un valor de 100 á 180 francos, no habiendo gastos para su establecimiento más que 300 francos por hectárea.

En Antou, terrenos que no valian sino á 900 francos hectárea, han subido con el riego á los cinco años á 5.000 francos. Los terrenos cascajosos de la Moselle, y por consiguiente sin valor, han adquirido por el riego el de 5.000 francos por hectárea.

En Soloña, los prados no regados producen de 1.600 á 2.000 kilogramos de yerbas, y los regados de 4.500 á 8.000.

En Lapreux ha establecido Mr. Augeville riegos en condiciones muy desfavorables, puesto que el costo de las obras ascendió á 800 francos hectárea, y á pesar de eso el dinero empleado dió un rédito de 10 por 100.

El canal construido en Auvernia por Mr. Hervegio costó 100.000 francos, y dió un valor á los terrenos de 1.368.000 francos sobre el que tenían antes del riego.

Los trabajos de esta clase ejecutados por Mr. Pareto han sido de tal utilidad, que el capital empleado ha producido más del 42 por 100.

Las infinitas autorizaciones que todos los días se piden y conceden para los aprovechamientos, demuestran el interés que creen reportar con los capitales que en obras de canales se inviertan. La creacion en el extranjero de una gran compañía para llevar á cabo algunas de dichas obras nos lo demuestran tambien. ¿Será posible que los capitalistas de nuestro país desprecien tan importante como utilísimo negocio? No lo

creemos, y estamos convencidos de que muy en breve se empezarán trabajos para realizar una mejora que, á la par que proporcionará un crecido interés á los capitales que se inviertan, aumentará la agricultura, y con ella las rentas particulares y la general del Estado.

Podríamos formar un cálculo aproximado de ellas; pero á fin de no ser molestos, porque tendríamos que extendernos mucho y dejar á los hacendistas su tarea correspondiente, solo diremos que el capital que se emplee en obras de canales de riego, se le puede asegurar por término medio un interés de 15 por 100; además, el Estado obtendrá mayor riqueza imponible, aumentará sus ingresos sin perjuicio de la propiedad; la exportación en cereales y ganados será mayor, y menor la importación; por lo que teniendo presente todos los beneficios directos é indirectos, resultará ser 30 ó 40 por 100 el interés del capital invertido.

Tales son las principales causas de alta importancia que con justo título se interesan á que se desarrolle la ejecución de las obras para regar nuestros campos, las que, ya las construya el Estado, empresas por sí ó con auxilio del gobierno, nos reportarán un beneficio real, positivo y general, del que luego nos felicitaremos.

CAPITULO II.

Diferentes modos de establecer los canales de riego.

Demostradas las grandes ventajas de los riegos, veamos en qué caso se efectúa dicho beneficio, bajo condiciones más conformes al interés general del país.

Para ello examinaremos desde luego las empresas más sencillas, las que no necesitan asociación, esto es,

las que se ejecutan por cuenta de los propietarios ribereños, en virtud del derecho que les concede la legislación.

Es indudable que el modo más sencillo de aprovecharse de las ventajas del riego, es el de usar del agua á su paso por la propiedad.

Así se hace en ciertas localidades, en las que el curso natural se halla en condiciones convenientes para ello, y muy particularmente en las que las derivaciones pueden ejecutarse sin presa.

Sin embargo, las aplicaciones en grande escala de este sistema de riegos, por medio de presas directas sobre los ríos y arroyos, son muy escasos y se comprende la causa.

Las corrientes naturales del agua se dirigen á las depresiones ó sea al thalweg de los valles, salvo en el caso de circunstancias particulares que dan lugar á una situación anormal. En este estado se prestan con desventaja los aprovechamientos hechos por medio de pequeñas derivaciones, empleando presas de poca altura.

Infinitas son las dificultades que dicho sistema tiene, dificultades que quedan demostradas de hecho, atendiendo á que son muy pocos los propietarios ribereños que hacen uso de él, porque los gastos de construcción, conservación y vigilancia de esa infinidad de presas que seria necesario hacer para obtener un resultado regular, no serian compensados por los beneficios que podria producir la limitada zona de terreno que se regaría.

La excesiva division de la propiedad rural, y aun más de la ribereña, hace que sea un obstáculo invencible la multiplicacion de esta clase de riegos.

Muchas serian las razones que se podrian añadir para demostrar la verdad de lo manifestado, pero creemos bastará, para convencerse de ello, referirse á un caso práctico.

Supongamos que quince ó veinte regantes ribereños tiene cada uno su presa, y que están obligados á dar el agua sobrante á los terrenos colindantes inferiores; claro es que como cada uno tiene su presa en la misma linde de su propiedad, la derivacion será corta, y por tanto no se separará mucho del eje del rio, y su pendiente tendrá que ser pequeña, por lo que si en lugar de dichas tomas parciales se construye una sola y un solo canal, pudiendo prolongarse en bastante mayor longitud, resultará que la pendiente de la derivacion podrá ser ménos que la de la corriente del rio, y á medida que su direccion se prolongue regará mayor superficie; tal es el método por el que se puede dar riego á los terrenos ribereños, con las mejores condiciones posibles.

Cuanto más agua arriba se establezca la presa, tanto más fácil y posible será regar la totalidad de una finca, mientras que efectuándolo aisladamente, sólo se podrá regar una pequeña parte.

Expuestas estas breves consideraciones, se comprende que el riego se efectuará con mayores ventajas, siendo por medio de un canal principal, que no exige más que una sola presa, recibiendo cada interesado á su terreno, y por medio de los canales secundarios, la cantidad de agua que debe emplear.

Sin embargo, debemos hacer presente que el riego de los terrenos ribereños á las corrientes de aguas naturales puede prestar grandísimo beneficio, por la sencilla razon de no exigir más que un pequeño capi-

tal; pero con el objeto de salvar los inconvenientes que hemos manifestado, es preciso recurrir á la asociacion.

La gran utilidad de las corrientes de agua naturales consiste en distribuir las entre los regantes por días y horas la parte ó el todo del volúmen disponible; pero si este se divide en pequeñas fracciones, no se aprovecha el caudal ni se emplea convenientemente, así es que el establecimiento é inspeccion de dichos canales debe estar á cargo de la administracion del Estado, á fin de que no sea fuente de cuestiones lo que debe servir para enriquecer la industria agrícola.

CAPITULO III.



Idea general de los terrenos.

Los terrenos que más provecho obtienen de los riegos son los más permeables y ardientes, como los arenáceos, pedregosos y cretáceos, siendo indudable que las mismas rocas llegan á beneficiarse con el légamo que el agua va depositando en sus superficies.

Los terrenos flojos y suelos cenagosos no se aprovechan tanto de los riegos por no admitir tanta cantidad de agua como los antes citados.

La forma del terreno para el establecimiento de una irrigacion, es que tenga una pendiente aunque muy suave; un terreno muy llano necesita muchos trabajos para utilizarlo para el riego, y si la pendiente del terreno es grande, si bien podremos establecer el riego, este no aprovechará tanto á las plantas.

La tierra vegetal, ó sea la capa terrera propia para

la vegetacion, se compone de una multitud de elementos diferentes, que proceden de la descomposicion de las masas minerales sólidas que se encuentran en la superficie de nuestro globo. Este suelo varía tanto como las capas geológicas que contribuyen á su formacion, la que tiene lugar ó se modifica de un modo permanente. El espesor de la capa de labor se halla en relacion con la accion de las aguas, siendo mayor en los valles que en otras partes, lo cual se comprende perfectamente, porque las partículas excesivamente ténues que se desprenden de las rocas, ssn arrastradas por las aguas de las lluvias, hasta que, disminuyendo su velocidad, permite á dichas materias ténues en suspension precipitarse. Este efecto tiene lugar cuando han llegado al fondo de los valles, donde la inclinacion del terreno es generalmente muy pequeña.

La tierra vegetal se compone de las sustancias minerales más esparcidas en la superficie del globo unido á otre elemento en cantidad muy variable, cuyo elemento es el *humus*, que no es otra cosa que el residuo de la descomposicion de los vegetales y los animales.

En los terrenos propios para la vegetacion se hallan las materias siguientes, si bien en proporciones muy variables: arcilla arena, carbonato de cal, *humus*, restos no deformados enteramente de los vegetales, agua, aire, diferentes gases y accidentalmente carbonato de magnesia, sulfato de cal, mica y otras sales, existiendo dichas sustancias, ya solas, ya combinadas entre sí.

La sílice es una de las materias más esparcidas en los suelos, proviniendo en gran parte de la descomposicion de las rocas cuarzosas.

La alúmina es un óxido metálico, blanco, insolubre; casi nunca se encuentra pura, pero combinada con el

agua y la sílice forma la arcilla grasa ó plástica, cuya presencia hace las tierras fuertes, áridas, frias y húmedas.

La arcilla en su mayor estado de pureza se compone

52 partes de sílice.
33 partes de alúmina.
15 partes de agua.

La arcilla que más conviene para el cultivo es la conocida con el nombre de marga; se deslie con facilidad; espuesta á gran temperatura se disminuye, formando en el agua una papilla granugienta, conteniendo un 28 por 100 de carbonato de cal, del volúmen total.

La propiedad que se observa en la arcilla es la de conservar los gases amoniacos entre sus partículas, sobre todo cuando ha sido quemada ó se ha hallado espuesta á grandes calores, en cuyo caso absorbe con avides los gases, que son una excelente sustancia de los principios fertilizados que se encuentran esparcidos por la atmósfera, cualidades muy conocidas por los cultivadores prácticos.

La potasa y la sosa se encuentran en los restos de la mayor parte de las plantas, si bien se hallan combinadas con los ácidos sulfúrico, carbónico, silíceos, cuya base ejerce en la vegetacion gran influencia.

El hierro puede encontrarse en los terrenos cultivados en diferentes estados de oxidacion, trasmitiéndoles esa variedad de colores que observamos.

Los óxidos de hierro parecen tener, como las arcillas, la propiedad de retener los gases amoniacos en los abonos orgánicos.

El óxido de manganeso tiene la propiedad de dar á las tierras un color moreno más ó ménos pronuncia-

do, desconociéndose la acción que ejerce sobre la vegetación.

El azoe *existe* en las mejores tierras, si bien en diferentes proporciones.

La cal no se encuentra pura; en lo general se halla en estado de carbonato, sulfato ó *fosfato*, siendo la primera de estas sales la que más abundantemente se halla esparcida en las tierras laborables. En casi todos los terrenos cultivados se halla el carbonato de cal, y los hay que exclusivamente se componen de él, tales son los cretáceos y calcáreos. La marga es una calcárea que contiene arcilla y algunas veces sílice en proporciones variables.

La magnesia se encuentra casi siempre unida al carbonato de cal, existiendo en gran cantidad en ciertas tierras muy fértiles, y se encuentra en las plantas que crecen en estos terrenos.

El *humus* ó mantillo es el producto de la descomposición de sustancias vegetales y de algunos restos de animales, siendo la parte de tierra laborable que más activa la vegetación. Se compone de carbono, de las sales de potasa, sosa y azoe, elementos que son tan indispensables á las plantas en todas las épocas de su existencia.

La turba es un estiércol ácido.

CAPITULO IV.

Clasificación de los terrenos.

Las principales especies de tierras son tres, á las cuales se han dado el nombre de arcillosa, arenosa ó alcárea, segun en ellas domine la alúmina, la sílice ó

el carbonato de cal; pero como cada una de ellas se subdivide en un gran número de variedades, segun los elementos que entran en su composicion, y no siendo el objeto de este libro el conocimiento de ellos, seguiremos la clasificacion hecha por Mr. Gasparin, por ser la más sencilla y la más conveniente á este tratado.

PRIMERA SECCION.—*Terrenos que contienen carbonato de cal.*

Sedimentarios.	{	Inconsistentes.
		Flojos.
		Tenaces.
Arcillo-calcareos.	{	Arcillosos.
		Calcareos.
Cretas.	{	Grasas.
		Secas.
Arenosos calcareos.	{	Flojos.
		Inconsistentes.

SEGUNDA SECCION.—*Terrenos que no contienen carbonato de cal.*

Silíceos.	{	Secos.
		Húmedos.
Gredosos.	{	Inconsistentes.
		Flojos.
		Tenaces.
		{ Micáceos.
		{ Esquisitosos.
		{ Volcánicos.
		{ Arenosos.

TERCERA SECCION.

Arcillas.

CUARTA SECCION.—*Mantillos.*

Dulces.	{	Tierras de matorrales.
Acidos.	{	Tierras de bosque.
		Turbas.

Caractéres distintivos de los suelos.

Los caractéres que distinguen los terrenos de la primera seccion son fáciles de conocer; efervescen con los ácidos, esto es, que en echando un ácido cualquiera sobre un terron de tierra que contenga carbonato de cal,

produce una especie de ebullicion que aísla la cal, dejando en libertad el ácido carbónico.

Sedimentarios.—Se da este nombre á los terrenos recientemente depositados por las aguas; se componen de carbouato de cal, de carbonato de magnesia y al ménos 10 por 100 de sílice.

Se subdividen en inconsistentes, flojos ó tenaces, segun contengan en más ó ménos cantidad la arcilla.

Tierras arcillo-calcáreas.—Se llaman así la tierra vegetal, que contiene más de 10 por 100 de calcárea, y ménos de 10 por 100 de arena silícea; siendo arcillosas cuando contienen 50 por 100 al ménos de arcilla, y calcáreas cuando contienen 50 por 100 por lo ménos de carbonato de cal ó de magnesia, sin dejar por eso de contener un décimo de arcilla.

Suelos cretáceos.—Estos son los que contienen 60 por 100 de calcáreo y 10 por 100 ó más de arcilla; generalmente son frios y poco fértiles, siendo grasas ó secas segun sean húmedas ó áridas durante el verano á una profundidad de 0,^m20, 0,^m30.

Arenosos calcáreos.—Se designa con este nombre á los terrenos que contienen un 50 por 100 de arena silícea, cuyo grano tiene un diámetro 0,^m000 5 por lo ménos. Cuando predomina la arena son inconsistentes, y si contiene creta ténue y arcilla, en proporciones convenientes, de modo que adquiere cierta consistencia, se les da el nombre de arenoso-calcáreos flojos.

SEGUNDA SECCION.—*Terrenos que no contienen carbonato de cal.*

Los terrenos de la segunda seccion, como no tienen el elemento calcáreo, no hacen efervescencia con los ácidos.

Terrenos silíceos.—Llámanse así los terrenos que contienen al ménos 55 por 100 de sílice sin combinar. Estas tierras se hallan en las orillas del mar, en las márgenes de los grandes rios, formando alguna vez las *dunas*, siendo secos ó frios segun su aridez ó humedad.

Suelos gredosos.—Las tierras que contienen por lo ménos 45 por 100 de sílice *libre* muy dividida, toman el nombre de terrenos gredosos; son inconsistentes cuando en ellos abunda la arena; flojos cuando la arcilla se halla en proporcion conveniente, tenaces cuando han sido mojados y forman una pasta plástica.

Los suelos gredosos son *micáceos* cuando se encuentra en ellos pequeñas lentejuelas de mica; *esquitosos*, si contienen restos de rocas en hojas análogas á las pizarras; *volcánicos* cuando se hallan formados en gran parte por detritus de rocas arrojadas por los volcanes, siendo estos últimos muy apreciables para la agricultura si son flojos.

TERCERA SECCION.—*Arcillas.*

Las arcillas contienen más de 85 por 100 de arcilla pura y 15 por 100 de sílice sin combinar.

CUARTA SECCION.—*Mantillos.*

Los mantillos se llaman así porque contienen muchas materias orgánicas. Los mantillos son dulces ó ácidos, segun se hayan saturado ó no del ácido úlmico.

En fin, las tierras ó suelos pueden considerarse divididos en cuatro grandes grupos principales, clasificando cada terreno segun la sustancia mineral que predomine en esa composicion.

1.º *Tierras silíceas arenosas.*—Sub-suelo permeable.

Esta clase de tierras, en lo general, son áridas. Todos los abonos que pueden aumentar la consistencia de los terrenos arenosos les son favorables, y con el objeto de darles cierta consistencia, pueden mezclarse cretas y margas muy arcillosas. El riego de estos suelos da generalmente buenos resultados, si bien absorbe mucho abono. La superficie de los terrenos silíceos, seca por lo regular, se presenta con pendientes muy suaves.

Con sub-suelo impermeable.—Los terrenos de esta clase son ácidos y no producen más que abrojos y helechos. Pueden mejorarse por medio de trabajos de saneamiento y desecación, despues de lo que se le debe dar una ó dos labores y pasar un rodillo de mediano peso para disminuir su porosidad.

2.º *Suelos arcillosos ó gredosos.*—Cuando contienen la arcilla en proporcion conveniente constituyen los *limosos*, que en general son excelentes. Al contrario, si predomina la arcilla, sobre todo si el sub-suelo es impermeable, en cuyo caso son muy húmedos. Cualquiera que sea la posición que ocupen, estas clases de terrenos deben sanearse.

Tierras calcáreas.—Generalmente se hallan situadas en las faldas vertientes de las montañas; su pendiente excesiva hace que sean impropias para el cultivo; sin embargo, se mejoran estableciendo muros de sostenimiento escalonados, formando bancales, evitándose que sean arrastradas sus labores por las corrientes de las aguas.

Tierras turbosas y pantanosas.—Esta clase de suelos todos necesitan su saneamiento y desecación. El saneamiento puede hacerse de dos modos: 1.º, dando salida á las aguas estancadas ó filtradas por el subsuelo si es permeable; 2.º, dando salida á las aguas, sea por el

drenaje ordinario, sea por medio de canales de desecacion.

Esta última clasificacion nos ha permitido indicar las mejoras que puedan introducirse en cada uno, segun su clase, ya combinando, ya separando cada una de las operaciones de saneamiento, desecacion, riego y *ecubaje*.

Cada una de estas operaciones es un objeto de estudio y descripcion particular: nosotros trataremos solo del riego.

El agua es el primero y el más indispensable elemento de la vegetacion; de aquí la necesidad del riego. Sin embargo, no todas las aguas son buenas, ni pueden prestar dicho beneficio. Las aguas de que podemos disponer para el objeto son las de lluvias, de manantial, de arroyo y rio.

El agua de lluvia en el momento de caer es la más pura de todas; al recorrer en seguida la superficie del suelo, se carga y apodera de varias materias fertilizantes que arrastra consigo; de aquí el que la calidad de las aguas de lluvias varíen segun la naturaleza de los terrenos que recorren, siendo las más útiles para fertilizar las tierras las que corren por terrenos calcáreos ó yesosos, y por tanto contienen en disolucion parte de cal ó yeso.

Las que recorren terrenos gredosos son malas, porque depositan sobre los prados el limo, que impide el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Las aguas de lluvia al aprovecharlas para los riegos tienen dos inconvenientes: la irregularidad y la gran cantidad de materias extrañas que arrastran en las avenidas. Estos inconvenientes pueden remediarse en la mayor parte de casos, y al hacerlo, obtener con una so-

la obra resultados ventajosos. Está en construir en un punto conveniente un depósito ó receptáculo en el que el agua irá depositando los cuerpos extraños, y el volumen contenido se aprovechará en épocas favorables.

El agua que proviene del derretimiento de nieves puede considerársela en iguales condiciones que la de la lluvia, sin embargo que hay que atender á su temperatura, y si es posible, modificarla.

El agua manantial varía su calidad segun la naturaleza del suelo en el cual ha estado depositada ó que atraviesa; varía de temperatura, pues al paso que unas se hielan en invierno, otras derriten el hielo sobre que pasan. Cuando atraviesan capas calcáreas y de creta, suelos arenosos y rocas de arena, obra favorablemente sobre la vegetacion. La prueba de la bondad de esta clase de aguas lo demuestra la vigorosa vegetacion que se forma sobre sus bordes ú orillas. La que proviene de los manantiales situados en bosques ó que nacen en los pantanos, son dañosas.

Las aguas de los arroyos y de los rios son buenas cuando corren por terrenos buenos, segun se ha dicho de las de lluvias, si bien no deben emplearse al instante en que empieza á brotar la yerba, sobre todo si hay sequía, porque el sedimento que depositan es entonces perjudicial á la vegetacion.

El agua es mala para el riego por muy fria ó por muy caliente, cuyos defectos pueden evitarse con facilidad asimismo la delgada y la dañada.

La accion del agua sobre el terreno es inmensa; cria yerba, da abono, alimenta, protege y conserva las plantas, estimula la vegetacion, es un disolvente, en fin, una riqueza que, aprovechada segun las diferentes condiciones á que se presta, debemos apreciarla, con-

INTRODUCCION.

Nada más lejos de mi ánimo al formar el trabajo que hoy presento al público, que la convicción de haberlo llevado á cabo tan cumplidamente como reclama su importancia; empero la necesidad hoy más apremiante que nunca de un tratado que se ocupe con el debido detenimiento y profundidad en el aprovechamiento de las aguas para el riego, me ha decidido tiempo hace á dedicar todas mis fuerzas hasta conseguir en la medida de ellas llenar ese vacío que sobre cuestion tan interesante en nuestra España existe.

Hé aquí, pues, la justificación de mi conducta en este punto. La obra que he concluido dista mucho de satisfacer mis deseos, y más aun de satisfacer las exigencias del asunto.

Unicamente me he propuesto alcanzar en este trabajo la reunión de los principios y generalidades para la formación de los proyectos de canales de riego, su trazado y construcción, el que, además de contribuir á generalizar los conocimientos necesarios de un ramo tan útil é importante para nuestra patria, pueda ser-

servarla y mejorarla, como merecen sus beneficiosos resultados.

CAPÍTULO V.

Configuracion general de los terrenos.

Las grandes alteraciones que han sufrido las masas de terrenos elevados sobre el nivel de las tierras, afectan formas diversas.

Las montañas casi nunca se presentan aisladas; lo más frecuente es verlas reunidas en masas ó cadenas, y entonces forman lo que se llaman *cordilleras*, en la que sus faldas toman el nombre de *vertiente*, su interseccion superior el de *cresta*, y los faldones extremos ó más pequeñas *extremidades*, siendo por lo tanto las líneas de interseccion entre el terreno que lo rodean y las vertientes los piés de la cordillera.

Dichas cordilleras están formadas de divisorias principales, á las cuales se unen otras de segundo orden, cuya direccion es próximamente perpendicular á las primeras; á estas segundas se les unen otras de tercer orden, perpendiculares á ellas ó paralelas á las de primer orden y así sucesivamente, quedando de este modo subdividida la superficie en varias cuencas ó valles. Los valles principales ó de primer orden son los comprendidos entre las vertientes del mismo orden, las de segundo en las de segundo y así sucesivamente.

La inclinacion de las vertientes de las cordilleras es mucho menor que la que presentan las faldas de las montañas; las más rápidas de aquellas no pasan comunmente de 10 á 12 por 100 su inclinacion media,

siendo muy raro que las dos vertientes tengan la misma inclinacion.

Las líneas de interseccion de las vertientes con los terrenos que forman un mismo valle ó cuenca, siguen generalmente un notable paralelismo en sus diversas sinuosidades, de modo que cuando un lado presenta un ángulo ó curva saliente, en el opuesto es entrante; sin embargo, esta simetría no siempre tiene lugar, como sucede en las grandes cuencas, por las estrecheces y relieves sucesivos.

Luego tenemos las colinas, que se diferencian de las montañas, no solo por sus magnitudes, que son menores, sino por los grupos que no son tan regulares como las cordilleras; su altura máxima es de unos trescientos metros, y generalmente se encuentran situados sin orden ni ley alguna, y extendiéndose tanto en longitud como en latitud.

Los collados y los cerros no son más que ligeras ondulaciones de las llanuras.

Las llanuras son los terrenos casi horizontales; si están elevados toman el nombre de mesetas.

Las vegas son aquellas dilatadas superficies planas, más ó ménos extensas. Las vegas bajas, situadas algunas veces bajo el nivel del mar, como se ve en Holanda, se hallan generalmente cubiertas de arena, gravas, mariscos, etc., etc. Las vegas inmediatamente elevadas sobre el nivel de los rios y arroyos que los atraviesan, son por lo regular las más fértiles y más productivas por entrar en su composicion tierras bastante húmedas para la vegetacion, por lo cual son las elegidas para los principales cultivos de los climas templados.

CAPÍTULO VI.

Dadas algunas ideas generales de los terrenos, pasemos á examinar el modo de hacer el estudio del proyecto en general.

Para ello es preciso establecer ciertos principios y reglas, bajo las cuales se pueda proceder á su determinacion con toda seguridad, y por tanto la cuestion se reduce á que: dada una superficie de terreno que se quiere regar, y á la cual tiene que conducirse el agua, determinar de qué punto del rio se puede tomar y qué direccion será más conveniente para conducirla por medio de un canal.

La primera operacion á practicar, será la de calcular con la aproximacion posible el caudal de aguas necesario para los terrenos que se traten de fertilizar, incluyendo las huertas, arbolados, atendiendo á las mermas que ocasionan las filtraciones y evaporaciones.

La segunda operacion será verificar la medida exacta del caudal del agua, si es posible en el rio, haciendo dicha operacion en la época de las aguas ménos abundantes, y próximamente en el punto donde se elija para el emplazamiento de la presa y toma de aguas.

Para el cálculo de la que se necesitará en el riego de los campos, se atenderá á la cualidad absorbente del terreno, el grado de la unidad y número de riegos que por año necesiten las diversas plantas. La sucinta descripcion que hemos hecho de los terrenos nos sirve para conocer su permeabilidad; réstanos decir la cantidad de agua necesaria á los riegos, respecto de la cual poco

podremos fijar, pues está muy lejos de hallarse resuelta esta cuestión, puesto que en una misma extensión de terreno resulta ser muy variable.

Además de la mayor ó menor permeabilidad del suelo, hay que atender á la clase de frutos, al sistema de riego y del clima más ó menos meridional, así como también depende de la inteligencia del agricultor.

Si bien no es dable determinar con exactitud matemática dicho dato, sin embargo, preciso es fijar un tipo lo más aproximado posible, pues de otro modo sería indeterminado el problema de la superficie regable, dado un volúmen de agua, y por lo mismo no se podría fijar el cánón ni apreciar los productos probables del aprovechamiento de las aguas que traten de utilizarse.

En Francia, el tipo adoptado por término medio, es el de un litro por segundo, hectárea y riego.

En el Milanésado, se regula 1 $\frac{1}{2}$ litro por segundo y hectárea.

En el Mediodía de Francia, el consumo en general es de 0,8 litros; en el Rosellon 0,33 de litro; considerando con riego abundante las tierras que reciben medio litro por segundo.

En nuestras provincias varía el gasto de agua para el riego; desde $\frac{1}{2}$ hasta 2 $\frac{1}{2}$ litros por segundo; pero esta variedad depende de la clase de cultivos del mejor aprovechamiento y cuidado de los regantes y otras circunstancias de localidad.

En el Canal Imperial de Aragon se riegan unas 11.500 hectáreas por término medio; el caudal de agua es de 15 metros por segundo, y por consiguiente el gasto de agua es de 1,30 litros por segundo y hectárea. Sin embargo, hay riego en que se gastan 2.400 metros por hectárea.

Las acequias del Túria gastan en regar 10.500 hec-

táreas de huertas unos 11 metros por segundo; resultado por hectárea y segundo, 1,05 litros.

La acequia real del Júcar riega 20.000 hectáreas con un caudal de agua de 26 metros por segundo, lo que da por hectárea 1,30 litros.

En algunas acequias derivadas del río Jalon se calcula 1,17 litros por segundo y hectárea.

La real acequia de Granada, derivada del río Genil, riega 6.900 hectáreas, con un caudal de 2^{m3} por segundo, que corresponde 0,29 litros por hectárea.

En la huerta de Murcia el consumo es término medio de 1 litro por hectárea, y en Lorca el gasto es 0,33 litros por segundo y hectárea.

En el canal del Príncipe Alfonso se ha calculado por término medio 0,75 litros por hectárea y segundo.

Para el riego de los campos de Madrid se ha supuesto 0,82 litros por término medio.

En el canal de Urgel para una superficie regable de 98.073 hectáreas se calcula un caudal de agua de 10 ^{m3} por segundo, lo que da un resultado de 0,75 litros por segundo y hectárea.

La administración superior, á quien corresponde regular bajo el punto de interés general los diversos volúmenes de agua que se pueden derivar de los ríos, en beneficio de la agricultura y de la industria, asigna generalmente

$\frac{1}{2}$ litro por segundo y por hectárea de terrenos,

cuya cantidad solo puede servir como una aproximación sencilla.

M. de Gasparin admite que en el Mediodía la tierra que contenga $\frac{1}{5}$ de arena necesita un riego cada quin-

ce días, que la que tiene $\frac{2}{5}$ debe regarse cada once días, y el de $\frac{3}{5}$ cada seis; en fin, que los terrenos muy arenosos deben regarse cada tres días. El espesor de la capa de agua debe ser de 0,0^m8 á 0,0^m10, lo que da 800 á 1.000 metros cúbicos de agua por hectárea. Adoptando esta cifra será fácil determinar la cantidad de agua necesaria en cada caso particular.

Admitiendo que el riego dura en un período de seis meses ó ciento ochenta y cuatro días, se tendrán los siguientes gastos de agua por hectárea:

Número de riegos de 24 horas.	TIERRAS CONTENIENDO	Cantidad de agua expresada	
		En metros cúbicos.	En litros por segundo.
42	20 por 100 de arena.	42,000 m. ³	0,77
46	40 » »	46,000 m. ³	4,03
30	60 » »	30,000 m. ³	4,93
60	80 » »	60,000 m. ³	3,86

Segun M. Gasparin, la cantidad de agua necesaria á la irrigacion de una hectárea de terreno, varía entre 0,75 de litro y 4 litros por segundo.

El ingeniero piamontés Rafael Pareto inserta en su *Tratado de irrigacion* el siguiente cuadro:

Cantidad de agua empleada para el riego de una hectárea de prado.

LOCALIDADES.	Desagüe por segundo.
	<i>Litros cúb.</i>
Alto Garona (Al Mescur de Lasplanes)	0, 58
Canales derivados del Tech y del Thet (ingenie- ros de puentes y calzadas)..	4, 00
Pirineos Orientales (Jaubert de Passa)..	0,169
Bocas del Rodano, cerca de Arlés.	4, 02
Bocas del Rodano, cerca de Arlés (Montluisant, ingeniero jefe).	4, 66
Bocas del Rodano, cerca de Arlés (Mr. Peiret- Lullier..	4, 00
Altos Alpes é Isere (Mr. Favraud).	0, 68
Los Vosgues (Mar Perriu).	65, 00
Piamonte (provincia de Jorree)	4, 00
Piamonte (provincia de Mortara)..	0, 80
Lombardía (Milan)..	4, 00
Lombardía (Pavía)..	0, 75
Arcachon (proyecto de los ingenieros).	0, 50
Provenza, canal de Aix.	0, 83
Pirineos Orientales y España.	0, 25
Canales derivados del Tech (Langeon, ingeniero de puentes y calzadas...	0, 60
Grenoble, canal derivado del Drac.	0, 65
Auvernia, Latour, cerca Tauve.	2, 00
Auvernia (Mont Drac).	4, 25
Piamonte, cerca Turin.	0, 80
Piamonte, Serbatojo.	0, 36
Epinal (Montle), irrigacion de M. Datac.	400, 00
Nadault de Buffon. Tratado de irrigacion.	0, 25

Con el objeto de completar cuanto acabamos de decir, insertamos el siguiente cuadro, debido al inteligente arquitecto D. Félix María Gomez:

Cantidad de agua necesaria para el cultivo de diferentes hortalizas en una fanega de tierra del término y marco de Madrid.

NOMBRE DE LA SEMILLA.	Cantidad de agua por fanega de tierra en reales fontaneros del tipo del canal del Lozoya.		
	Máximos.	Medios.	Mínimos.
Acelga.	0,69		
Alfalfa.	2,74		
Apio.	3,23		
Berza.	1,72		
Brecol.	5,32		
Calabaza.	8,91		
Cardo.	2,77		
Cebolla.	1,73		
Cebada (forraje).	4,05		
Coliflor.	5,85		
Escarola.	1,43		
Espinaca.	0,48		
Judía.	2,51		
Lechuga.	1,04		
Lombarda.	1,73		
Melon.	0,16		
Palata.	0,50		
Pepino.	6,36		
Pimiento.	4,30		
Remolacha.	1,78		
Sandia.	0,16		
Tomate.	4,30		
Número de días que median desde la siembra á la recolección.	330	158	45
Número de riegos.	63	24	4
Altura de agua en cada riego, mets..	0,10	0,046	0,03
Cantidad de agua por fanega de tierra en reales fontaneros.	8,91	2,80	0,16

El número de riegos que necesita cada especie de cosecha es variable segun los terrenos, climas, etc., pero puede estimarse en general en 3 para el trigo, 2 para la cebada, 5 para el maiz, 3 para el panizo negro, 5 para las hortalizas y 4 anuales para las olivas, y los demás árboles 3.

Los prácticos estiman como término medio de duración para los riegos el de 24 horas.

Otro dato hay que tener en cuenta para la resolución del problema en cuestion, dato que, si bien no puede determinarse de un modo absoluto, sin embargo, es indispensable conocerlo aunque sea aproximadamente. Este es la cantidad de agua consumida por la evaporización y filtraciones del suelo. Esta cantidad varía segun el clima de la localidad, la permeabilidad é inclinación del terreno, y segun este sea un erial, un bosque, ó se hallen en él muchas plantas naturales, agrícolas ó industriales. En los climas meridionales puede evaluarse $0,10$ el coeficiente de evaporización, resultado de varias observaciones practicadas. El coeficiente de filtraciones varía segun el terreno sea arcilloso, compacto, y, sobre todo, muy inclinado, en cuyo caso es pequeña la pérdida de agua, llegando á su máximo, cuando el terreno es permeable, bastante llano, y se halle sembrado de plantas y raices, etc., etc.

De las observaciones hechas se ha deducido que el coeficiente de filtración varía de $0,05$ á $0,15$.

Segun Nadault de Buffon, en los grandes canales sin revestir el agua que se pierde en todos conceptos por término medio, es de un 15 por 100 del consumo total.

Dada esta sucinta idea del gasto aproximado de agua para los riegos, pasemos á determinar el caudal de agua disponible, para ello.

En los arroyos y manantiales, el medio más cómodo y seguro consiste en represar las aguas de modo que queden encajonadas por medio de un dique de tablas puesto de una márgen á otra, haciendo un vertedor de unos 10 á 12 centímetros lo ménos de altura bajo la superficie de la corriente. Se observa cuando el nivel superior del agua se mantiene constante, en cuyo caso la que salga por el vertedor es el caudal de la corriente. Para determinarlo se mide la altura de la superficie del agua sobre el umbral, y se valúa el gasto por la fórmula

$$Q = m w \sqrt{2 g h}$$

La cual corresponde á la salida del agua por almenaras. En este caso se toma, sin que sea error sensible, la altura $c a$ (fig. 1.^a), por h . Los coeficientes en este caso que corresponden á m , son los siguientes:

Altura h

0,^m1 0,^m2 0,^m3 0,^m4 0,^m6 0,^m8 0,^m10 0,^m15
0,^m20 0,^m22.

Valores m

0,^m424 0,^m447 0,^m442 0,^m407 0,^m404 0,^m397 0,^m395
0,^m393 0,^m390 0,^m385.

En la fórmula anterior sabemos que m es la relacion entre las áreas contraídas y de salida w la del orificio $a b$; g el incremento de velocidad ocasionado por la gravedad: h la carga ó altura del orificio.

Q el volúmen por segundo ó el gasto de agua.

En la práctica se puede hacer uso de las fórmulas siguientes:

$$Q = 0,405 w \sqrt{2 g h},$$

en la que

$$m = 0,0405$$

$$w = h \times$$

por la base proyectada en b .

Este método no puede practicarse en los rios de consideracion, por lo que hay que hallarlo por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = w v,$$

en la que w es la superficie trasversal y v la velocidad media.

El método para determinar la seccion consiste en tender de una á otra márgen una cuerda impermeable y dividida en metros para contar sobre ella las abscisas, hecho lo cual se sondeará cada 20 centímetros ó ménos, por medio de regionces divididos, ó bien con cuerdas impermeables divididas, que se mantendrán en una posicion vertical, por medio de un peso suspendido en su extremidad inferior. Las acotaciones correspondientes á la superficie del agua en cada estacion nos darán el perimetro mojado ó la seccion.

Para hallar la velocidad se hace uso de unos aparatos llamados hidrómetros. El más sencillo, y tal vez el mejor, es el flotador ó nadador. Se reduce á una esfera de madera ú hojalata lastrada ú otro cuerpo cualquiera, cuyo peso específico sea menor, pero próximamente al del agua.

Su uso es muy sencillo: se mide una distancia entre dos cuerdas ó visuales perpendiculares á la direccion de la corriente. Hecho esto, se dejará al nadador seguir la corriente en distintos puntos de la superficie, echándole aguas arriba de la primera cuerda, á fin de que al llegar á ella haya adquirido su correspondiente veloci-

dad. Se cuentan los segundos que tarda en andar la distancia medida, se divide esta por los segundos, el cociente representará la velocidad media, puesto que el flotador ha sido arrastrado por la corriente con su misma velocidad, y repitiendo esta operacion varias veces, sumando los resultados y dividiendo por su número, se tendrá con bastante aproximacion la velocidad media. Tambien puede hallarse la velocidad media en la superficie, por medio del volante de paletas.

Para medir la velocidad en las corrientes á diferentes profundidades, puede hacerse uso del *Tubo de Pitot*, del *Molinete de Woltman*, cuyos usos se hallan perfectamente descritos en las obras de hidráulica, por cuya razon se omiten aquí sus descripciones.

Tales son los principales datos necesarios para poder determinar con acierto la primera parte del problema, y para la segunda deberemos fijarnos en los principios establecidos en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO VII.

Trazado y establecimiento de los canales.

En el establecimiento de un riego tenemos cuatro clases de canales, que son:

- 1.º Los canales principales ó de conduccion.
- 2.º Los canales secundarios ó acequias de distribucion.
- 3.º Los canales de desagüe ó aliviaderos.
- 4.º Los escorrederos ó azarbes.

El canal principal es el comprendido desde la pres

hasta el punto más lejano del regadío. Generalmente presenta dos partes distintas, de las que una se halla entre la toma de agua y los terrenos cuyo nivel está más bajo para que puedan tomar parte en el riego; el otro, que da principio en las primeras bocas de distribución, comprende todo el resto del canal con las ramificaciones que pueda tener. La primera parte es un canal de conducción, y la segunda, que es donde nacen los brazos ó canales para la distribución, es lo que propiamente se llama *canal de riego*. Se distingue además por sus anchos, que van disminuyendo sucesivamente á medida que el caudal de agua va siendo menor por el gasto hecho por los canales secundarios.

La longitud del canal principal es muy variable, y cuanto mayor sea, más fácil se conducirán las aguas al terreno regable, con una pendiente suficiente, aun colocando la embocadura bastante baja, á fin de que el canal reciba suficiente caudal de agua para su regular alimentación.

Los canales principales deben disponerse de tal modo, que el nivel del agua se conserve constantemente á cierta altura, respecto de los puntos más elevados del perímetro que se trate regar, por cuya razón deben siempre alejarse más ó menos de las líneas del thalweg. En efecto, siendo generalmente fuertes las pendientes de los ríos comparadas con las de los canales, podemos disminuir ó suavizar las pendientes naturales, tan pronto como se hallen separadas del curso del agua que los alimenta. El trazado más ventajoso es por las faldas de los valles en terreno montañoso, siguiendo las ondulaciones del terreno en las vegas; en una palabra, acomodarse á sus irregularidades, á fin de sostener la altura del agua cuanto sea necesario.

Las alineaciones se sujetarán á dichas irregularidades, teniendo presente que el radio de las curvas debe aumentarse ó disminuirse segun las circunstancias particulares del trazado y del terreno. Las curvas deben ser de mayor radio en los canales que no tienen revestimiento, presentando á la corriente de las aguas, con tornos suaves y redondeados como lo demuestra la naturaleza. Por tanto, para evitar la corrosion de las márgenes y los depósitos de arenas y légamos que, realzando el fondo, alteran el régimen, es principio admitido que los radios no deben ser menores de 100 metros.

Cuando el terreno es muy ondulado, es necesario ceñir la línea cuanto posible sea á las desigualdades del terreno, pues de lo contrario la gran remocion de tierras y obras á ejecutar, ocasionaria crecidos gastos. En este caso se pueden adoptar curvas de pequeños radios, revistiendo el interior del canal; pero como esta obra tambien es costosa, debe hacerse un estudio comparativo de ambos métodos, prefiriendo á igualdad de circunstancias el que nos enseña la corriente natural de las aguas, éste es el de las curvas muy abiertas:

Reasumiendo tendremos: que serán preferibles las curvas de 100 á 150^m de radio; que en el caso de ocasionar dicha amplitud gastos muy crecidos, puede reducirse hasta 30^m, debiendo considerarse como limite inferior en los canales sin revestimiento.

Cuando los canales están revestidos de ladrillo ó de otra fábrica consistente, se evitan casi por completo los inconvenientes de las curvas algo cerradas, y puede reducirse el limite inferior hasta 10^m.

Réstanos solo añadir que este principio, aplicable á los canales secundarios ó acequias de distribucion, deja de serlo en los demás, y aun en aquellos de escasa

seccion en que el coste del revestido es insignificante.

Respecto á las obras de explanacion, debe procurarse la compensacion de los terraplenes con los desmontes, para evitar los préstamos y caballeros á los lados de las lindes, lo que dificultaria el riego por la desigualdad que presentaria el terreno. Si los accidentes del terreno no permitiesen la compensacion, el movimiento de tierras debe hacerse de manera que contribuya á regularizar y allanar el terreno que se trate regar. En fin, el sistema de préstamos no es admisible en el trazado de canales de riego, pues además de las razones expresadas y la de disminuir la superficie regable, tiene otras gravísimas que la práctica demuestra.

Los canales secundarios son los brazos que se derivan del canal principal para distribuir las aguas á otras acequias subalternas. Los canales secundarios tienen en su origen esclusas de compuertas sencillas; pero regularmente provistas de módulo regulador. Estos canales deben conservar su altura lo mismo que los principales, respecto de la parte más alta de los terrenos que se pretenda regar. Regularmente se ejecutan á cuenta de los regantes; pero creemos que es muy conveniente bajo todos conceptos el que formen parte de la ejecucion material del proyecto para evitar errores y dilaciones en el buen aprovechamiento de las aguas.

En cuanto á las acequias ó regueras son siempre de cargo de los interesados que las disponen, siguiendo las dimensiones y direcciones convenientes para la superficie que han de regar.

Canales de desagüe. Los canales de desagüe son los que tienen por objeto asegurar la salida de las aguas

que sobran de las obras reguladoras, tales como las vertientes y los paraderos de fondo. Nada hay que decir de estos canales, que no difieren de los socaces de los molinos harineros. Cuando se hallan en un nivel bastante elevado, con relacion á las tierras ribereñas, se pueden utilizar sus aguas para el riego; pero regularmente eso no puede tener lugar sino á gran distancia agua abajo del punto de partida. Por otra parte, generalmente no reciben más que una escorrentía irregular y eventual.

Los escorrederos son los canales destinados á recibir las aguas que han servido para el riego, por lo cual ocupan los puntos más bajos de los terrenos regados. Difieren de los canales principales y secundarios en el sentido de que en un canal de riego la seccion va disminuyendo sucesivamente por el consumo de las aguas; al escorredero que cruza una comarca algo extensa sucede lo contrario, su caudal crece de un modo inverso. Cuando un canal funciona solo como corredero, debe dejársele toda la pendiente que permita la situacion y naturaleza del terreno en que está situado.

En estos canales no deben admitirse presas ni artefactos, nada, en fin, que pueda alterar el libre curso de las aguas y perjudicar por lo tanto el escurrer y sanear los terrenos regados, en los cuales su parte inferior conserva siempre algo de humedad.

Cuando los canales de escorrederos llegan cerca de terrenos que se hallen á un nivel más bajo, pueden entonces, por medio de nuevos desvíos, tomar el carácter de canales de riego, en cuyo caso se pueden utilizar operando en ellos lo mismo que se ha dicho de los precedentes, hasta dejar las aguas que deben utilizarse en

lo posible y ser gastadas en el viejo, antes de llegar á reunirse á los grandes rios.

Este método de gran utilidad se ve su aplicacion en las infinitas derivaciones que se han hecho del rio Jalon y aun del mismo canal Imperial en Aragon; si bien podrán beneficiarse más, pues por la mala administracion, particularmente en el primero, se pierde gran cantidad de agua en las vegas de Riela, Calatorao, Sallilla, Epila, Grisen y Alagon.

En todo buen sistema de riegos deben existir los escorredores, pues por medio de ellos se puede asegurar la evacuacion y saneamiento del terreno; de lo contrario, conservando la humedad, no produciria más que yerbas pantanosas, siempre perjudiciales á los animales. Sin embargo, algunos casos se presentan en que no hay necesidad de abrir canales de esta clase, como por ejemplo, cuando la parte inferior de la corriente puede suplirlo, encontrándose próximo á los terrenos que tienen que regarse barrancos profundos, abismos ó sumideros ó terrenos absorbentes, en cuyo caso de nada sirven los escorrederos.

Cuando los escorrederos tienen que cruzar diques que pueden haberse establecido para evitar los perjuicios de las crecidas y desbordamientos de los rios, en este caso, interin duran las crecidas, se intercepta la comunicacion entre los terrenos que tienen que escurrir y el rio, por medio de compuertas giratorias; cuando se retiran las aguas, el escorredero funciona libremente. Los canalizos con compuertas giratorias ó con charnelas horizontales, que maniobran por sí solas, no son los de mejor uso, porque se introduce arena entre sus juntas y las impide funcionar.

Los canales de riego y de navegacion son un caso

particular de los canales, en cuyo caso tienen doble utilidad.

De ello tenemos un ejemplo en el canal Imperial de Aragon, el cual recibe barcas de pequeña cabida, y además tiene el mismo las boqueras ó tomas de agua particulares, presentando por un lado el uso de las aguas para la navegacion, y por otro alimentando de aguas para el riego á un gran número de hectáreas de terreno.

Asímismo se sitúan molinos en los saltos que forman las esclusas, cuyas aguas, despues de servir de fuerza motriz y prestar un beneficio á la industria, se reunen á los canales secundarios que sirven para el riego, beneficiando la agricultura.

La Italia nos presenta diferentes ejemplos de esos canales, cuyo estudio es de distinto carácter de los que tratamos en este libro, y que no hacemos más que referir, á fin de que se tenga presente segun las circunstancias de localidad, y por tanto se pueda atender á los objetos que puede llenar.

Estudios sobre el terreno.—Proyectos.

Las reglas principales para el trazado de los canales de riego se presentan bajo distintas formas. En el capítulo VI hemos manifestado á qué se halla sujeta la resolucion del problema, despues de lo cual debemos ocuparnos de la posibilidad de establecer un sistema de riego en una localidad determinada.

Para ello son necesarios muchos reconocimientos preliminares, escrupulosas observaciones de la configuracion del terreno, de sus pendientes generales y de la direccion de las corrientes que pueden existir. Hechas

estas observaciones se procederá, sobre el terreno, á las primeras operaciones que han de tener por objeto el trazado y la nivelacion del canal. Debe principiarse por obtener un plano general de toda la localidad interesada en el riego que se proyecta. Este plano general, ó las cartas topográficas que le reemplacen para servir á la redaccion de los proyectos, deben tener el mayor número posible de cotas de alturas. En efecto, en ninguna otra circunstancia dichos datos son tan necesarios como en los estudios de riego para tierras. Si se dispone de algun tiempo y se juzga conveniente el levantar un plano especial, es muy útil que represente, por medio de grandes cortes horizontales equidistantes, el relieve exacto de la superficie del terreno. Con dicho plano, y las nivelaciones bastante extensas, se puede trasladar al papel haciendo en él las comparaciones más exactas entre las diferentes líneas de operacion. Si entre las líneas á escoger hay varias que puedan convenientemente dar el mismo resultado, claro es que en igualdad de circunstancias será preferible la más corta, la más directa, puesto que así se disminuyen los gastos: primero, por la compra de los terrenos; segundo, por la ejecucion de la explanacion y obras de fábrica; tercero, por las limpieas que, en esta clase de canales, deben hacerse por lo ménos una vez al año. Sin embargo, si se toma agua de un rio sujeto á disminucion de caudal en verano, no se debe temer el aumento de la longitud del trazado por medio de un buen canal de conduccion que permita establecer la toma de agua, de modo que se pueda evitar la escasez en la época más importante para el riego de las tierras.

Por otra parte, no siempre se puede acortar el trazado cuyo desarrollo está generalmente sujeto á la adop-

cion de pendientes y velocidades del fondo, que está en relacion con las diversas clases de terreno. Sin embargo que, como se verá más adelante en el capítulo que trata de las obras de fábrica, se puede recurrir, en este caso, á varios medios para evitar las degradaciones.

Despues de estos datos generales es cuando se procede, ya sobre el terreno, ya sobre el papel, á un primer trazado que se procura establecer, por tanteo, en las mejores condiciones posibles. Se tiene levantado un plano general convenientemente acotado, un perfil longitudinal con los perfiles trasversales que deben tomarse con mucha extension para que sirvan á los cambios del eje primitivo, dado el caso que se vea la necesidad de modificarlo, como sucede algunas veces en los diferentes tanteos que exige el estudio del mejor trazado.

Por esto es preciso que en estos estudios de canales se presente en el mayor ancho posible el relieve natural del terreno, aparte del perfil propiamente llamado del canal.

Creemos además oportuno hacer aplicacion del método geodésico para hacer en el terreno y representar en el papel los proyectos de canales, debido á los conocimientos científicos del distinguido Ingeniero, ya difunto, Sr. D. Francisco Javier Barra. La Memoria que al efecto se publicó en el año 1858 por la *Revista de Obras públicas* es de suma utilidad, y recomendamos se consulte, pues puede ser de inmediata y ventajosa aplicacion.

Pendientes y secciones.

La determinacion de la pendiente y seccion de un canal son muy variables, pues depende de las circuns-

tancias particulares de la localidad. Dichos elementos se hallan relacionados directamente con la velocidad del agua, por lo que estas deben encontrarse necesariamente dentro de relaciones limitadas, segun las diferentes resistencias del terreno. Tampoco conviene adoptar pendientes muy suaves, porque además de aumentar la seccion, se tendria el inconveniente de que se formarían continuos depósitos, cuya limpia produciria un gran gasto en la conservacion. Las pendientes más generalmente adoptadas se hallan circunscritas á un límite estrechísimo, siendo las de 0^m,30 y 0^m,60 por kilómetro.

Los Ingenieros que se han dedicado al estudio de canales aconsejan la adopcion de un sistema de pendientes crecientes sucesivamente, á lo ménos que no sean decrecientes, con el objeto de evitar los depósitos de lógamo.

En general, es utilísimo el economizar las pendientes tanto como sea posible, á fin de que la velocidad de las aguas no cause degradaciones en los ribazos ó cajeros, pues de suceder así, tendrian que defenderse construyendo revestimientos, siempre costosos, á ménos que el terreno sea de una resistencia poco comun.

Cuando las aguas que se destinan al riego son turbias, la disminucion de la pendiente es más difícil, pues los gastos de conservacion aumentan considerablemente á causa de las continuas limpias que exigen los canales y las presas, por los fangos y arenas que se depositan; por cuya razon, antes de determinar las pendientes, preciso será examinar la naturaleza de las aguas que tienen que alimentar el canal de riego.

El encontrar un término medio entre los dos inconvenientes expuestos, es de una apreciacion delicada,

pues hay que obtener un verdadero régimen, esto es, un estado de equilibrio entre la tendencia del agua á degradar su lecho, lo que es muy fácil si las tierras han sido recientemente removidas, y la tendencia que, en el caso contrario, tiene de dejar depósito.

Pasemos á examinar las pendientes adoptadas, para de ello deducir las más convenientes.

En el Norte de Italia se ha dado á los canales de riego pendientes muy fuertes que hoy no se admiten, tanto más, cuanto las aguas empleadas para tan beneficioso objeto son casi todas claras, y por tanto podían haberse adoptado más suaves.

En la Provenza, donde se emplean aguas turbias, las pendientes admisibles deben estar entre 0,50 y 0,90 por kilómetro, como se observa en los antiguos canales de aquel país.

No siempre se presta el terreno á inclinaciones tan pronunciadas, y entonces, tanto por esta circunstancia como por abrazar un perímetro más extenso, hay canales en que se han adoptado pendientes de 0^m,30 á 0^m,36, aun siendo turbias las aguas.

Pero si bien es cierto que se tienen canales con dichas pendientes; no lo es ménos que su adopción tiene un gran inconveniente, porque el légamo, tan útil para que sirva de abono á los terrenos regados, será en este caso perjudicial, porque se irá depositando paulatinamente en el lecho del canal.

Sin embargo, es preciso reconocer que en lo posible se debe partir siempre con pendientes moderadas, para lo cual se harán numerosos tanteos en los proyectos, procurando no forzarlas sino por causas muy determinadas.

La disminucion en todo lo posible de las pendientes,

además de proporcionar la ventaja de utilizar el riego en la parte elevada de la tierra regable, se obtiene la de conservar los cajeros y el fondo del canal, por no tener las aguas gran velocidad, y por tanto no causar degradaciones, evitando los gastos de limpia. Las mismas obras de fábrica se hallan ménos expuestas á socavaciones y deterioros, todo lo que nos demuestra que cuando no hay una precision para abandonar este principio, las pendientes suaves son las que deben preferirse en el trazado de los canales de riego.

En los tres canales del Milanésado se ejecutaron 200 kilómetros de costosos revestimientos, cuyo gasto podía haberse disminuido con un sistema de pendientes suaves ó por medio de saltos que podían haberse aprovechado para la industria, puesto que la naturaleza de las aguas no exigía pendientes tan forzadas, ventajas que resultan de una seccion menor y de la rápida distribución de los grandes volúmenes de agua que se utilizan en el trayecto de estos grandes canales; pero no debe considerarse como error, atendido que no había obras de la misma importancia que pudieran servir como término de comparacion.

Por las sencillas observaciones expuestas, se ve cuán difícil es el adoptar un buen sistema de pendientes para un canal de riego si se quieren tener en cuenta á la vez la naturaleza y valor del terreno, la calidad de las aguas y otras circunstancias.

Reasumiendo las observaciones que acaban de hacerse sobre las pendientes de los canales de riego, se ve que pueden variar entre límites bastante extensos, según las circunstancias locales, siendo las principales la naturaleza del terreno y la de las aguas. Estos límites varían desde 0^m,25 á 0^m,30 por kilómetro has-

ta 1^m,80, 2^m,00 y más aun. Si se examinan las acequias trazadas en los países montañosos, en donde no hay interés alguno en disminuir las pendientes, se ve que algunas de ellas llegan hasta 3 metros, lo que se concibe fácilmente; pero esto es un caso excepcional.

En las localidades ordinarias, cuando se trata de regar terrenos con pendientes suaves, como sucede generalmente, las más admitidas son de 0^m,40 á 0^m,50 por kilómetro *término medio*. Decimos *término medio*, porque atendiendo á las ondulaciones del terreno, hay ocasiones en que no se puede prescindir el variarlas, y algunas veces de un modo repentino.

Por otra parte, las anteriores consideraciones no son más que generalidades propias para guiar al facultativo en sus cálculos; pero no son suficientes para la determinacion de los elementos de estos cálculos.

Antes de terminar daremos algunas noticias de las pendientes adoptadas en varias obras de nuestra Península.

En la acequia de riego de los campos de Madrid proyectada por el Inspector general Sr. D. Juan de Rivera, se fija la pendiente de 1 por 5.000, que con la seccion trasversal de 1,90 metros cuadrados, dará paso á 1,18 metros cúbicos de agua por segundo, con una velocidad de 0,62 metros.

En el canal de Urgel se ha adoptado la de 0,0005 por metro.

En el canal del Príncipe Alfonso la de 0,0004 por metro.

La pendiente general del canal derivado del rio Henares, en la provincia de Guadalajara, es de 0,0116 por metro.

En el canal de Aragon la pendiente es de 0,0001, pe-

ro debe tenerse presente que sirve tambien para la navegacion.

En varias acequias derivadas del rio Jalon se tienen pendientes de 0,001, 0,0025 y 0,0035.

Determinacion de la seccion.

Si los canales de riego se estableciesen con una sola y misma inclinacion, como sucede con los de navegacion, en los que la pendiente del cauce es muy pequena, entonces la seccion conveniente para un canal de riego, teniendo que suministrar un volumen determinado de agua, podria establecerse por la simple observacion de la de varios canales análogos, que se hallen en buenas condiciones.

Mas esto no puede tener lugar, atendido á que hay que admitir grandes variaciones para las pendientes de los canales de riego, pues se concibe desde luego que á gasto igual la seccion disminuye en la proporcion que la velocidad aumenta.

Por lo manifestado se deduce que, para establecer la relacion entre la velocidad y la seccion, debemos atender á ciertos principios á que se halla sujeto el movimiento del agua en los canales.

La máxima velocidad parece debe hallarse en el filete de la superficie del líquido, pero en rigor no sucede, por la influencia que sobre ella ejerce el aire. Sabemos que cada punto de la seccion de una masa fluida tiene una velocidad relativa á su posicion, y que si se conociese la ley, segun la cual varían las velocidades de las diversas moléculas segun su distancia á las paredes ó á la molécula central, seria fácil representar la velocidad de cada una.

Sumando despues estas velocidades y dividiendo la suma por su número, ó lo que es lo mismo, dividiendo por el *área* de la seccion el volúmen de agua que pasa por ella en una unidad de tiempo, se tendrá la velocidad *media* de la corriente. Siendo fácil la determinacion de la velocidad de las aguas corrientes en la superficie, se ha tratado de expresar por una fórmula el valor de la velocidad media en funcion de aquella. Para ello pueden seguirse dos procedimientos: uno, estableciendo una forma razonada de la ecuacion, y otro, determinando el gasto de un canal, y dividiéndolo por la superficie de la seccion.

Sea v la velocidad media, y V la de la superficie en el punto ó filete en que es mayor, y es evidente que la relacion $\frac{v}{V}$ será un quebrado propio. (En efecto, sabemos aproximadamente que $v = 0,8 V$, pero no siendo esta relacion constante, la haremos funcion de la velocidad V , y la podremos representar por $\frac{V+a}{V+b}$. Siendo a y b dos constantes experimentales, expresion muy general por contener V en ambos términos del quebrado; por consiguiente, tendremos que

$$\frac{v}{V} = \frac{V+a}{V+b} \text{ y } v = V \frac{V+a}{V+b}.$$

Tal es la forma que establece Prony, y en la cual ha determinado las constantes a y b , discutiendo 38 experiencias verificadas por Dubuat. Así la fórmula final es

$$v = \frac{V + 2,37187}{V + 3,45312}$$

siempre con relacion al metro.

Mientras que la velocidad V en la superficie esté comprendida entre 0,232 y 1,393 por segundo, el valor anterior se reduce muy próximamente á la relación

$$v = 0,8 V = \frac{4}{5} V.$$

Pasemos á la fórmula que expresa las relaciones que existen y ligan el perímetro bañado, la seccion del canal, la inclinacion del lecho y la velocidad media del agua.

Inclinacion del lecho: su valor.—Si por un punto cualquiera o del fondo de un canal se imagina una línea horizontal $o p$, la vertical correspondiente $p q$ será la pendiente del canal sobre la longitud $o p$. Esta sería la pendiente absoluta, si los puntos o y q estuviesen en las extremidades del lecho, y sería la pendiente relativa que representaremos por I , si $o p$ es la unidad lineal. Si D es la diferencia de nivel entre dos puntos distantes una longitud L , la pendiente relativa ó por

unidad lineal, será $I = \frac{D}{L}$ que es igual á la tangente

trigonométrica del ángulo $p o q$, pero como este ángulo es siempre muy pequeño, su tangente se confundirá con el arco ó con su seno, y así se podrá tomar indiferentemente ó hacer $I = \text{sen. } p o q$ ó $I = \text{arco } p o q$ ó $I = \text{tang. } p o q$.

Valor de la seccion.—La seccion de un canal y de una corriente cualquiera de agua es en general el área de una seccion verificada en la masa fluida por un plano normal al eje de la corriente. Representándola por s si el canal es rectangular, y h su altura ó la profundidad del agua, y l la luz del fondo, será $s = l h$. Si es trapezoidal (fig. 1.^a), y es l la anchura en el fon-

do, l' en la superficie, y h la altura, será $s = (l + l') \frac{h}{2}$; si hacemos

$$\left(\frac{a' c}{a a'} = n = \frac{d b'}{b' b} \right) (1)$$

como $a' c = d b' = \frac{1}{2}(l' - l)$ y $a a' = h$ la ecuacion

(1) se convertirá en $\frac{l' - l}{2 h} = n$ de donde $l' = l + 2 h n$,

cuyo valor sustituido en la expresion s , nos da

$$s = (l + l') \frac{h}{2} = (l + l + 2 h n) \frac{h}{2} = (2 l + 2 h n)$$

$$\frac{h}{2} = (l + h n) h \text{ que es el valor buscado.}$$

Expresion del perimetro bañado.—La parte de contorno de la seccion fluida que está en contacto con las paredes del lecho, inclusa la del fondo, se denomina el perimetro bañado, que designándole por c , será en el paralelógramo $c = l + 2 h$. Si fuese un trapecio, sería $c = l + 2 d b$ (fig. 1.^a); pero

$$d b = \sqrt{d^2 b^2 + b^2 h^2}$$

y como $d b' = n h$ y $b b' = h$ será

$$a c = \sqrt{n^2 h^2 + h^2} = h \sqrt{n^2 + 1}$$

y por consiguiente

$$c = l + 2 h \sqrt{n^2 + 1}.$$

Tambien podremos observar que siendo n la tangente del ángulo que forma el plano $d b$ con la vertical,

y teniendo una fórmula en trigonometría que dice

$$\sqrt{\text{tang. } A^2 + 1} = \frac{1}{\text{sen. } A}$$

será asimismo

$$c = l + 2 h \frac{1}{\text{sen } f}$$

llamando f al ángulo del talud con la vertical.

Valor del radio medio.—En la teoría del movimiento de las corrientes también se considera lo que Dubuat ha llamado radio medio: que es la relación de la sección del canal (con el perímetro bañado de la misma, y que sería, por consiguiente, igual á $\frac{s}{c}$). Le representamos por R .

Presentadas estas ideas preliminares, nos ocuparemos ahora de examinar la naturaleza del movimiento del agua en los canales dependiente de las fuerzas, cuya naturaleza tenemos que estudiar, y que le producen. Después estableceremos la fórmula de este movimiento, haciendo aplicación de ellas á los casos que en la práctica más comunmente puedan presentarse.

Relación de las velocidades en la vertical.—Sea ahora AB (*fig. 3. bis*) la profundidad de las aguas en un punto de la corriente, la porción de horizontal AC la velocidad en la superficie, la BE la velocidad del fondo. Si hacemos pasar por C una vertical $CD = \frac{1}{2} AB$, y trazamos la rama DE de parábola, cuyo vértice sea D , siendo su eje horizontal las longitudes de las diferentes horizontales $ac, a'c', a''c'' \dots$ expresan las velocidades de los filetes de la corriente en la misma vertical

$A B$ á diferentes profundidades. La velocidad es, pues, la misma desde la superficie hasta la mitad de la profundidad.

Relacion de velocidades en la horizontal trasversal.
—Las relaciones entre las velocidades en una horizontal trasversal, están representadas, segun la experiencia, por las ordenadas de una elipse, cuyo eje mayor es la trasversal y el semi-eje menor la velocidad máxima en la horizontal.

Determinacion de la velocidad media.—Esto supuesto, supongamos que $C L L' D$ (*fig. 3.^a*) representa la seccion del agua que pasa por un canal, normalmente á la direccion de la corriente, y es evidente que si en todos los puntos de esta superficie consideramos rectas paralelas á la corriente, y cuyas longitudes expresen las velocidades de los filetes respectivos, los extremos de estas rectas determinarán una superficie curva, la que, por lo ya dicho, tendrá por secciones horizontales semi-elipses, y por secciones verticales y paralelas á la corriente, ramas de parábolas acordadas con líneas verticales á la mitad de la altura, análogas al perfil de la (*fig. 3.^a bis*), que es la seccion por el eje. Ahora bien: representando las velocidades, el número de moléculas que han pasado por la seccion en la unidad de tiempo, el volúmen comprendido entre la seccion $C L L' D$; la superficie de la elipse $D G C$, la superficie de la elipse de la base $L' K L$, y la superficie convexa determinada por los extremos de las velocidades, nos dan el gasto ó caudal de la corriente. Luego, si determinamos el volúmen de este cuerpo, y lo dividimos por la superficie $C L L' D$, tendremos la velocidad media que buscamos.

Esta determinacion no puede hacerse por los recur-

tos ordinarios de la geometría; así, daremos el resultado final que da el cálculo infinitesimal.

Sea h = altura $A B$, $n = \frac{c L}{c G} = \frac{L' d}{d D}$ = relación entre la base y la altura del talud de las paredes del canal.

Q = caudal de la corriente.

π = la relación del diámetro á la circunferencia = 3,14159.

$2a$ = $L L'$ = ancho del fondo.

v' = velocidad de la superficie = $A G$.

v'' = velocidad en el fondo = $B K$,

y tendremos

$$Q = \frac{\pi}{96} v h \left(48 a + 24 n h - \frac{v' - v''}{v'} (8 a + 7 n h) \right)$$

y dividiendo este valor por la superficie del trapecio $G L L' D$, tendremos:

Velocidad media

$$= v = \frac{\pi v'}{96} \times \frac{48 a + 24 n h - \frac{v' - v''}{v'} (8 a + 7 n h)}{2 a + n h}$$

Si suponemos, para abreviar lo que está conforme con la experiencia, que $v'' = 0,6 v'$, se reducirá mucho la fórmula, y tendremos

$$v = v' \frac{\pi}{240} \frac{412 a + 53 n h}{2 a + n h}$$

y poniendo por π su valor 3,14159, sacaremos

$$Q = v' h (1,43 a + 0,68 n h), \text{ y } v = v' \left(0,7235 + \frac{0,28 n h}{2 a + n h} \right) (B)$$

En la mayor parte de los casos podrá despreciarse el segundo término del valor de v como sumamente pequeño, y la fórmula se reduce entonces á $v = 0,7235 v'$.

La velocidad media en una vertical podremos determinarla por las fórmulas $w = 0,94 v$, siendo v la velocidad en la superficie, ó punto superior de la vertical.

Ecuacion del movimiento en los canales.—Tratemos ya de expresar en una fórmula las relaciones que en el movimiento de las aguas por canales ligan el perímetro bañado, la seccion del canal, la inclinacion de su lecho y la velocidad media del agua.

Para esto recordaremos que estando el agua solicitada á descender con un movimiento uniformemente acelerado, en virtud de una fuerza aceleratriz constante, y verificándose el movimiento del agua uniformemente, la fuerza aceleratriz está destruida por las resistencias que hemos analizado. Esto supuesto, sea CD (figura 2.^a) la pendiente del canal, y m una molécula del fluido; la fuerza de gravedad mg con que tiende á descender esta molécula, se descompone en dos: una mq , en sentido de la corriente, y que produce todo su efecto, y otra normal, que es destruida completamente por el plano CD ; pero el triángulo mqg , rectángulo en q , nos dará $mq = mg \times \cos. gmq = mg \times \text{sen. } qgm$; y como este ángulo $qgm = CDE$ que mide la inclinacion del lecho, por tener sus lados respectivamente perpendiculares, será $mq = mg \times \text{sen. } CDE$; pero $mg = g$, y haciendo $CDE = I$ como inicial de inclinacion, será $mq = gI$. Tal es el valor de la fuerza aceleratriz, y como conocemos la retardatriz, que es

$$= a' \frac{c}{s} (v^2 + b v)$$

á la que ha de ser igual, tendremos

$$g I = a' \frac{s}{c} (v^2 + b v)$$

Siendo $\frac{s}{c}$ el radio medio que representamos por R , será

$$\frac{c}{s} = \frac{4}{R} \quad \text{y} \quad g I = a' \frac{4}{R} (v^2 + b v) = \frac{4}{R} (a' v + a' b v)$$

y haciendo $a' b = A$ y $a' = B$, tendremos en general

$$g I = \frac{c}{s} \left(A v + B v^2 = \frac{4}{2} R \right) (A v + B v^2) \dots\dots\dots (C)$$

Si representamos por Q el caudal de la corriente, será $\frac{Q}{s} = v$, cuyo valor sustituido en la ecuacion (C) nos dará

$$g I = \frac{c}{s} \left(A \frac{Q}{s} + B \frac{Q^2}{s^2} \right) = \frac{cQ}{s^2} \left(A + \frac{BQ}{s} \right)$$

ó multiplicando por s^2 toda la ecuacion nos dará

$$g s^2 I = c Q (s A + B Q)$$

$$\text{y tambien } \begin{cases} g R I = A v + B v^2 \\ g R I = A \frac{Q}{s} + B \frac{Q^2}{s^2} \end{cases}$$

Con estas fórmulas tenemos lo suficiente para resolver los problemas más interesantes que acerca de la conduccion de aguas por canales ó acequias nos puedan ocurrir.

Los coeficientes A y B han sido determinados por Prony y Eytelwein despues de discutir un gran número de experiencias.

$$\text{Las de Eytelwein dan } \begin{cases} a' = 0,0035855 \\ b = 0,0664 \end{cases}$$

$$A = 0,00023807$$

$$B = 0,0035855$$

$$g R I = 0,000238 v + 0,0035855 v^2$$

$$g R I = 0,000238 \frac{Q}{s} + 0,0035855 \frac{Q^2}{s^2}$$

Adoptando para g el valor $9^m,778$, tendremos

$$R I = 0,0000243 v + 0,0003666 v^2$$

$$R I = 0,0000243 \frac{Q}{s} + 0,0003666 \frac{Q^2}{s^2}$$

Reuniendo á estas fórmulas las deducidas anteriormente, tendremos

$$c = l + 2 h \sqrt{1 + n^2} \quad c = l + 2 h \frac{1}{\text{sen. } f}$$

$$R = \frac{s}{c}; s = R c \quad s = (l + h n) h \quad Q = s v. . . . (D)$$

Si la seccion es rectangular $c = l + 2 h$; $s = l h$

$$R I = 0,0000243 v + 0,0003666 v^2 (E)$$

$$R I = 0,0000243 \frac{Q}{s} + 0,0003666 \frac{Q^2}{s^2}$$

$$\frac{s}{c} I = 0,0000243 v + 0,0003666 v^2 (F)$$

$$\frac{s}{c} I = 0,0000243 \frac{Q}{s} + 0,0003666 \frac{Q^2}{s^2} (G)$$

De la fórmula (E) sacamos

$$v = -0,03314 + \sqrt{2727,7.R.I + 0,0010983} =$$

$$-0,03314 + \sqrt{2727,7. \frac{s}{c} I + 0,0010983},$$

de la que nos serviremos para hallar la velocidad,

cuando nos sea conocido el radio medio y la inclinacion. Conocida la velocidad, fácil nos será hallar el gasto por la fórmula (D). En la práctica podemos prescindir del término constante de debajo del radical, por ser de muy poca influencia, lo que simplifica la fórmula, siendo

$$v = -0,03314 + \sqrt{2727,7 R I} = -0,03314 + 52,2274 \sqrt{R I}$$

$$= 0,3314 + 52,2274 \sqrt{\frac{s}{c} I} \dots \dots \dots (1)$$

De las fórmulas (E) (F) (G), sacamos

$$I = 0,0000243 \frac{Q c}{s^2} + 0,0003666 \frac{Q^2 c}{s^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$I = 0,0000243 \frac{v^2}{R} + 0,0003666 \frac{v^2}{R} \dots \dots \dots (3)$$

$$I = 0,0000243 \frac{v c}{s} + 0,0003666 \frac{v^2 c}{s} \dots \dots \dots (4)$$

con las cuales hallaremos la inclinacion que hay que dar al lecho cuando se conoce el gasto, el radio medio y la velocidad; pudiendo hacer variar estas cantidades, de modo que la inclinacion resultante no pase de ciertos límites, ó arreglando las dimensiones de la seccion transversal, de modo que la velocidad no exceda de un límite fijado por las circunstancias del problema.

Tambien sacaremos de la fórmula (2) la siguiente:

$$Q = \left(-0,03314 + \sqrt{2727,7 \frac{I s}{c} + 0,0010983} \right) s.$$

que nos servirá para calcular el gasto cuando se conoz-

ca la inclinacion y las dimensiones de la seccion transversal.

La aplicacion de estas fórmulas no debe pasar de ciertos límites, tanto por la naturaleza de las aguas, como por la mayor ó menor resistencia de los terrenos.

La siguiente tabla indica el límite de velocidad á que no se debe llegar, segun las diferentes clases de fondo, á ménos que circunstancias especiales lo impidan:

NATURALEZA DE LOS TERRENOS.	LÍMITE DE LAS VELOCIDADES POR SEGUNDO.		
	Del fondo.	Media.	En la superficie.
Tierra esponjosa y lodo.	0,076	0,104	0,427
Arcillas blandas.	0,432	0,202	0,254
Arena.	0,305	0,405	0,509
Grava.	0,609	0,810	1,017
Cascajo.	0,614	0,817	1,025
Piedra partida.	1,220	1,623	2,037
Piedra cuarzosa aglomerada; esquistas blandas.	1,520	2,202	2,538
Rocas en capas.	1,830	2,434	2,956
Rocas duras.	3,050	4,560	5,094

Siendo la velocidad media de las corrientes, segun las experiencias de Dubuat, los $\frac{4}{3}$ de la del fondo, resulta que la velocidad media de la corriente no deberá llegar á los $\frac{4}{3}$ de las indicadas en la tabla, segun la naturaleza del lecho.

Fijada la velocidad por las consideraciones expuestas, se podrá calcular la seccion por la fórmula $s = \frac{Q}{v}$, y en seguida la inclinacion por la (4).

Si la pendiente es dada, se despeja c en esta ecuacion, y obtendremos el valor del perímetro bañado.

$$c = \frac{s I}{0,0000243 v + 0,000366 v^2}$$

conocido el perímetro bañado, será fácil por las fórmulas (D)

$$c = l + 2 h \sqrt{1 + n^2}, s = h (l + n h)$$

determinar las dimensiones del canal, despejando en ellas las cantidades l y h , que nos darán

$$= \frac{c \left(\sqrt{1+n^2} - n \pm \sqrt{1+n^2} \sqrt{c^2 - 4s} \left(2 \sqrt{1+n^2} - n \right) \right)}{2 \sqrt{n^2 + 1} - n}$$

$$\frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4s} \left(2 \sqrt{n^2 + 1} - n \right)}{2 \left(2 \sqrt{n^2 + 1} - n \right)}$$

Y si el canal es rectangular, como será $n = 0$, estas fórmulas se reducen

$$l = \frac{c \pm \sqrt{c^2 + 8s}}{2} \dots \dots \dots (7)$$

$$h = \frac{c \pm \sqrt{c^2 + 8s}}{4} \dots \dots \dots (8)$$

Reconocida y estudiada la naturaleza del terreno que hay que atravesar para los diferentes trozos del ca-

nal proyectado, sabidas las velocidades medias de la corriente, así como las inclinaciones convenientes para los taludes, fácil será determinar la altura, ancho medio de la seccion y de la solera, por medio de las fórmulas que hemos expuesto.

Sin embargo, convendría simplificar ese cálculo, primero, porque las fórmulas expuestas conducen á ecuaciones de un grado muy elevado, y segundo, por el continuo uso que tendria que hacerse de ellas, por la infinidad de cambios inapreciables que se ofrecen en la naturaleza ó en la resistencia propia del suelo.

Esto supuesto, recurriremos al uso de ciertas fórmulas abreviadas, porque las completas no serian ni con mucho tan expeditas.

Una de las fórmulas abreviadas y que puede emplearse con más confianza, es la de Tadini, la cual, presentada en la fórmula más sencilla, es

$$Q = 50 l h \sqrt{h \cos. \varphi}$$

Q representa el gasto de agua en el sitio donde se efectúa la operacion, l el ancho medio de la seccion, tomado segun el perímetro bañado, h la altura de agua, y $\cos. \varphi$ la pendiente, siendo φ el ángulo que forma la superficie del agua con la vertical. Con las otras fórmulas se acostumbra en el cálculo de la seccion s , el emplear l , que representa el ancho de la solera, siendo en este caso necesario recurrir al empleo de las líneas trigonométricas para tener en cuenta la inclinacion de los taludes. Pero en la fórmula dada, la expresion lh es la misma para todos los casos, ya sea la fórmula rectangular ó trapezoidal.

Otra simplificacion puede introducirse en el cálculo

de los elementos de la seccion de los canales, sobre todo si se emplea la fórmula sencilla, que consiste en eliminar desde luego una de las dos cantidades l ó h , observando que se hallan generalmente unidas por una relacion constante, porque el valor de l casi siempre se halla comprendido entre los límites siguientes:

$$l = 2 h \quad l = 3 h (10)$$

De modo que, hecha la observacion de la naturaleza del terreno, la determinacion de la pendiente, y la seccion será muy fácil, puesto que se reducirá á buscar solo una de sus dimensiones. Si, por ejemplo, se admite $l = 2 h$, la fórmula se sustituirá por

$$Q = 125 h^2 \sqrt{h \cos. \varphi} \quad \text{ó}$$

$$Q = 125 h \frac{3}{2} \cos. \varphi (11)$$

en la que no hay que calcular más que una sola incógnita.

En el año 1865 se publicó en Paris una obra titulada *Recherches hydrauliques*, por Mr. Bazin. El autor adoptó y aplicó la fórmula propuesta por Mr. Darcy. siendo objeto de una Memoria que Mr. Morin dirigió á la Academia de ciencias de Paris.

La fórmula general de Mr. Bazin es

$$\frac{R I}{v^2} = a + \frac{b}{R} \quad (12),$$

en la cual las letras $R I v$ sabemos lo que representan, y a, b , son dos coeficientes numéricos, que reciben para cada caso valores especiales.

Mr. Morin, en su Memoria, hace observar que la naturaleza del terreno, el estado de las paredes, la canti-

dad más ó ménos variable de yerbas de que están revestidas, son otras tantas causas que no son posible tener presentes en ninguna teoría. Atendido lo cual, ha sido preciso reducir el número de casos especiales, limitándolos á cuatro tipos principales, á saber:

1.º Para paredes muy lisas como las de cemento puro y bruñido, tablas cepilladas con esmero, etc., tendremos

$$\frac{R I}{v^2} = 0,00004 \left(1 + \frac{0,03}{R} \right) \dots \dots \dots (13)$$

de la que despejando I resultará

$$I = \frac{0,00004 \left(1 + \frac{0,03}{R} \right) v^2}{R} \dots \dots \dots (14)$$

y para el valor de

$$v = \sqrt{\frac{R I}{0,00004 \left(1 + \frac{0,03}{R} \right)}} \dots \dots (15)$$

2.º Para paredes ménos lisas, como las de piedra labrada, ladrillo, tablones sin cepillar, cemento con mezcla de arena, la fórmula es

$$\frac{R I}{v^2} = 0,00019 \left(1 + \frac{0,07}{R} \right) \dots \dots \dots (16)$$

de donde

$$I = \frac{0,00019 \left(1 + \frac{0,07}{R} \right)}{R} \dots \dots \dots (17)$$

y

$$v = \sqrt{\frac{R I}{0,00019 \left(1 + \frac{0,07}{R} \right)}} \dots \dots (18)$$

3.ª Para paredes ásperas, como mampostería de sillarejo y ordinaria, será

$$\frac{RI}{v^2} = 0,00024 \left(1 + \frac{0,25}{R} \right) \dots \dots \dots (19)$$

de donde

$$I = \frac{0,00024 \left(1 + \frac{0,25}{R} \right) v^2}{R} \dots \dots \dots (20)$$

$$y \quad v = \sqrt{\frac{RI}{0,00024 \left(1 + \frac{0,25}{R} \right)}} \dots \dots \dots (21)$$

4.ª Para paredes de tierra sin revestimiento

$$\frac{RI}{v^2} = 0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R} \right) \dots \dots \dots (22)$$

y para el valor de

$$I = \frac{0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R} \right) v^2}{R} \dots \dots \dots (23)$$

y el de

$$v = \sqrt{\frac{RI}{0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R} \right)}} \dots \dots \dots (24)$$

La sección de la corriente del agua ó del canal puede suponerse rectangular ó trapezoidal.

El uso de estas fórmulas es bastante sencillo cuando se trata de determinar la pendiente I y la velocidad media v , pero para deducir el valor R la operación es más complicada y exige algunos tanteos, puesto que en él entran elementos que no pueden determinarse

más que por medio de las dimensiones en la sección transversal del canal.

Además de dichos tanteos, tiene el inconveniente de exigir bastante tiempo. Debido á este inconveniente, es indudable que el ingeniero piamontés Tadini buscó una fórmula más sencilla que la de Mr. Prony. Esta fórmula, que ha sido comprobada por gran número de observaciones, presenta una gran ventaja, que consiste en abreviar considerablemente los cálculos.

La fórmula es

$$Q = 50 l h \sqrt{h I} \dots \dots \dots (25)$$

de la que se deduce para el valor de

$$l = \frac{Q}{50 h \sqrt{h I}} \dots \dots \dots (26)$$

Para demostrar la sencillez, hagamos aplicación de ella.

¿Cuál será el ancho que deberá darse á un canal cuyo gasto por segundo sea de 1.317 litros de agua, siendo su pendiente 0^m,0002 por metro, y su profundidad 1^m,07 con taludes á 45 grados?

Aplicando estos datos á la fórmula, tendremos

$$l = \frac{1,317}{50 \times 1,07 \sqrt{1,07 \times 0,0002}} = 1^m,64$$

De donde deduciremos la sección por medio de la fórmula simplificada

$$s = l h + n_s h^2$$

aplicando valores, será

$$s = 1,64 \times 1,07 + 1,07^2 = 1^m,75$$

Pudiendo calcular la velocidad media por la fórmula

$$v = \frac{Q}{s} = \frac{4.317}{4^m,73} = 0^m,73 \text{ por segundo.}$$

Determinadas las pendientes y secciones segun las reglas que preceden, solo nos queda fijar la forma del perfil trasversal, propiamente dicho, del canal, que comprende los cajeros, taludes, banquetas, malecones, etc.

Los cajeros son la parte más ó ménos extensa de talud, comprendido entre el nivel del agua ordinaria y la superficie del terreno.

Hay para cada clase de canales un minimum de altura, que se determina en virtud del régimen de las aguas y segun los medios de descarga.

Para los canales de riego, esta altura normal de los cajeros varía desde 0^m,30 á 0^m,40, no existiendo interés en que sea mayor, sobre todo con obras reguladas.

En las partes en desmante se prefiere algunas veces interrumpir la uniformidad por medio de banquetas en los taludes, si bien otros no lo admiten; pero es con el único objeto de economizar en el cubo del movimiento de tierra. Sin embargo, es preferible tener en este caso una *banqueta* en retablo, marcando la altura regular de los cajeros, lo que es muy esencial para la vigilancia y para los trabajos de limpia.

Para los canales de riego, así como para los demás, el ancho de los paseos puede variar segun las circunstancias, es decir, segun las necesidades del servicio, el valor de los terrenos, los usos locales, etc.

En general, para los canales de dimensiones medias de 4 á 6 metros de ancho en el fondo; se admite un mínimo de 1^m,80 á 2^m,00 de paseo, pero algunas veces

es mayor; para los riegos de segundo orden basta una sencilla senda de un metro de ancho, además del emplazamiento ordinario del talud.

En fin, las reglas particulares de la construcción de diques ó malecones se aplica cuando en cierta longitud el nivel de agua del canal está sostenido á más de un metro de altura respecto de las tierras que le rodean. Para los ramales y regueras principales esta última disposición es siempre necesaria, á fin de facilitar la disposición de las aguas.

Explicación de las láminas.—Los diez y siete perfiles transversales representados en escala uniforme, tomados tanto del canal de Marsella y de sus ramales como de un canal proyectado en el Hérault, indica casi todas las disposiciones que se presentan generalmente según las diferentes posiciones del eje, la naturaleza y las inclinaciones del suelo, así como los accidentes del terreno.

La *fig.* 4.^a representa una parte del canal, todo en desmonte, con una gran altura de cajero y con los taludes retallados.

La *fig.* 5.^a, al contrario, un perfil todo en terraplen.

En la 6.^a la obra principal es desmonte en un terreno compuesto de tierra vegetal y roca, encontrándose en terraplen del lado opuesto.

La *fig.* 7.^a indica el perfil con un exceso de terraplen en un terreno muy accidentado, y la *fig.* 8.^a un canalito colocado al fondo de una trinchera de roca calcárea.

Las 9.^a y 10 presentan la elevación y cortes de pequeños túneles y galerías en riegos secundarios.

La *fig.* 11 indica una sección de canal completamente lleno de morrillos.

Las *figs.* 12 y 13 enseñan el empleo total ó parcial de la mampostería para el establecimiento de la sección.

En fin, las figuras de la 14 á la 20, dan los tipos más característicos de estas secciones, todo en mampostería, para un canal de 3 metros poco más ó ménos de ancho, que tenga que establecerse en un terreno muy escarpado.

Las *figs.* 21, 22, 23, 24 y 25, lámina 2.^a, representan el corte trasversal de cada una de las cinco secciones en que está dividido el canal de Urgel.

Las 26 á la 29, los tipos adoptados para las acequias de riego de los campos de Madrid. Podríamos dar otros tipos, como son los adoptados en varios canales ejecutados, pero creemos que bastan al objeto los representados.

PARTE SEGUNDA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Principales obras de fábrica aplicables á los canales de riego.

Las obras de fábrica de que tratamos pueden dividirse en dos categorías: 1.º Las obras que se presentan en las construcciones hidráulicas en general, tales como fundaciones, agotamientos, muros, badenes, revestimientos, pontones, depósitos, etc. 2.º Las obras que son exclusivamente relativas al riego.

Examinaremos sucesivamente las que se refieren á una y á otra de esas categorías.

FUNDACIONES ATAGUÍAS, MURCS, BADENES, REVESTIMIENTOS, ALMENARAS, COMPUERTAS, DEPÓSITOS, ETC.

Fundaciones en general.—Para que una construcción sea sólida, es necesario que estribe sobre puntos fijos ó estables que la proporcionen un buen asiento, sirviendo de base á todas las obras que sobre ella se van á establecer. Las superficies que contienen estos puntos resistentes se llaman cimientos.

Los terrenos se clasifican con relacion á su solidez, en buenos, medianos y malos; sabemos los que se comprenden en cada uno de dichos grupos.

No nos detendremos en la descripción detallada de los diferentes sistemas de cimentación, aplicables á los terrenos que se presentan en la naturaleza, por no ser objeto de este libro, y por suponer que se conocen los tratados que con gran extensión se han publicado al efecto.

Solo recordaremos que en los terrenos buenos se aplica el sistema de nivelación del cimiento por medio de base, por pendientes y por cajas laterales.

En los terrenos medianos, el zampeado ó emparrillado, tabliestacado, rellenando los huecos de hormigon.

En los terrenos malos, se procurará: 1.º Repartir uniformemente la carga general, por medio de grandes emparrillados de madera de guesa escuadría, rellenos de hormigon ó arena fina apisonada, si no se temen filtraciones ó hay manantiales de agua viva. 2.º Construir el recinto del cimiento por medio de tablestacados. 3.º Al construir desde el cimiento la obra que se haya proyectado, se llevarán á un mismo tiempo todos los muros por hiladas generales y á nivel.

El dar consistencia al terreno superficialmente, se logra: 1.º, por *compresion vertical*, cargando el terreno de un peso muy considerable, doble de la carga constante que ha de sostener. 2.º, por *enguijado*, que consiste en cargarlo de cascajo ó morrillos, que sustituyan á las partes blandas. 3.º por *compresion en todos sentidos ó pilotajes*.

En los cimientos debajo del agua se procede por uno de los métodos siguientes: 1.º Ataguías de recinto y de

fondo; atagufas de simple contraresto.—2.º Por encajonado.—3.º Por cajones.—4.º Por escollera.—5.º Por pilotes de rosca.—6.º Por fundaciones tubulares por medio del vacío.—Y 7.º Fundaciones tubulares por medio del aire comprimido, cuyos métodos pueden consultarse en las obras de Minard, Roret, Valdés, Camporedondo y otras, en las que se hallan descritas con claridad y sencillez.

Los sistemas de fundacion, usados en las obras hidráulicas, pueden aplicarse á las de los canales de riego, apropiándolos á sus emplazamientos, ya respecto á su solidez y duracion, ya á la economía, que no es ménos importante.

La eleccion de tal ó cual sistema dependerá de muchas circunstancias.

Antes las maderas de construccion eran muy abundantes, y desde luego baratas; el conocimiento de los grandes recursos que ofrecen los hormigones y morteros hidráulicos, al contrario, se hallaba atrasado. Por lo cual se explica el por qué los antiguos constructores tenian una gran predileccion por las fundaciones sobre pilotes. Indudablemente ese medio es muy bueno, pues por él se puede construir con solidez en los terrenos peores.

Pero hoy día, que la carestía de la madera parece ser general, hay precision de disminuir su empleo y muchas veces renunciar del todo á él.

A medida que se adelante más sobre los sistemas de fundacion, sin agotamientos, es probable que se prefiera el sistema de cajones, que permite cimentar las obras más considerables sobre el terreno natural, convenientemente profundizado por las dragas, ya sobre macizos más ó ménos gruesos de hormigon, en donde se

pueda disponer convenientemente de los materiales necesarios.

Segun resulta de los experimentos hechos por Mr. Vicat, tan útilmente generalizados, las piedras calcáreas que pueden dar cales hidráulicas están más extendidas de lo que antes se creía, y que donde no se encuentran se pueden hacer artificiales. Observaremos además que el uso de los cementos se ha extendido considerablemente, al paso que su precio ha disminuido. Hoy se puede obtener el cemento casi en todas partes con ventaja, puesto que se tienen cuantas facilidades se deseen para sus trasportes, además de su precio módico en los principales puertos.

La formación de los morteros hidráulicos, las proporciones de sus elementos deben estudiarse con detención á fin de emplearlos convenientemente, pues al paso que la mezcla de ciertas proporciones de cemento romano en los morteros hidráulicos ordinarios les da un fraguado rápido, que en muchos casos es de gran utilidad y aplicacion, en otros se esfolian ó descascaran, sobre todo si se sumergen frescos en aguas que tengan sales en disolucion.

Filtraciones en los canales artificiales.—La parte que se halla en terraplen acostumbra á tener filtraciones y pérdidas de agua. Los que no sirven más que para la navegacion, y que su emplazamiento puede ser en los terrenos bajos, donde lindan y aun encuentran algunas veces las cascadas de aguas subterráneas, no se hallan tan expuestos á dichos inconvenientes, comparándolos con los canales de riego, que deben ocupar una situacion elevada y que son de agua corriente.

Además se puede añadir que las filtraciones le son más perjudiciales por otra causa, puesto que el agua

que conducen dichos canales tiene un valor real que se beneficia, por lo que se debe procurar conservarla con el mayor cuidado. Si las obras se ejecutasen siempre con las condiciones que son de desear; si los diques construidos exclusivamente de tierra de la calidad conveniente fuesen perfectamente apisonados; si no sucediera con frecuencia que se obliga á introducir el agua antes de la época conveniente, los defectos de la filtracion podrian disminuirse mucho. Sin embargo, la experiencia nos prueba que nunca pueden evitarse completamente.

De las observaciones comparativas hechas sobre los tres grandes canales del Milanésado, se ha probado que la cantidad aproximada, por término medio, de las pérdidas de agua, es tanto, por efecto de las filtraciones, como por excedentes de la salida de las bocas. Ya hemos dicho que el coeficiente se halla entre 0,15 y 0.18 del volúmen total.

El mejor de todos los medios para evitar las pérdidas de agua por filtracion es el cerramiento natural por medio de las aguas turbias, y en casos semejantes nada más fácil que dar entrada á dicha clase de aguas en todo el canal de riego recientemente concluido, reteniéndolas por medio de presas y agitándolas si es menester con los rastrillos ó batideras para menear los depósitos que ya se habrán formado. Cuando el agua contiene en suspension arena muy fina, esta no presta buen efecto como la cargada de materias terrosas.

Este procedimiento sencillo y económico tiene en su favor la sancion de la experiencia, y un considerable número de canales que experimentaban pérdidas considerables han desaparecido con dicha operacion; pero donde conviene principalmente es en los bancos de

tierras áridas ó de graveras, cuando dichas pérdidas se hacen por las hendiduras de las rocas entre morrillo ó cascote, en cuyo caso es preciso recurrir á otros medios.

El tapar las filtraciones debe hacerse por medios fáciles y económicos, siempre que sea posible, y el que más se presta es el de mezclar tierra gredosa, á ménos que sea preciso trasportarla de una gran distancia. Los alcatifados pueden hacerse quitando de los taludes interiores y del fondo del canal un espesor proporcionado del terreno permeable, que se sustituye por una tonpada igual de greda bien amasada y batida con cuidado. Pero en general es mejor emplear esos revestimientos en el interior de los diques, donde se conservan mejor, por no estar expuestos á la alternativa de las sequías y humedades. Los topos, que son naturalmente aficionados á los lugares húmedos para abrir sus galerías, son los mayores enemigos de los revestimientos de greda; se debe, pues, procurar cerrarles la entrada ó destruirlos completamente en la proximidad de estas obras. Aunque no se trata aquí más que del empleo de tierra, hemos comprendido los revestimientos en las obras de fábrica, porque la mano de obra es su principal valor.

El evitar las pérdidas que tengan lugar en las hendiduras de las rocas ó en los cimientos de las obras de fábrica, no pueden hacerse más que con el empleo de morteros y cementos hidráulicos.

Trabajos de defensa contra la invasion de manantiales.—Obras análogas á las de los estancamientos deben algunas veces emplearse para impedir la introduccion irregular de las aguas de los manantiales, que siguiendo con más ó ménos fuerza, tienden á introdu-

cirse en el lecho del canal, el cual descarnan, y en tiempo seco las socavaciones que producen pueden reportar pérdidas y graves perjuicios. Por lo que se debe impedir toda introduccion irregular de las aguas de manantiales en los canales, ó por lo ménos, en la extensión del perímetro bañado.

Las obras de esta clase son más difíciles que los estancamientos sencillos destinados á la permanencia de las aguas interiores, atendido á que la incesante accion de las aguas exteriores, animadas por una fuerza viva, llegan luego á destruir las obras que se le oponen si no se hallan en las condiciones más convenientes para resistir á ese género de accion.

Obstruir un manantial que obra bajo el peso del agua, algunas veces considerable, es un mal medio para preservarse de él, atendido á que en todos los casos procurará obtener otra salida cerca de su primera desembocadura; de aquí el proceder por otros medios, y el más conveniente es el de dar libre curso á estas aguas accidentales sobre el mismo canal, por medio de un pequeño conducto si hay pendiente en una cualquiera de sus direcciones; y si no, por medio de sifones terminados por una válvula, tal como se ejecuta en el canal de la Marne en el Rhin, departamento del Meurthe. Véase la *fig.* 31, seccion trasversal.

Muros de sostenimiento y canales de mampostería.— Cuando el terreno sobre que debe construirse un canal de riego es muy inclinado ó muy permeable, se establecen en la totalidad ó parte de la seccion del canal con mampostería hidráulica, cogidas las juntas interiormente. Cuando la inclinacion del terreno sea mayor del 8 al 10 por 100, ó que sea desfavorable por otras circunstancias, y á ménos que la mampostería hidráu-

lica no pueda hacerse por la dificultad en su adquisicion ó por su precio excesivo en el país, no se debe vacilar en preferir esta disposicion al empleo de los terraplenes de mala naturaleza, en los que no se puede conservar el agua más que con cuantiosos gastos, que concluyen por ser mayores que el costo de una sólida construccion.

El sistema particular de ejecucion de esta clase de obras no ofrece dificultad alguna, y basta tener presente lo explicado en general en los cursos de construccion.

Respecto á su resistencia, sabemos que el espesor de los muros que sirven para conducir agua, debe tenerse presente que el empuje de aquella contra las superficies verticales es igual al producto de estas superficies por la mitad de la altura del agua.

Llamando h la altura del muro, x su espesor, y suponiendo que la longitud sea de un metro, la potencia que obra será $1.000 \frac{1}{2} h^2$, puesto que el m^3 de agua pesa 1.000 kilogramos. Se sabe tambien que el centro de impresion de este empuje se halla al tercio de la altura del muro; así el brazo de palanca de la potencia

que obra será: $\frac{1}{3} h$

La potencia resistente será el muro mismo, ó sea $h x 2240$ en atencion á que el metro cúbico de mampostería ordinaria pesa 2240 *kilógramos*. Por consiguiente, el momento de la potencia que obra será

$$1000 \times \frac{1}{2} h^2 \times \frac{1}{3} h$$

y el de la potencia resistente será

$$2240 \frac{1}{2} h x^2$$

y como en el estado de equilibrio estas dos expresiones deben ser iguales, tendremos

$$167 h^3 = 1120 h x^2$$

de donde resulta

$$x = \sqrt{0,147 h^2} \quad x = 0,121 h$$

Pero como en todas las fórmulas calculadas para el equilibrio estático se aumenta cierta cantidad al espesor hallado, cantidad que dependerá de la naturaleza de los materiales y de la cimentación para el caso que

nos ocupa, bastará $\frac{1}{3}$ para la estabilidad completa, por

lo que tendremos

$$x = 121 h + 0,33 = 0,451 h^2$$

próximamente igual á 0,50 h.

Las figuras de la *lámina* 1.^a indican los tipos que pueden servir para este caso en los canales de situación escarpada, con ó sin muro de sostenimiento. El espesor de los muros de mampostería, resistiendo el empuje del agua, se calcula por las fórmulas indicadas.

Los revestimientos de mampostería hidráulica se hacen de varios modos; su minimum espesor es cuando se construyen de ladrillo plano sobre mortero hidráulico puesto como hormigon. En otros casos, como el que representa la *fig.* 30, *lámina* 2.^a, el espesor del revestimiento se confunde casi con el que resultaria con una sección enteramente de mampostería. También puede

revestirse la superficie interior con trozos de hormigon moldeado, fabricado del modo siguiente:

1 metro cúbico de arena.

500 kilogramos de cemento de Portland.

Triturando estos materiales se obtendrá 1 metro cúbico de mortero.

Luego para hacer 1 metro cúbico de hormigon, se mezclará:

0^m,70 de gravilla ó piedra machacada al tamaño de 15 á 20 milímetros, bien lavada.

0^m,45 de la mezcla ó mortero antedicho.

60 kilogramos de cemento de Portland, que se le va añadiendo en partes mientras se mezcla la piedra ó grava con el mortero.

Hecho lo cual, se vierte el hormigon en los moldes, en los que hay que dejarle cuatro dias en verano. La colocacion y asiento de estos trozos de acequias se ejecuta sin basamento artificial alguno. La solera del foso ó zanja se apisona y enrasa segun la pendiente, y sobre ella se van sentando los trozos de hormigon moldeado. Las juntas longitudinales se recubren con cemento puro, y para mayor seguridad contra toda salida de agua, se puede añadir un refuerzo exterior de 0^m,03 á 0^m,04 de grueso, formado de cementos y tejas planas.

Badenes; revestimientos de taludes.

Los badenes ó empedrados de guijarro sujetos por medio de encintados de adoquines, estacas ó piquetas, se establecen en el fondo de los canales, en los sitios en que la velocidad que conviene conservar á la corriente y la clase de terreno natural no sea á propósito

para resistir á las socavaciones. Independientemente de esos badenes y de las secciones, todas en mampostería, de las que hemos tratado anteriormente, hay para los cajeros y taludes revestimientos propiamente así llamados, que son de gran utilidad; porque si en los canales de navegacion los taludes experimentan una degradacion notable en la línea de agua, por consecuencia del movimiento de ondulacion, ocasionado por el paso de los barcos, los canales para agua corriente se hallan más expuestos á este inconveniente, sobre todo si se usan para la navegacion ascendente, pues que entonces los remos tienen una accion mucho más ofensiva sobre los cajeros no defendidos.

Los revestidos en uso en los canales del Norte de la Italia son de diferentes clases. Se ven algunos empedrados en seco ó con mortero. Cerca de las desembocaduras en donde las pendientes y la velocidad son considerables se forman dichos revestidos con bloques, losas ó mórtillos de gran volúmen; pero en la mayor parte de casos son verdaderos muros de ladrillo y mortero, teniendo el suficiente espesor para que sirvan de muros de sostenimiento.

La parte interior de estos revestidos tienen otro que les salva de los choques de los barcos formado de piquetes en la orilla, coronados por cruceros horizontales y cuyo espacio varía de 1,50 á 2^a lo más. Su paramento exterior tiene un retablo ó inclinacion bastante considerable, mientras que el paramento del lado de las tierras es vertical, teniendo espolones ó contrafuertes interiores que penetran más ó ménos en las tierras. El espesor y espacio de esos contrafuertes se varían segun la naturaleza y altura de la tierra que ha de sostener. Cuando el fondo es malo, estos muros se cimentan con

pilotaje. Se comprende que esto es un accesorio bastante costoso en la construcción de los canales; por lo que esta clase de gastos deben estar previstos y presupuestados en los proyectos, mejor que durante el curso de los trabajos ponerlo como aumento de obra; mucho más si se atiende que cuando esta clase de trabajos se hacen precisos es regularmente en una gran longitud, á causa del desarrollo de las dos orillas.

Nosotros, según hemos indicado al tratar de las curvas, creemos que en lo posible debe evitarse esta clase de obras, que tienen el inconveniente de ser muy costosas y solo deben emplearse en casos muy especiales.

En la mayor parte de los canales y acequias de riego construidos y en proyecto en España, no se han revestido; solo la que debe servir para el riego de los campos de Madrid, la que, atendidas sus reducidas dimensiones y que la base de los terrenos es la arena gruesa arcillosa, será de un coste insignificante comparado con el que ocasionaría en aquellos terrenos la necesidad de adoptar curvas de gran radio, y que por pequeña que fuera una filtración importa mucho el valor del agua perdida en un punto donde tiene tanta estimación; también se halla revestida de piedra en seco la sección bañada en el canal del Henares.

Entre las obras más indispensables para los canales de riego figuran las *almenaras*, *compuertas* y *vertederos*. Su disposición varía según su importancia, condiciones particulares del país y naturaleza del terreno.

Las *almenaras* son unas obras de desagüe que pueden ser de superficie ó de fondo y tener ambos á la vez, á fin de preservar los graves daños que en los canales de riego ocasionan las avenidas de los ríos que los mantienen.

Determinado el emplazamiento, así como la caída y el ancho, la clase de cimentación que debe dársele y el espesor, solo queda elegir el sistema de construcción.

Esta puede ser de sillería, mampostería ó de madera; en una palabra, pueden adoptarse los sistemas de construcción de esta clase de obras aplicadas á los canales de navegación y cazes de molinos, etc., etc., puesto que en nada difieren.

En la parte inferior, hácia donde se dirige la corriente, se defiende su pié por medio de un zampeado capaz de resistir á las socavaciones que forma el agua al caer. Las *figs.* 32, 33 y 34 representan la disposición de una compuerta de fábrica de mampostería y sillería.

El boquete ó canalizo, es de sillería los montantes *aa* y el umbral *b*; el resto de ladrillo ó mampostería. El hueco se cierra por medio de una compuerta de correderas que se ajusta á dos ranuras que tienen los montantes. En la parte superior hay un madero ó sillar que se apoya en los montantes y sostiene el cric ó manivela.

Las *figs.* 35 y 36 representan otro tipo de construcción de madera; las compuertas *a* se mueven dentro de los marcos de carpintería formados por el umbral *h* y los montantes *bbb* y entrelazados por un madero *c* que sostiene los crics destinados á levantar las compuertas.

Las *figs.* 37, 38 y 39 indican la disposición de una pequeña compuerta de madera, más sencilla que las descritas, suficiente para todas las acequias de riego.

Siempre que sea posible, las partes fijas se construirán de piedra, con preferencia á la madera. La manobra se ejecuta por medio de palancas, barras de hierro con agujero, crics ó manivelas.

En algunos cauales se usa un sistema de compuer-

tas de charnela que pueden colocarse al fin de los es-corredores ó canales de descarga cuando estos desaguan á una corriente de agua sujeta á grandes crecidas y defendida por diques.

En Lombardía, este mismo sistema de compuertas giratorias se ha empleado algunas veces en las embocaduras de los canales de riego, disponiéndolos de modo que dejan pasar las aguas á su nivel medio, openiéndose á su entrada en las crecidas repentinas; pero se inutilizan cuando vienen las aguas turbias ó cargadas de grabas. Es indudable que estos medios son ingeniosos, pero hasta hoy no han dado buenos resultados, adoptándose con preferencia, para el mismo objeto, sencillas compuertas ó tajaderas vigiladas y manejadas por guardas prácticos.

Sea el que quiera el sistema de construccion empleado para las compuertas que se deban establecer en los canales de riego, debe procurarse sobre todo que su maniobra sea rápida, pues en estos canales la conservacion del régimen de las aguas debe atenderse mucho.

Los vanos aislados y las compuertas, como hemos visto, su construccion no difiere de las que se establecen en los cazes de los molinos y otras clases de canales.

En los canales de riego, las almenaras, vertederos y compuertas tienen á poca diferencia la misma construccion, ya sea como obras reguladoras, ya sea que sirvan para establecer las tomas de agua secundarias.

Las *figs.* 32 á la 34 de la lámina 2.^a dan el alzado y córte del tipo de varias obras de esta clase, ejecutadas en el canal de Marsella y en otro canal en el departamento de las bocas del Ródano.

Las *figs.* 40, 41 y 42 de la lámina 3.^a representan en

planta y alzado el detalle de la presa esclusa por la que se hace la alimentacion de cuatro canales secundarios derivados del arca de aguas de Lamanon. (Canales de los Alpes y de Crapone, departamento de las bocas del Ródano.)

Compuertas de válvula.—Se da este nombre á las compuertas fijas que giran sobre un eje horizontal ó vertical, dispuestas de modo que se abren por sí mismas al momento que la presion del agua obra sobre una de sus partes ó alcanzan un límite determinado. Ese sistema, que apenas se ha aplicado en materia de riegos, es muy frecuente en las obras de desecamientos.

Es susceptible de recibir notables perfecciones, las que indicaremos en el capítulo siguiente, donde se trata de las presas fijas y movibles, de los detalles extensos sobre los diferentes mecanismos hasta hoy conocidos.

Tomas de agua de los canales principales y secundarios.

Puentes y alcantarillas, acueductos-puentes, acueductos-sifones, etc.

Tomas de agua ó embocaduras de los canales.—Las tomas de aguas sobre un canal principal deben hacerse siempre por medio de módulos reguladores, puesto que se trata de obtener una distribucion en cantidad exactamente determinada. Pero las embocaduras de los canales principales en los rios y arroyos no están sujetas á una limitacion tan rigurosa.

La mejor marcha que puede seguirse consiste en establecer una seccion regularizada en el origen, en una longitud de 400 á 500 metros, bien sea fijada por esco-

laderas ó por paramentos ó taludes, revestidos de modo que pueda satisfacer á la fórmula de Tadini antes citada. Si se tiene la pendiente y altura del agua, la expresion del ancho medio puede obtenerse muy aproximado por dicha fórmula, de donde se saca

$$x = \frac{Q}{50 h \cdot \sqrt{h \cos. \varphi}}$$

Hay otro medio de aplicacion ménos general, que consiste en regularizar la introduccion del agua en el canal de elevacion por medio de un depósito, en cuyo caso puede calcularse el gasto por la fórmula

$$Q = 1,80 l h \sqrt{h}$$

de donde

$$l = \frac{Q}{1,80 h \sqrt{h}} \quad \text{y} \quad h = 0,76 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{l}\right)^2}$$

La que puede servir para resolver todas las cuestiones en las que, dadas dos de las tres cantidades Q , l , h , se trate de buscar la tercera.

Si se desea, por ejemplo, saber cuál debe ser la longitud de un depósito para dar un metro cúbico por segundo, con una lámina de agua de 0^m,36 de altura, en seguida se encuentra $l=2^m,57$. Si la altura del agua fuera de 0^m,25 se tendria $l=4^m,44$ y así sucesivamente.

Además debe observarse: 1.º que aguas arriba del depósito el agua esté en reposo, ó que llegue á él con cierta velocidad: 2.º que esta velocidad tenga una direccion más ó ménos oblicua: 3.º la relacion que exista entre los anchos respectivos del depósito y la del rio aguas arriba.

Las disposiciones que hay que adoptar por la naturaleza, el emplazamiento y la eleccion de las obras accesorias que reclama siempre el establecimiento de una variacion, no pueden ser objeto de ninguna regla general, porque sobre este particular todo está subordinado al régimen del rio, á sus pendientes, al estado habitual de sus aguas, segun sean claras ó turbias, á las modificaciones que pueden tenerse en su direccion, etc.

Salvo raras excepciones, fundadas en la naturaleza torrencial, y sobre todo en la inestabilidad del lecho de la corriente de agua, en la cual se establece la embocadura de un canal, el sistema preferible para las grandes presas de agua es el que casi está generalmente adoptado en todos los canales de la Lombardia y del Piamonte.

Estas tomas de agua se hacen generalmente por medio de presas muy oblicuas, construidas con mampostería de grandes cantos rodados, acompañados de escollera y empedrados en una gran longitud, y generalmente atravesados por uno ó varios canalizos, algunas veces muy anchos, lo que les da á muchos el carácter de presas incompletas ó de enfagados sencillos.

Pero estas consideraciones se completarán más adelante, en que se tratará especialmente de las presas consideradas principalmente bajo el punto de vista de los canales de riego.

Tomas de agua.—Las figuras 43, 44 y 45 representan la toma de agua del brazo meridional del canal de Alpines en el Durance. Se efectúa por medio de siete canalizos abovedados, cuya luz varía de 1^m,82 á 2^m,40.

Estos canalizos, pueden cerrarse cuando se quiere por compuertas que se hallan adosadas al puente de

pedra de tres arcos, establecido en el camino provisional.

Esta presa de canalizos está consolidada en cada lado por fábrica de mampostería, formando la casa del exclusero, situada en la orilla izquierda, y la otra un dique oblicuo de grandes cantos, atravesados de un canalizo de 10 metros de luz, formando depósito, que sirve para desaguar el exceso de altas aguas, y asegura en el verano la introduccion en el canal de la mayor parte del gasto de este brazo.

Se pueden citar tambien las tomas ejecutadas por medio de partidores para dos canales de riego de los campos de Madrid, en cuya planta se ve al paso del canal el del acueducto de la villa, la toma de la acequia del Norte, la del Sur y la del desagüe del fondo.

Puentes y pontones.—Estas obras, destinadas al restablecimiento de las vias interrumpidas por los canales de riego, nada tienen de particular. Regularmente son numerosas, por lo cual, con el objeto de simplificar los proyectos, se adopta cierto número de tipos, aplicables á las diferentes vias de comunicacion que se trata de establecer.

Conviene además ejecutar la construccion con solidez, pero con las condiciones más sencillas posibles.

Entre las construcciones de esta clase y más modernas, se pueden citar las siguientes:

Figura 46.—Elevacion tipo de los puentes de piedra de un solo arco de 4^m,70 de luz y de 2^m,10 de altura, para establecer sobre el canal, al encontrarse con caminos de 1.º y 2.º orden.

La figura 47 es de corte trasversal de la misma obra. La figura 48 corte de un puente en esviaje de 4^m,70 de luz, y de 2^m,50 de altura, para establecer el paso del

canal del Crau, debajo de una rampa en el camino de hierro del Mediterráneo.

Se observará que en los puentes citados, ninguno hay cuya construcción sea de madera. Sin embargo, en ciertos países escasos de piedras de construcción, hay precisión de recurrir al empleo de la madera. Pero es evidente que si dichos puentes pueden ser útiles para los caminos rurales y vecinales que son poco frecuentados, no sucede lo mismo por lo costosa que es su conservación y reparación en los caminos importantes, donde toda sujeción en contra la libre circulación es inadmisibles, razón por la que debe evitarse en lo posible las construcciones de madera.

Cuando el canal de riego sirve también para la navegación, deben tenerse presentes las condiciones del uso á que se destine respecto á la altura bajo la clave, la de los arranques, los caminos de sirga, los puentes de tablero móvil, etc.

Acueductos, puentes-acueductos y sifones.—Se da indistintamente el nombre de acueducto á la obra de fábrica que sirve para hacer cruzar un canal por una corriente de agua, sea por debajo, sea por encima. Sin embargo, conviene distinguir estas dos situaciones muy diferentes, conviniendo el nombre de acueducto para las conducciones subterráneas, y el de puente-acueducto para los que ocupan una situación elevada sobre el curso del agua de un canal, de un camino ó de un barranco.

Hay acueductos cubiertos con losas y acueductos abovedados. Debemos hacer sobre los últimos una observación, que es común con los puentes de mampostería, á saber: que el agua corriente experimenta una fuerte contracción al introducirse en una obra de fá-

brica de esta clase, y por tanto deben tomarse en cuanto sea posible precauciones para atenuar este inconveniente, ya sea redondeando las aristas y adoptando para el centro de las bóvedas las curvas y la posición que corresponden á la menor contracción.

En una vega donde el riego es muy activo, los acueductos, conduciendo los canales en regueras de todos los órdenes, se cruzan en muchos puntos. Hay que observar que sus direcciones son en esviaje con más frecuencia de lo que se observa en los puentes. Esto resulta de la importancia que se da para economizar á estas derivaciones toda su velocidad, todo su gasto, que podrían alterarse por las curvas que tendrían que hacerse al obtener en sus cruces direcciones normales.

La mayor parte de estas observaciones se aplican igualmente á los sifones, los cuales pertenecen á la clase de acueductos subterráneos, únicamente que su construcción y su desagüe es más complicado. La utilidad de atenuar en ellos los efectos de la construcción no deja de hacerse ménos sensibles que en los acueductos sencillos.

Dicho efecto es mucho más difícil atenderlo, porque independientemente de las circunstancias accesorias, que indicaremos en otra parte, la sola necesidad de obligar á una corriente de agua á bajar y volver á subir por su propia presión, amoldarse á su movimiento anormal, siguiendo los diferentes contornos de una obra de arte, basta siempre para que haya rozamientos, pérdidas de carga, en una palabra, causas retardatrices del desagüe.

La sola inspección de los cortes longitudinal y transversal de estas obras, representadas en las figuras 49 y 50 del sifon que antes se empleaba, se ve el efecto

perjudicial, debido en particular á la contraccion, la que era muy notable, sobre todo en las pequeñas secciones. Para atenuarlo ha bastado poder adoptar formas curvilineas, que se han obtenido fácilmente con las obras de fundicion ó tubos de hierro.

Las figuras 51, 51^{bis} y 52 representan un sifon de esta clase, construido para la acequia de riego de Luceni en Aragon, al cruzar la via férrea de Madrid á Zaragoza.

Si se proyectan sifones con los planos inclinados y las aristas salientes, segun se han empleado, se deben tener en cuenta las diversas circunstancias que acabamos de indicar. Ninguna experiencia sobre el particular nos permite establecer como indicacion prévia una regla fija á los directores facultativos de esta clase de obras, á quienes corresponde, segun sus conocimientos de hidráulica, apreciar debidamente en cada caso particular, por algunas modificaciones en la pendiente ó de la seccion, el compensar la influencia retardatriz de los sifones.

Otra observacion esencial hay que hacer, y es que si la resistencia de las bóvedas basta para soportar una presion exterior, puede ser débil contra un empuje interior, y este es el caso de los sifones. Cierto es que la carga que soportan algunas veces es muy considerable, y compensará al empuje vertical ó lateral, ejercido en el interior de estas obras de fábrica; pero eso no siempre sucede así, y entonces no se debe vacilar en recurrir á un sistema de cadenas ó armaduras de hierro que lo sujeten como se ha ejecutado en varios de los sifones que cruzan el canal de Pavia en el Milanesado, y en el de una acequia de riego que cruza la via de Madrid á Zaragoza inmediato á Casetas.

Esta clase de obras están mucho más expuestas á grandes averías que los puentes-canales, por lo cual se deben emplear en su construcción los mejores materiales y cimientos, no economizando nada para que lo invertido en obra sea tan perfecto cuanto sea posible. Los simples acueductos, no teniendo más objeto que el de hacer pasar una conducción de agua debajo del terraplen de un camino ó de un canal, son siempre de una longitud reducida. No sucede lo mismo en los puentes-acueductos ó puentes-canales que, á pesar de establecerse para el servicio de una desviación regular ó pequeña, están sujetos algunas veces, por tener que atravesar un gran río ó un barranco, á tener grandes dimensiones y á gastar cantidades proporcionadas. Estas obras son las que deben presupuestarse principalmente en los ante-proyectos, así como deben tenerse presentes al redactar las Memorias, donde se desarrollan las ventajas del canal proyectado.

Esta clase de construcciones deben establecerse con excelentes materiales y con gran esmero, porque en el caso general de tener que salvar un río, sus zócalos y estribos están expuestos á la acción de la corriente de las aguas. La existencia de la masa líquida que sufren, á veces considerable, aumenta en gran proporción sobre las bóvedas y piés derechos, siendo mayores los esfuerzos de presión que en los puentes ordinarios.

Existe en los canales reales y particulares del Norte de Italia un sin número de puentes acueductos y de puentes canales, de los cuales varios son obras importantes. Como tipos de obras muy usuales que entran en dicho número, indicaremos algunos en las figuras siguientes, así como también de algunos proyectados y construidos en nuestro país.

Las figuras 53 y 54.—Cortes longitudinal y transversal de un acueducto abovedado de 3^m,00 de luz, y 1^m,45 de altura bajo la clave.

Las 55 y 56.—Corte de un ponton acueducto de 5^m,60 de luz por 1^m,50 de altura, teniendo 5^m,00 de ancho al nivel del agua.

Las figuras 49 y 50.—Corte transversal y longitudinal de un sifon de 0^m,60 de luz cubierto de losas, para el paso de una reguera de riego bajo el brazo principal del canal, teniendo en este punto 4^m,45 de ancho la sofera, y 5^m,20 la anchura del nivel de agua.

Las figuras 57 y 58.—Cortes longitudinal y transversal de otro sifon de mampostería de 0^m,76 de ancho por 1^m,00 de alto, para el paso de una reguera bajo el mismo canal en la misma direccion donde le cruza el camino de hierro, por medio de marco de sillería rebajado de 4^m,00 de luz.

Las figuras 59 y 60.—Tipo de un sifon de 0^m,70 de luz establecido debajo la corriente de un rio, y la figura 61 representa una tabla de madera con su correspondiente cadena ó cuerda para desembrozarla.

Para el canal de riego de los campos de Madrid, figuras 62 y 63, sifon que ha de construirse para la acequia del referido canal, al pasar por debajo del acueducto de la villa.

En el caual de Urgel tenemos los acueductos de Sio, que constan de siete arcos de 6^m,00 de luz; el del Cervera, de un solo arco rebajado de 9^m,50 de luz, que termina en sus extremidades por dos sifones de 2 metros de diámetro; el de Conill, de tres arcos de 5^m,50 de luz; el de Rocafort de un arco de 4^m,00 con muros de sostenimiento de grande altura, y el de Regué Salat igual á los de Corp y el Salado, de tres arcos de 3^m,50 de luz.

CAPITULO IX.

Continuacion de las obras de arte.—Túneles.

Reglas especiales relativas á su establecimiento.—Método de ejecucion.—Sujecciones diversas, agotamientos, gastos comparativos, etc.—Aplicacion de estos principios á los canales de riego.—Tipos varios.

Estas obras, que en muchos casos ofrecen grandes dificultades, y cuyo coste es excesivo, se presentan con alguna frecuencia en el trazado de los canales de riego, sobre todo cuando se cruzan terrenos muy accidentados, cuyos desmontes en trincheras por su coste y dificultades deben evitarse.

En general se admite como principio que, pasando de 16 á 18^m,00 la cota de una trinchera, es preferible establecer un túnel. Sin embargo, debe limitarse mucho tal principio. En efecto, para ello hay que atender á la naturaleza del terreno, á la posibilidad de encontrar grandes filtraciones, manantiales, ó corrientes de aguas y á la configuracion del trazado.

La ejecucion de una trinchera de mucha profundidad presenta dificultades por la gran cantidad de tierras que deben escavarse y depositarlas en caballeros, á ménos que tengan fácil empleo; en fin, todo hace que algunas veces resulten gastos mayores que los que hubiera ocasionado el abrir un túnel.

En el canal de Urgel, para salvar la estribacion de

Almenara, se ha hecho un desmante de 23^m,00 de altura, así como los hay de 20 y 18 metros.

En el canal de Lozoya hay desmontes de 12 y 14 metros de altura.

En el canal de Nantes á Brest, existe una trinchera de 22^m,00 de profundidad, y en el de Antoing otra de 24^m,00, así como para desaguar el lago Méjico hay una trinchera que en una longitud de 108 metros tiene 60 metros de profundidad. Sin embargo, este último caso es excepcional.

También hay terrenos poco consistentes, tales son los arcillosos, los que son tan sensibles á las causas atmosféricas y sobre todo á la humedad y sequía, que los taludes ofrecen constantes desprendimientos. Pues sabido es que, cuanto más suave ó tendida sea la inclinación, presentarán más superficie á las influencias atmosféricas que producen los desprendimientos de las tierras; en cuyo caso se tienen que revestir dichos taludes, y por tanto quizás sería preferible la construcción de un túnel. Para demostrarlo citaremos una obra moderna; esta es el túnel de Espeluy en el ferrocarril de Manzanares á Córdoba.

En el kilómetro 344 de dicha línea corta el trazado una pequeña estribación de la sierra, la cual, según proyecto, tenía por término medio una cota de 14^m,00 en una longitud de 420 metros. La calidad del terreno es una arcilla que se descompone con gran facilidad á la influencia atmosférica.

Atendiendo á los datos del trazado, se pensó en abrir una trinchera y se principiaron los desmontes; pero según se abrían las excavaciones se agrietaba el terreno de los costados á distancia de 60 metros y más de la arista del desmante.

De aquí el que se hicieran cálculos para averiguar tanto el coste problemático de abrir trincheras, revisitando sus taludes, como el de hacer un túnel, teniendo en cuenta las entibaciones, dando por resultado ser más conveniente el abrir un túnel revistiéndolo, pues si bien su costo primitivo sería de consideración, debía tenerse en cuenta que la conservación sería fácil y poco costosa y la circulación quedaba asegurada, la que en otro caso era dudosa y casi imposible.

Bien quisiéramos dar detalles del método seguido en su construcción (por ser una de las mejores obras de la línea, cuya dirección y ejecución ha sido esmerada y llevada á cabo con inteligencia), mas no lo hacemos porque no es á propósito para el objeto de este libro, puesto que la sección de los canales permite entibaciones más fáciles, y por lo tanto construcciones más sencillas; solo se indica como excepción respecto á la cota de carga.

Sin embargo, daremos una ligera idea, y para ello representamos las figuras 64, 65 y 66. La figura 64 es una sección de la entibación que se colocó en una longitud de 61^m.30; la 65, en otra de 98^m.70, y la 66, en 70 metros, y como las demás difieren poco, y las representadas son la parte central, no nos extendemos más sobre este caso particular.

En la conducción de aguas á Madrid, cuyo canal sirve también para el riego, hay una longitud de 11.800^m de túneles ó minas, siendo dignos de mencionarse los de Espartal, de 433^m.00; Sagardillo, 450^m; Patatero, de 755 metros; Valdevuguillas, 394^m.50; Casilla, de 166^m.00; el de Otero, de 1.485 metros.

En el canal de Urgel tenemos tres, que son el de la Languadera, de 288^m; el de San Jorge, de la misma

longitud, y el de Monclar, de 4.917 metros, obra que honra de una manera especial al Ingeniero director D. Domingo Cardenal.

En los canales de riego del Mediodía de Francia hay varios tipos de galerías subterráneas. Hay dos de corta longitud en el canal del Crapone; el perforado de Orgon, en el origen del brazo septentrional de los Alpes, tiene unos 600^m,00 de longitud por 7^m,50 de ancho. En el canal de Marsella se cuentan cuarenta y uno, formando juntos una longitud de unos 1.600 metros. El de Taillades, que tiene unos 5 kilómetros, ha presentado en su construcción grandes dificultades á consecuencia de las aguas subterráneas, para cuyo agotamiento no bastaban las máquinas ordinarias.

Por lo cual, vamos á presentar algunos datos principales que podrán ser útiles: primero, para dar á conocer los casos en los que se puede útilmente recurrir para los canales de riego al empleo de los túneles; segundo, á indicar las principales condiciones de su buena ejecución; y tercero, á indicar por fin la cantidad aproximada de su coste.

Los túneles pueden abrirse en toda clase de terrenos, desde la roca hasta las tierras más flojas; pero su longitud debe estar en razón inversa de las dificultades de ejecución.

En los canales de navegación, sobre todo en aquellos puntos de división donde los túneles existen casi siempre, se les dan dimensiones proporcionadas á las que tienen los barcos que circulan. Es necesario por lo ménos una banqueta para maniobrar de 1^m,20 á 1,50 metros de ancho. Esto hace que los túneles para los canales de navegación resulten de un ancho de 6 á 7 metros.

Para los canales de riego no hay las mismas sujecio-

nes, porque aumentando la pendiente en proporcion de que disminuya la seccion, se puede y se debe siempre obtener un ancho mínimo absoluto.

El límite de la dimension de las galerías subterráneas para el paso de una corriente de agua puede considerarse como el que corresponde á una seccion de 1^m,20 de ancho por 2 de altura bajo la clave, porque menores dimensiones aumentarian considerablemente las dificultades de la extraccion de los productos del desmonte. La banqueta, que es indispensable para la navegacion, aquí es voluntaria, puesto que la vigilancia puede hacerse con un bote, y en cuanto á las reparaciones del lecho, exigen en todos casos que se hagan cuando esté en seco.

Segun los datos hoy suministrados por el sin número de túneles perforados en la direccion de los canales y caminos de hierro, se puede saber aproximadamente el coste que tendrá un metro corriente de túnel en un terreno conocido. Pero hay en este género de construcciones dos circunstancias particulares muy importantes, que pueden segun el caso hacer variar el coste en proporciones considerables, resultando:

1.º Del encuentro accidental de aguas en la escavacion de los pozos y aun en las mismas galerías; examinaremos el caso que no ofrece inconvenientes.

2.º En el caso en que el terreno no sea bastante resistente para formar bóveda en él y sostenerse por sí mismo, ya sea como obra definitiva, ó ya mientras dura la construccion del revestido de mampostería.

Dificultad de conservar las bóvedas sin revestido.— Cuando la resistencia del terreno es suficiente para sostenerse, formando una bóveda de una dimension conveniente, ya no hay que ocuparse de las dificulta-

des de la entibacion, pero si convendrá examinar si la naturaleza de la roca es tal que pueda conservarse de un modo permanente la bóveda sin auxilio de ningun revestido, para en este caso no darle más ancho que el del canal. En caso contrario, es necesario aumentarle del doble espesor del revestimiento de mampostería; puesto que las esperanzas de numerosas perforaciones ejecutadas de algunos años á esta parte, ya en los canales de navegacion, ya en los caminos de hierro, han demostrado que en la mayor parte de casos la roca que se habia creído á primera vista poderla conservar muy sólida, se esquebraja, se dilata por el efecto simultáneo del aire y la humedad, en cuyo caso se ve la precision de emprender fuera de tiempo la construccion del revestimiento de mampostería, el cual hubiera sido más sencillo ejecutarle al principio de la obra. Muchas veces se han visto terrenos en apariencia muy sólidos, y despues de haberse sostenido durante algunos años, hundirse repentinamente, causando grandes perjuicios. Eso es lo que sucedió en el camino de hierro de Saint-Etiennes, en los esquistos que parecian muy resistentes, en el canal de San Quintín, en los terrenos cretáceos que parecia hallarse en el mismo caso. Estos terrenos son susceptibles de reblandecerse por la accion de la humedad; pero sobre todo la filtracion de las aguas pluviales es muy contraria á su conservacion para hacer bóveda sin revestimiento.

Por lo cual será conveniente comprender estos revestimientos en los proyectos, no incluyéndolos en aquellos puntos donde ninguna utilidad presten.

Método de construccion.—La ejecucion y extraccion de los desmontes, así como la construccion del revestimiento de un túnel, no puede ejecutarse sino por me-

dio de pozos verticales, bajando desde el nivel del terreno al del fondo del canal.

Se concibe desde luego que la profundidad de estos pozos de extraccion son de suma importancia en la determinación del precio de obra del metro lineal de túnel. Esto es, que un metro corriente con pozos de una profundidad media de 300 metros costará infinitamente más cara que la misma obra en las mismas condiciones que tenga pozos de ménos profundidad.

En efecto, los gastos del transporte vertical ó subida de los materiales son mayores que los del transporte por carros de un mismo cubo de dichos materiales, y además, estando el diámetro de estos pozos reducido á un minimum de 2^m,00 á 2^m,20, hay en esta clase de obras sujeciones especiales, segun las cuales el gasto aumenta considerablemente con la profundidad.

Si, como hemos supuesto antes, el terreno es sólido, la construccion de la bóveda de mampostería no ofrece dificultad alguna, atendido que la escavacion, siendo su dimension un poco mayor que la del extrados de la bóveda, el emplazamiento de la construccion no está ocupado por ningun exceso. Con el objeto de preservar la mampostería del efecto dañoso de las filtraciones, se procurará revestir el extrados de una capa de mortero hidráulico, disponiendo en los puntos convenientes canales y barbacanas destinadas á asegurar el desagüe de esas filtraciones.

Construccion de los túneles en terreno inconsistente.— Cuando el terreno no puede sostenerse sin apoyar, hay precisión de recurrir á un sistema de entibacion que varia completamente del de una cimbra para bóveda; primero, porque tiene que sostener una masa enorme de terreno; luego, porque es necesario que quede siem-

pre un vacío entre el terreno natural y la cimbra propiamente dicha, para colocar en él el revestimiento. Se procede parcialmente y por galerías separadas á la construcción, ya de la bóveda, ya de los piés derechos.

Si se empieza por estos, son necesarias las galerías laterales, reunidas trasversalmente por espacios vacíos apuntalados, en los cuales se va construyendo sucesivamente las porciones de la bóveda cuya cimbra está sostenida por el terreno mismo; en seguida, despues de su establecimiento, estos diversos elementos de la bóveda sirven ellos mismos para sostener el terreno interin se concluyen las zonas intermedias.

La figura 67 da una idea de este método de construcción. Es por el sistema de galerías longitudinales, apeadas con más ó ménos cuidado, segun la naturaleza del terreno, pudiendo con ello establecer la bóveda de los túneles, aun en las situaciones más difíciles. De algun tiempo á esta parte se han empleado medios más espeditos, y al propio tiempo más económicos, sobre todo para el establecimiento de túneles en los caminos de hierro, habiendo observado que es ventajoso empezar los revestimientos por la corona, conservando un macizo de terreno debajo, y empleando un sistema de apoyos ó apeos que sostengan esta parte superior de la construcción hasta colocar los piés derechos.

Por pozos laterales al eje del túnel se llega á abrir hácia la parte superior de la seccion una galería ó espacio apeado, figurado segun *a b c d*, figura 68; despues se establecen trasversalmente márcos, entre los que se colocan riostras en forma de abanico, y despues que el cielo de la escavacion está así sostenido entre dos bastidores consecutivos, se quita la entibacion intermedia y se la reemplaza por un camon.

Los vacíos necesarios para la construcción de los piés derechos están dispuestos debajo, según lo indica la figura 69.

Nos limitamos desde luego á sencillas indicaciones acerca de las disposiciones más usadas que se encuentran descritas detalladamente en el curso autográfico de Mr. Mary, en la Escuela de caminos y puentes.

Ejecucion de las obras.—Los trabajos subterráneos difieren de la mayor parte de las demás obras públicas, en que los productos de desmonte, así como los materiales de construcción de las mamposterías para el revestido, en su mayor parte se trasportan por los pozos; el resto se hace por medio de vías provisionales, sentadas según se prolonga la galería principal y á medida de su abertura.

La extracción ó la bajada de materiales se ejecuta por medio de cubos ó cubetas, maniobradas por medio de tornos á brazo ó á máquina. Cuando los pozos son muy profundos hay ventaja en emplear para este servicio una máquina de vapor.

Algunos autores pretenden que los pozos de extracción deben abrirse en el eje, y otros á un lado de él, pero á corta distancia. Los primeros se fundan en que, además del servicio que prestan para extraer los productos de los desmontes, en subir y bajar materiales, son utilísimos para rectificar el trazado horizontal y vertical. Los pozos abiertos á un lado no pueden cumplir tan exactamente con la última circunstancia, si bien las demás le son aplicables. La ventaja que tienen los segundos sobre los primeros es que el cierre de las aberturas se puede hacer con seguridad y sencillez con los piés derechos, mejor que con las bóvedas que se emplean en los abiertos en el eje. Para evitar el en-

cuentro de la cubeta que sube con la que baja, en un mismo pozo, se procura dividir este por una separacion de tabique ó pared corrida formado, en cuanto sea posible, de piezas longitudinales contra las que el roce se ejecuta con facilidad, sea subiendo, sea bajando. En fin, se reviste igualmente de la misma manera con tablas ó maderos toda la entibacion de la pared del perímetro de los pozos, que están unidos á los bastidores de carpintería colocados horizontalmente y distantes entre sí de uno á dos metros, segun la naturaleza del terreno. Si se abren en roca, no son necesarias dichas disposiciones.

Fórmula relativa á la construccion de los túneles.

Siendo muy costosos los trabajos de esta clase, es conveniente no establecer más que el menor número posible de pozos, distribuyéndolos del modo más ventajoso para la extraccion de los desmontes. Para ello puede servirnos la fórmula indicada por el Ingeniero jefe Thirion (*Anales de puentes y calzadas*).

Sea:

L = longitud del túnel.

P = gasto del establecimiento de un pozo.

S = seccion del túnel.

S' = seccion de la mampostería.

N = número de pozos.

E = distancia de un pozo á su inmediato.

P = el precio del trasporte en galería, de 1 m^3 de desmonte á 1 m . de distancia.

P' = el precio análogo de 1 m^3 de materiales para la mampostería.

D = coste total.

El precio medio del transporte para llegar á un pozo será

$$\frac{S p l}{4 n} = \frac{S p l^2}{4 n}$$

El del transporte de materiales será en las mismas circunstancias

$$\frac{S' p' l^2}{4 n}$$

El precio de los pozos siendo $P n$ el gasto total, será

$$D = \frac{S p l^2}{4 n} + \frac{S' p' l^2}{4 n} + P n$$

Diferenciando esta fórmula se tendrá

$$4 P n^2 = (l^2 S p + S' p'); \quad \text{y} \quad n = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{S p + S' p'}{P}}$$

Y para la expresion del espacio entre dos pozos, será

$$E = \sqrt{p + c} \qquad E = 2 \sqrt{\frac{P}{S p + S' p'}}$$

Algunas veces se presentan circunstancias particulares que exigen la proximidad de los pozos, como, por ejemplo, cuando la ventilacion es difícil y otras condiciones de localidad y naturaleza.

Dificultades relativas al desagüe.—Una de las mayores dificultades que se presentan en la construcción de túneles, proviene del encuentro de aguas durante las obras.

Puede suceder que la galería se haya abierto debajo de una cascada de agua permanente, que constantemente procurará filtrarse.

No es necesario que llegue este caso para que el agua entorpezca la construcción de los túneles.

En efecto, aun en los puntos más elevados, muchas tierras ó rocas presentan lechos acuosos, y las aguas que encierran, despues de haber invertido algun tiempo en ramirse, se desprenden rápidamente en el instante que se les presenta un agujero para su salida.

Por lo cual se explica cómo en ciertos casos que se ha creído encontrar en la conservación de un buen escuridero contínuo una compensación útil á los gastos ocasionados por el agotamiento de las aguas durante la época de las obras, se ha visto despues disminuir el volúmen de las aguas accidentales y desaparecer de repente.

Sea cual fuere la causa por que se produzcan las aguas en los trabajos de un túnel en construcción, hay precisión de desembarazarse de ellas á toda costa. Siempre que se pueda asegurar su salida por cunetas con pendientes naturales, deben ejecutarse; pero este caso es bastante raro, sobre todo en el primer período, que corresponde al perforamiento de pozos y galerías parciales. El medio que se debe emplear consiste en la instalación de máquinas de agotamiento de una fuerza proporcionada al volúmen de agua y á la altura á que se ha de elevar, esto es, que se debe calcular su efecto útil en kilogramos, de modo que en un número de horas de trabajo determinado puedan elevar del fondo del sumidero la totalidad de las aguas que arrojen en 24 horas el interior de las escavaciones.

Para pequeños volúmenes de agua bastan bombas movidas por máquinas, mas cuando son grandes, las máquinas de vapor son las únicas que nos pueden proporcionar un motor suficiente á todas las eventualidades.

Hé aquí por qué el artículo de desagotamientos acostumbra á ser en esta clase de obras de suma importancia.

Mas no siendo posible saber antes en qué proporción serán necesarias dichas obras, por esto se dejan en los proyectos sumas mucho más considerables para ellos que las de la galería.

Finalmente, para la perforacion se han ideado ciertos procedimientos que pueden consultarse, como son los del túnel de Monte-Cenis, descritos en una Memoria especial publicada por la *Revista de Obras públicas*; pues si bien es un caso particular, sin embargo, hay ciertos detalles dignos de tenerse presentes, por poderse aplicar en obras de ménos entidad.

A parte de las eventualidades que acabamos de citar, y por el modo especial y excepcional de ejecucion, hay una gran diferencia entre el coste de una misma clase de desmonte, comprendiendo el transporte efectuado á cielo abierto ó en galería, y lo mismo respecto á la manpostería. Los trabajos para su apeo, la extraccion de las aguas cuando se encuentran en abundancia, son por otra parte, causas que por sí solas dan lugar á gastos muy considerables, y algunas veces no están en proporción con las dimensiones de las galerías.

Así se comprende cómo varios túneles de canales y caminos de hierro, no teniendo más que 6 metros de ancho por una altura media de 5 metros, ó sea 30 metros de seccion efectiva, sin comprender los pozos, han costado á más de 4.560 rs. el metro corriente, lo que representa 152 rs. por metro cúbico; sin embargo, nunca los gastos de extracción y carga de un metro cúbico de desmonte, aun en roca dura, llega á un precio tan elevado; pero es necesario tener en cuenta los trabajos accesorios que acabamos de explicar, y además este precio

del coste está igualmente sujeto á la mayor ó menor profundidad de los pozos, con auxilio de los que toda obra subterránea debe necesariamente ejecutarse.

Se debe considerar que el precio de extraccion de los desmontes en estas condiciones, crece rápidamente con la profundidad, de tal modo, que un metro cúbico de roca calcárea de mediana dureza, que cueste 15,20 rs. ejecutada á cielo abierto, cuesta más del triple en el momento que la profundidad llega solamente á 14 ó 15 metros, no solo por causa del transporte vertical de los materiales, sino tambien por los infinitos incidentes que se presentan en la ejecucion de las obras.

Además, se encuentra casi siempre á cierta profundidad el agua, que es necesario agotar continuamente, y cuyo cubo en un tiempo dado es generalmente muy superior al del desmonte propiamente dicho. En efecto, un simple escurredero equivale á 0,111 litros por segundo, representa por hora cerca de 400 litros, y, sin embargo, en la roca calcárea de mediana dureza, y á la profundidad que acaba de indicarse, se necesitan por lo ménos ocho horas de un barrenero y su peon para extraer $1^m.3$; se tendrá pues, en este caso, que subir por cada metro cúbico de desmonte $3^m.3$, 20 de agua, y cuanta mayor sea la profundidad, mayores serán los gastos de agotamiento que aumentarán el precio de extraccion. El menor diámetro que se puede dar á los pozos aun en la misma roca es de 2 metros; por tanto, á cada metro corriente de profundidad corresponden un cubo de $3^m.3$, 14 de desmonte, y en la hipótesis arriba examinada se añaden $10^m.3$ de agua; el subir estos $13,14^m.3$, se hace tanto más costoso cuanto mayor es la profundidad, existiendo túneles en que esta llega á ser en los pozos de 250 á 300 metros.

En resumen, la apreciación del coste de los túneles exige grandes y previas atenciones, que dan lugar, por las causas que acaban de indicarse, á apreciaciones esencialmente complejas. Así se comprende cómo una de estas obras puede costar cuatro y cinco veces más que otra de las mismas dimensiones, pero en circunstancias diferentes respecto á la profundidad de los pozos, naturaleza del terreno y la importancia de los trabajos de agotamiento y entibación.

La sección menor que puede darse á una galería definitiva (no siendo temporal ó de servicio) es de 1^m,20 de ancho, por 2 á 2^m,20 de altura. Al disminuir estas dimensiones, los obreros trabajarían con dificultad y las obras de conservación se harían difíciles.

Esta dimensión corresponde á 1^m,60 de altura para los estribos, la flecha ó radio de medio punto, siendo 0^m,60 esté daría por metro corriente un cubo de 2^m,20. Con pozos poco profundos, por ejemplo de 15 á 20^m, el metro cúbico de desmonte para extraer en la roca calcárea de mediana dureza, importará unos 76 rs., ó sean 176 reales por metro corriente. Con pozos de 20 á 30^m, el metro cúbico importará generalmente 98,80 rs., que corresponden á 216 rs. 60 por metro corriente de túnel, y así sucesivamente según sea mayor la profundidad.

Pero tal como se ha dicho anteriormente, es muy raro que se pueda, aun en la roca que en apariencia sea la más sólida, suprimir el revestimiento general de las paredes con buena mampostería hidráulica. Entonces tendremos un nuevo gasto; el aumento de la escavación para el emplazamiento de la mampostería, la misma mampostería, comprendiendo sus enlucidos, capas, etc., etc.

En cuanto á la sección del canal, permanece siempre la misma en los dos casos. Así es, que el metro corriente

del túnel de las mismas dimensiones reducidas, como antes hemos supuesto, á su precio de 76 rs. del metro cúbico, habrá que añadir el valor de la mampostería hidráulica en sillarejos ordinarios, y por la hipótesis de los pozos de 15 á 20 metros pasará desde luego á un precio casi triple del precedente; y, en efecto, deberá añadirse á él 200 rs.; 96 rs. por el cubo de los desmontes suplementarios, á más una suma igual por la mampostería del revestido, que suponemos costará igualmente 96 reales, lo que hará que el importe del metro corriente de túnel sea de 268 rs., á lo que habrá que añadir los gastos de apertura de los pozos, los de agotamiento y entibación.

Como aplicación de las observaciones anteriores, indicaremos aquí el precio que importó un túnel de esa dimensión mínima, construido en 1853 en el canal de desecamiento de las lagunas de Jonquiers (Gard). Este túnel, teniendo 3,37^m de sección, se abrió casi siempre con pólvora en una roca calcárea un poco margosa, pero bastante dura. Los pozos llegaron á una profundidad media de 16 á 17 metros, y separados el máximo 150 metros. La cantidad de agua á agotar era de 600 metros por hora.

El precio detallado de dicha obra, y del que se hizo una rebaja de 6 por 100, es como sigue:

PRECIOS ELEMENTALES.

Bs. céntls.

Desmante de $4,12\text{m}^2$, ó sea $0,33\text{m}$ de longitud de galería, se emplearon:	
8 horas de trabajo de un barrenero á 4,40.	44,20
8 horas de un peon ayudando al barrauco, cargando los escombros al bolquete y á las cubetas, á 0,60.	4,80
4,93 kilogramos de pólvora de mina, á 9 rs. kilogramo	47,55
Para subir los productos de los desmontes y agotamientos, 8 horas de trabajo de dos peones escogidos, á 0,70 una	41,20
Gastos del establecimiento de las bombas y ventiladores, conservacion y desmante.	3,50
Por rebajar el perímetro y colocar la plantilla, 2 horas 15 minutos de trabajo de un minero.	4,05
Suma.	<u>52,30</u>
Beneficio 40 por 100.	5,23
Útiles y gastos de administracion.	<u>5,23</u>
Suma.	<u>62,76</u>
Este precio elemental corresponde á $0,33\text{m}$ del metro corriente; el de este sera $62,76 \times 3$	
	<u>188,28</u>

Siendo una de las obras más importantes de esta clase la construida en España por la Sociedad anónima del Canal de Urgel, y por tanto digna de estudio, vamos á describir la construccion del túnel de Monclar.

La construccion del subterráneo de Monclar, que tiene $4.917,60\text{m}$ de longitud, ha presentado las más notables dificultades, y ha exigido sacrificios de todo género, que, siquiera sea someramente, vamos á describir, tomando esta relacion de la reseña que ha escrito la Sociedad anónima Canal de Urgel.

Túnel de Monclar.

Desde el mes de Mayo de 1856, en que quedó contratada la construcción de esta obra hasta su conclusión, ni un solo día ni una sola hora se ha dejado de trabajar en ella con toda la actividad posible; pero desde ese momento también el arte no ha dejado de luchar un solo instante con la naturaleza.

Los trece pozos, cuya abertura la Sociedad mediante subasta había contratado, cuando tropezó con las graves dificultades que ofreció la construcción total del túnel, pozos que debían ser á un mismo tiempo medio de explotación y medida de exploración del terreno, requirieron que se les diesen mayores dimensiones y que se procediese á su entibación y á la extracción del agua y escombros que se habían depositado durante el intervalo que medió desde la cesación de un contratista hasta que empezó el empresario que ha llevado á término la obra.

El agua que se presentó en todos los pozos apenas se hubo bajado 4 ó 6 metros del terreno natural, fué siempre aumentando con la profundidad, y llegó en algunos á salir en cantidad tan considerable, que á pesar de sacarse 350 y 400m³ diarios, imposibilitaba el trabajo en ellos. Todos se continuaron sin embargo por mucho tiempo, abriéndose además posteriormente en diferentes épocas, y para satisfacer diversas necesidades de la obra, otros cinco en la galería principal y hasta doce en las de desagüte, los cuales se emprendieron no solo para auxiliar la construcción de alguno de los pozos, sino para evitar la caída á la galería de la enorme masa de agua que se encontraba unos 50 metros más alta que la solera de aquella.

No obstante estos contratiempos, que no hacemos sino indicar, en Enero del año siguiente (1857) se comenzaba ya la galería por un pozo de 90^m de profundidad (el 5), perfectamente terminado, al cual siguieron bien pronto el tercero de (27^m), el 2 de 63^m, el 1 de 56^m y el 4 de 71^m. Antes de terminar la primavera del mismo año se entraba también en galería por los pozos 12 y 13 que habían sido y continuaban siendo de los más abundantes en agua. Las profundidades respectivas son de 40 y 32^m. En el verano próximo (siempre en 1857) se comenzaba la perforación de la galería por los pozos 6 (de 100^m profundidad), y 7 A (de 106^m), así como también por el 14 (de 22^m únicamente, pero del cual se había sacado constantemente más de 500^m de agua diarios). Quedaban, pues, solo los pozos 8, 9, 10 y 11 con el O, uno de los últimamente añadidos, y el cual, á pesar de haberse extraído de él por mucho tiempo 600 y 700^m de agua diarios, no pudo bajarse hasta llegar debajo de él la galería más que 22^m, siendo de 30^m la profundidad que necesitaba.

El pozo 8, el más alto de la línea (130^m) y que á los 20^m daba ya 300^m de agua cada veinticuatro horas, se abandonó por fin decididamente, después de cuantiosos gastos hechos, no obstante que no se ha bajado más que á 33^m. El 7 no podía tampoco continuarse á causa de la abundancia de agua que por él salía; pero suprimido ya el 8 y siendo de 350^m la distancia que separa cada dos pozos, no era posible prescindir de este, cuando todo hacia creer que no podría contarse, con mucho tiempo al ménos, con los números 9, 10 y 11. En este conflicto emprendióse la apertura del pozo 7 A á 20^m de distancia del 7, destinándolo como auxiliar de este último, y pensando comunicarlos á diferentes alturas para extraer el

agua del uno ínterin el otro se profundizaba. Por fortuna, y segun acabamos de indicar, pudo bajarse el 7 A hasta la solera de la galería, y ha sido luego el más importante de la línea, segun veremos más adelante. El 11 hubo tambien que dejarlo, cuando ya no faltaba sino 4^m para llegar á su solera. Antes de paralizarlos, inútil es decir los esfuerzos de todo género que se practicaron para poderlos bajar.

Las circunstancias especiales con que el agua se presentaba en los pozos 9 y 10, pero particularmente en este último; la posicion del pozo mismo y más que todo la estructura del terreno, hicieron creer que entrando en él por galería, á la profundidad de 23^m se habia de encontrar bien pronto marchando hácia el Norte, la capa subterránea más abundante y que más incomodaba en todos los pozos de la parte Sur del túnel. Comenzóse pues esta galería ó socavon de desagüe, tratando primeramente de terminar con toda la celeridad posible la parte de ella comprendida entre el pozo 10 y el 11, ó sea la salida natural del agua. La otra aunque empezada al mismo tiempo, hubo de paralizarse y cerrarse fuertemente al momento, porque no era posible sacar la gran cantidad de agua que se encontraba. Terminado con mil trabajos el desagüe para cuya construcción la misma agua y la naturaleza del terreno opusieron obstáculos de gran consideracion, y atacado el socavon por el lado del Norte, empezó bien pronto á correr por él una inmensa cantidad (20.000 m³ diarios). El éxito no podia ser más brillante. Emprendióse con gran ardor la continuacion de los trabajos en el pozo 10, y bien pronto se vió que era inútil cuanto se habia hecho. La estratificacion del terreno es tal, que á medida que el pozo iba bajándose, el agua que corria por el socavon disminuia é iba apareciendo

toda en el fondo del pozo. No habia medio de evitar esto. Cualquiera que se emplease para evitar el escape del agua de la galería evitaba tambien su entrada. Consi-guióse por fin aislar, si no toda, la mayor cantidad de la que en el pozo salia. Una vez aislada, se hizo un depó-sito en el interior de los paramentos, perfectamente re-vestido con mampostería hidráulica, y ya no quedaba sino extraer el agua de dicho depósito, pudiendo conti-nuar perfectamente los trabajos del pozo. A los cuatro dias de terminado el depósito y cuando todo empezaba á marchar bien, el agua desapareció del todo de aquella localidad y volvió á aparecer en el nuevo fondo del pozo, en el cual y por todas partes salia casi toda la que pocos dias antes corria por el socavon. Preciso fué entonces re-nunciar á la apertura del pozo 10, al que le faltaban aun 35^m, no obstante los 40^m que tenia abiertos, y pre-cisó tambien no contar con la del 9 profundizado 43^m, y que debia llegar hasta 123^m. Entre los pozos 7 A y 12, distantes 1.710^m, no habia medio por el momento de abrir otro alguno. La única esperanza que quedaba era la de perforar el 11 y el 10 á medida que se llegase con la galería debajo de ellos. Así se hizo á su tiempo con mil y mil dificultades, cuya sola enunciacion nos deten-drá demasiado, pues especialmente las del 10 han sido numerosísimas y han detenido la perforacion del pozo hasta Mayo de 1860.

En la misma galería de 1.710^m, abierta puede decirse sin más que un pozo en cada uno de sus extremos, pues-to que el 10 y 11 no han servido sino para facilitar la extraccion de escombros, ha habido necesidad de vencer dificultades sin cuento. Prescindiendo de las que el ter-reno ha presentado, bastará solo decir, para dar una idea de las que la ventilacion y la demarcacion de la línea

habrán ofrecido, que por el pozo 7 A de 106^m de profundidad, se han abierto, en direccion del 10, más de 800^m lineales de galeria.

Desde que empezó á entreverse la necesidad de suprimir tantos pozos, se comprendió naturalmente la asiduidad con que habria que atender á los dos únicos puntos de ataque que presentaba la gran porcion central del subterráneo y lo urgente que era evitar en ellos toda causa de paralización. Una de las más poderosas que podrian sobrevenir, y empezaba ya á presentarse era la abundancia del agua, y preciso fué dedicarse á combatirla por todos los medios posibles. Las grandes trincheras que forman, por decirlo así, el complemento del subterráneo, estaban muy atrasadas aun y no podia ni por asomo pensarse en esperar terminarielas para que las aguas saliesen libremente por ellas. De aquí la necesidad de abrir con gran premura y saltando por encima de todos los obstáculos un socavon de desagüe por debajo de la trinchera de salida, socavon cuya longitud pasó de 500^m, y la de establecer, ya que en la de entrada no era posible hacer lo mismo, dos grandes bombas movidas por el vapor en el pozo 4.

En la época misma en que fué preciso abandonar la apertura del pozo 10, las galerias todas estaban naturalmente inundadas de agua, á pesar de sacarse del subterráneo, sin contar por supuesto los 20.000^m³ diarios que corrian por el socavon, más de 1.500^m³ elevados por término medio á unos 70^m.

No era solo esto á lo que habia que atender: el terreno en que las galerias se abrian estaba formado en su mayor parte por margas arcillosas y yesosas sumamente duras, algunos yesos y algunas areniscas, rocas todas que exigian el empleo de la pólvora para ser atacadas.

El consumo de este combustible pasaba de 100 kilogramos diarios, y esto no obstante, una vez este terreno humedecido y en contacto con el aire, había que acudir á todas partes con entibaciones numerosas y difíciles á veces, porque por todas partes amenazaban desprendimientos.

De repente en el pozo 1 (lado del O.) se presentó una arenisca muy floja con una enorme cantidad de agua. Suspendiéronse en el momento los trabajos de escavacion para entibar y fortificar aquel punto, que parecia ya iba á ofrecer serias dificultades; pero no hubo tiempo para hacerlo: un enorme desprendimiento de una gran masa de arena que llenó toda la galería (tenia esta á la sazón un volúmen de más de 800^m) vino á paralizar forzosamente los trabajos emprendidos y á dar lugar á dificultades de género distinto de las que hasta entonces se habían vencido. Más de ocho meses de asídúo y constante trabajo, durante los cuales se sucedieron hasta trece desprendimientos análogos al que acabamos de indicar, se emplearon en atravesar en una longitud de 30^m una masa semifluida de arena y agua que amenazaba sepultar á todos los trabajadores y empleados, y que por fortuna no causó á nadie ni la más leve contusion.

Apenas salvado este importante accidente, apareció una inundacion en las galerías del 2 que impidió por dos meses el trabajo del avanzamiento, á pesar de estar ya unido dicho pozo con los números 3, 4 y 5, por los cuales se extraía toda el agua que era posible. Sin terminar aun este, surgió otro espantoso en las galèrias del pozo 6, las cuales contaban ya entonces cerca de 300^m de longitud por 14^m término medio de seccion trasversal. Empezó á aumentar el agua, que ya salia en gran cantidad de uno de los avanzamientos (el del lado del 5), y

hubo de aumentar tanto que obligó á los trabajadores á huir de prisa y despavoridos. En cuatro dias se llenó por completo la galería y se elevó hasta 50^m en el pozo, no obstante que se extraía diariamente por él de 500 á 600^m³ de agua. Fué pues preciso pasar por esta paralización del trabajo y esperar á que hecho el rompimiento por el pozo 5 pudiera darse salida á esa inmensa cantidad de líquido.

Al cabo de dos meses se consiguió verificar el rompimiento tan deseado; se desaguó aquel gran depósito, é inútil es encarecer, indicada ya la naturaleza del terreno en que las galerías están abiertas, los espantosos desprendimientos que en ellas se encontrarían. Aquella galería había completamente perdido su forma; á cada paso se encontraban desprendimientos de 20 á 30^m de altura sobre la antigua corona de la galería que la obstruían enteramente; á cada paso se encontraban tambien inmensas entradas en los antiguos paramentos del subterráneo. Alargariamos demasiado esta reseña si hubiéramos de detallar el ímprobo y delicado trabajo necesario para restablecer la antigua galería, y para solidificar los numerosos desprendimientos que en ella había, desprendimientos que obligaron á construir verdaderos castillos de madera de más de 30 metros de altura.

Estábase aun en esta operacion de suyo pesada, y que terminó tambien sin ninguna desgracia personal, cuando otra inundacion mayor todavia sobrevino por el avanzamiento del 1 (lado del O). La cantidad de agua que salia era tan considerable, que desde el 1 hasta el 6, en ningun pozo podia hacerse otra cosa que sacarla. Se extraian más de 2.000 metros diarios por todos ellos, y el agua iba, sin embargo, subiendo en una extension de galería de cerca de 2.000 metros longitud con la

seccion que anteriormente hemos indicado. Todos los trabajos de la parte Norte del subterráneo estaban fuerosamente paralizados, y era inminente además el peligro de que la galería se llenase, pudiendo esto dar lugar á deterioros de fatales consecuencias, especialmente en el sitio en donde habian acaecido los grandes y copiosos desprendimientos de arena, y en donde se habia llegado á temer la presencia de un verdadero *fontis*. Para evitar males tan grandes, se cerró el avanceamiento del *O* con un fuerte muro hidráulico, cuya construcción ofreció también raras dificultades, atendida la enorme masa de agua que habia que encerrar detrás de él; y solo así se pudieron salvar de una inundación completa las galerías todas, que tardaron aun naturalmente muchísimo tiempo en verse sin una gran cantidad de agua. Esto es tambien lo único que pudo hacerse para estar en el caso, al cabo de algunos meses, de volver á emprender los trabajos en ellas necesarios.

Semejante extremo recurso imposibilitaba por completo la continuación de la obra en los metros que mediaban entre el muro y la trinchera de entrada, cuya difícil construcción estaba aun muy lejos de hallarse tan adelantada como era de desear. Urgia avanzar estos trabajos; porque el coste hecho en la trinchera hacia esperar, y con razon por cierto, las graves dificultades que en ellos habria que vencer, y fué necesario emprender de nuevo en la avanzada época á que se habia llegado (Enero de 1859) la apertura de algunos pozos. Abrióse primero el *O A* y más tarde el *A*, ambos con muchísima agua. Intentóse tambien la terminación del *O*, contando con que quizá la gran cantidad de líquido que afluia á los dos nuevos pozos, hubiera disminuido en parte, ó ménos, el enorme caudal de aquel; pero todo fué en va-

no: no pudo llegar á perforarse hasta que estuvo la galería debajo de él.

Así que fué posible, se penetró en subterráneo por estos pozos, y cuando se vencieron las dificultades grandes que presentaba esta penetracion, verificada toda ella en un lógamo arenoso, lleno de agua, que se desprendia por todas partes, y que era necesario ir sosteniendo con fuertes entibaciones; salió en el avanzamiento del 11 una cantidad enorme de agua, que, por fortuna, encontró ya practicable el socavon de la trinchera; pero que, á pesar de él, llenó toda la galería. Bien es verdad que corrian por ella más de 100.000 m³ diarios.

Al aparecer este espantoso chorro, que acabó por practicarse una salida á la galería de más de un metro cuadrado, no obstante la dureza del terreno, y al cual no se podia acercar ni á 30 metros de distancia sin que apagasen todas las luces; al aparecer, decimos, esta inundacion, se entibaba un desprendimiento del socavon de la trinchera, y como fué indispensable abandonarlo todo, la madera que allí se encontraba impedia la libre salida del agua, y hacia que esta se elevase cada vez más en el túnel. Era preciso á toda costa evitar esto, y no bastando la extraccion de agua por los pozos, se abrió en la trinchera una gran escavacion para dejar á cielo abierto la parte de la mina de desagüe, cuya entibacion no habia podido terminarse. Por fortuna no hubo necesidad de aguardar la conclusion de este nuevo pozo, pues á los ocho dias de haberse presentado en tan gran cantidad el agua, se notó alguna disminucion en la que llegaba al subterráneo, y pudo comprenderse que el inmenso depósito que estaba vaciándose no podia ya ofrecer un gran caudal.

Si notables han sido los obstáculos y dificultades que

ha habido que vencer para la apertura de la galería de avance, no han sido menores los que se han presentado sin cesar para el ensanche y revestimiento. Apuntadas ya las principales entre las primeras, solo indicaremos, para no detenernos demasiado, que han sido grandes, inmensas, las segundas (y se comprende bien que así sea) en el hundimiento entre el 0 y el 1, en toda la extensión de galería de la entrada al 0 y en la galería del 6, que contaba con las grandes entibaciones que anteriormente mencionamos.

A pesar de tantos contratiempos, á pesar de tantas forzosas paralizaciones y de la escasez de operarios que en distintas épocas se ha sentido; á pesar, sobre todo, de la larguísima galería que ha habido necesidad de abrir sin más que dos puntos de ataque, el Excmo. señor marqués de Corvera, ministro de Fomento, verificaba el rompimiento de esta galería, y con ella el del subterráneo todo, en 29 de Setiembre último (1861), á los cuatro años poco más de comenzados los trabajos, y á los cinco poco más tambien de su principio se ha terminado felizmente una obra que no tiene ni tendrá por algun tiempo igual en España, y que si en el día es desconocida de propios y extraños por no haberle cabido la suerte de dar paso á algun ferro-carril, está no obstante destinada á presentarse ante unos y otros sin miedo á la competencia con cualquiera otra análoga, ya se compare el tiempo empleado en su construccion, ya su solidez, ya, en fin, su coste.

Terminaremos este capítulo con la siguiente

NOTA DE LOS PRECIOS

que han costado algunos subterráneos construidos en los canales, y circunstancias más notables con que se han ejecutado.

NOMBRE de los subterráneos.	FECHA en que se principia- ron.	CANALES.	NATURALEZA del terreno.	LONGITUD.	ANCHURA	PROFUNDI-	TIEMPO	COSTE	OBSERVACIONES.
				Metros	máxima. Metros.	DAD máxima. Metros.	empleado en su construcción. Años.	por metro lineal. Reales.	
Trognoy..	1803	De San Quintin.	Creta hendida (sin aguas).	1.103	8,00	50	Se ignora.	3.080	Revestido primero en muy poca parte de su longitud, despues en toda. Atacado por 12 pozos separados de 180 á 540 metros.
Thames y Medway..	1822	De Thames y Medway.	Idem tierna y dura (idem)..	3.620	9,00	59	3	3.200	
Saint-Argnan.	1822	De Des Ardennes.	Caliza azul conchifera..	262	6,00	45	Se ignora.	4.250	
Pouilly.	1824	De Borgoña.	Margas squistosas, c.liza de grafiles (poca agua).	3.330	6.20	50	8	8.000	
Hercastle.	1825	De Gran Truch.	Roca, arena, arenisca (sin agua)..	2.630	4,20	57	4,17	3.960	
Charleroy.	1828	De Charleroy..	Arena movediza (agua).	1.288	4,30	36	4	4.960	
Fowg.	1839	De Marne al Rhin..	Margas y caliza (muchas agua)	868	8,00	61	3,84	6.240	
Liverdun.	1837	"	Caliza oolitica (sin agua).	380	8,00	33	4,75	6.400	
Arschewiller.	1839	"	Areniscas (muchas agua pero acabó por desaparecer)..	2.250	8,00	65	6	Sin revestir 3.600	
Idem.	1840	"	Idem idem.	410	8,00	28	3,75	Revestido 6.900	
Mauwages..	1840	"	Margas fáciles de escavar.	4.800	7,80	120	A los seis años no estaba terminado.	5.900 á 6.600	
Fonquiere gard.	1853	De Fonquerés.	Caliza y margas (muchas agua).. . . .	62	3,37	17	Se ignora.	6.200 á 6.800	Proyectados 22 pozos, construidos 17. Abierto á fuerza de pólvora. Revestidas únicamente las grietas.
De la toma.		Del Lozoya	Caliza dura.	50	1,39	8,5		206,54	
De la limpia.		"	Idem idem.	227	1,39	12		296	
Solana núm. 1.		"	"	78	1,39	16		624	
Solana núm. 2.		"	"	433	1,39	24		629	
Del Espartal.		"	Arcilla y arena.	168	1,39	26		650	
De Zurita.		"	Arena suelta.	450	1,39	47		792	
De Sargadillo.		"	Arcilla, arena (agua)	209	1,39	34		1.008	
Del Recachuelo.		"	De acarreo con grandes bloques de gneis.	196,5	1,39	34		742	
Zejera yieja.		"	Idem idem.	755	1,39	41		814	
Patatero.	1851 á 1858	"	Idem idem (muchas agua).	91	1,39	15		914	
Corzas		"	De acarreo.	83	1,39	16		742	
Colmenar.		"	Idem idem.	394,5	1,39	35		819	
Valdeondeguillos.		"	Idem (con muchas agua)..	194	1,39	28		932	
Mimbresas.		"	Idem idem.	65	1,39	18		851	
Del Barbatero.		"	Acarreo, arcilla, bloques (agua). . . .	210	1,39	24		742	
De Valdepuercos.		"	Idem idem.	141	1,39	26		931	
Bajo la carretera de Francia.		"	Idem idem.	166	1,39	52		742	
De Casilla.		"	Idem (sin agua).	160	1,39	38		752	
De Sarguesilla.		"	Arcilloso y roca.	182	1,39	34		530	
De la Retuerta.	"	Idem idem.	32	1,39	14,5		579,34		
De la Sima.	"	En roca.	60	1,39	17		666,71		
Del Polvorin.	"	Arcilloso y cantos.	172	1,39	27		480,4		
Cabeza-cana.	"	Arcilloso-calizo.	150	1,39	20		725		
Del Casilla.	"	Arcilloso.							

NOMBRE de los subterráneos.	FECHA en que se principia- ron.	CANALES.	NATURALEZA del terreno.	LONGITUD. — Metros.	ANCHURA máxima. — Metros.	PROFUNDEI- DAD máxima. — Metros.	TIEMPO empleado en su construcción. — Años.	COSTE por metro lineal. — Reales.	OBSERVACIONES.
De la Parrilla.	1851 á 1858	Del Lozoya.	Arcilloso y canto rodado.	226	1,39	19		735,12	Seccion recta, fábrica de ladrillo.
De Valdemojados.		»	Arcilla compacta.	120	1,29	16		735,12	Idem idem idem.
Llanos de la Mancha		»	Arena idem.	708	1,39	34		741,66	Idem idem idem.
De Viñuelas.		»	Arcillo-arenoso.	300	1,39	17			Idem idem idem.
De Valdemasilla.		»	Arena y cantos.	423	1,39	21,5		648,41	Idem idem idem.
De Otero.		»	Arcilla arenosa (agua).	148,5	1,39	47,7		1.231,20	Idem, fué (el más difícil y costoso).
De Valdelatas.		»	Arena-arcillosa compacta.	655	1,39	26,4		716,55	Idem Idem idem.
De la Morena.		»	Arcilla-arenosa (agua).	638		25,7		1.013,28	Idem idem idem.
Santa Ana.		»	Idem compacta.	325		16,2		711,29	Idem idem idem.
De las Cruces.		»	Idem (con mucha agua).	681		31,5		764,57	Idem idem idem.
De Valdeperates.		»	Arcillo-arenoso, deleznable.	121		20,6		656	Seccion elíptica, fábrica de ladrillo.
De los Pinos.		»	Idem idem (con agua).	359		29,3		580,83	Idem idem idem.
Del Obispo.		»	Arena compacta.	484		25		674,68	Idem idem idem.
Del Bordador.		»	Idem idem.	158		16		673,4	Idem idem idem.
De Amaniel.	»	Arcillo-arenoso.	86		15,55		791,8	Idem idem idem.	
Monclar.	1856	De Urgel.	Areniscas, yeso, margas arcillosas y yesosas (mucha agua).	494,7	6,976	146,5	5,50	5.300 (1)	Está todo revestido. Empezando con 13 pozos no fué posible bajar á solera los 4 centrales, y hubo por lo tanto necesidad de abrir longitud de gale- ría de 1.730 sin más puntos de ataque que los dos proporcionados por los pozos extremos de 105 metros de profundidad el 1.º y 39 el 2.º
Llenguadera.	1857	»	Arenisca fuerte y margas.	288	6,976	56,36		1.937	
San Jorge.	1860	»	Margas areniscas, conglomerados.	290	6,976		1,50	2.436	

(1) Aun cuando este es el coste real del metro lineal, coste bien barato por cierto, según puede deducirse del exámen de este mismo cuadro, la Sociedad mediante un ventajoso contrato lo ha pagado solo á 3.400 rs., representando la notable diferencia entre estos dos precios una pérdida de consideracion que los constructores han experimentado en esta obra.

CAPITULO III.

Puentes-acueductos.

Consideraciones principales relativas á las obras de grandes dimensiones. Detalles de varios puentes-acueductos. Estudio comparativo de un puente-acueducto ó de un sistema de sifones de fundicion.

Se da el nombre de puente-acueducto á la obra de fábrica que sirve para salvar el ancho de un canal, una corriente de agua ó un barranco. Cuando el espacio es poco considerable, esta obra de fábrica puede reducirse á un sencillo canalizo sostenido por pilas y estribos análogos á los pontones de carpintería, el que puede ser de madera ó de palastro ó de un sistema mixto combinando los dos materiales.

Los acueductos se componen de un canal construido de mampostería ó de ladrillo, etc., perfectamente cerrado para conservar la pendiente, sobre un muro macizo, cuando su altura no excede de 3^{m.}, ó sobre uno ó varios órdenes de arcadas cuando es mayor. Los acueductos de mampostería deben preferirse á los demás, siempre que el volumen de agua á conducir sea pequeño y poco profundo el valle que hay que atravesar.

Las *figs.* 70 y 71 representan una construcción de esta clase. Se compone de un sencillo canalizo ó caja de madera, revestido de tablonés de encina unidos á espiga, embreado y calafateado, descansando sobre unas pilas de mampostería. La capacidad de este acueducto no es más que 6^{m.}³, pero con el auxilio de un sistema de ta-

blones de sostenimiento convenientemente colocados se pueden obtener volúmenes más considerables.

Grandes puentes-acueductos.—Cuando se trata de conducir el agua, teniendo que atravesar un valle ancho y profundo, se puede escoger uno de los dos métodos siguientes: el puente acueducto propiamente dicho, ó un sistema de sifones. Estos pueden establecerse de mampostería cuando quedan fuera del terreno, esto es, cuando no se adaptan, sino en corta cantidad, á la profundidad del barranco. Se ven ejemplos de ello en los restos de los acueductos romanos que suministraban las aguas á varias ciudades. Pero cuando el sifon debe estar enterado con una curva, cuya flecha sea considerable, preciso es recurrir á los tubos de fundicion de gran diámetro, lo que resulta mucho más costoso, por lo que no se usaba ese sistema de construccion, sino para las conducciones de agua destinadas á las distribuciones urbanas, por ser su gasto tan moderado.

Para los canales de riego cuyo caudal es de algunos metros cúbicos de agua por segundo, no tienen gran aplicacion.

De aquí el que para franquear los barrancos profundos se adoptasen los puentes-acueductos, que pueden proporcionar caudales ilimitados, pero cuyo gasto debe sin embargo estar en relacion directa con las ventajas que ofrezca la empresa.

El coste de estas obras aumenta rápidamente con su altura, por lo que se procura limitarla en lo posible; esto es, que no se debe: primero, conservar para la solera del canal en este punto más que el nivel estrictamente necesario despues de estar seguro que las pendientes aguas abajo se hallan en las mejores condiciones; segundo, ejecutar, si es posible, una desviacion del eje

hacia una de las laderas del barranco con el objeto de disminuir la altura de la obra de fábrica.

Cuando se hayan observado estos dos principios, se dará al puente-acueducto una ó varias órdenes de arcos, según lo exijan las circunstancias.

Cuando estos puentes-acueductos tienen varias órdenes de arcos, llegan á una gran altura y las hiladas inferiores estarían expuestas á una enorme presión, si no se cuidara de atenuar el efecto, tanto por el aumento de espesor de los basamentos, como por el vacío de las partes superiores, que deben conservar únicamente la fuerza necesaria para soportar la arqueta con su carga máxima de agua. De este modo se podrán calcular todas las dimensiones de la obra, haciendo que por una zona horizontal cualquiera la presión que sufra cada centímetro cuadrado quede casi constante. Según la clase de las piedras, esta presión puede regularse por centímetro cuadrado, desde 5 á 25 kilogramos, pero hay que hacer respecto á ello algunas salvedades. Sea cual fuere el método de construcción de los grandes puentes-acueductos, su fundación debe ser excesivamente sólida, y sobre todo sentada exclusivamente sobre un terreno resistente, pues de otro modo los grandes asientos serán inevitables por el efecto de la carga.

Hay que observar que, sea por consecuencia del asiento en la construcción de las bóvedas y arcadas, sea por el solo efecto de variaciones de temperatura, las cubetas que sostienen los grandes puentes-acueductos difícilmente dejan de tener filtraciones y pierden agua al fin del invierno.

No se ha encontrado remedio á este grave inconveniente más que por el empleo de cementos y enlucidos betuminosos, que tengan una gran elasticidad, con cuyo

auxilio las variaciones de temperaturas se efectúan sin ocasionar hendiduras en las construcciones.

Puente-acueducto de Roquefavour.—Antes de terminar este artículo diremos algunas palabras acerca de una de las obras más notables de esta clase.

El puente-acueducto de Roquefavour, construido en 1842 según los planos y bajo la dirección de Mr. de Montricher, Ingeniero jefe de puentes y caminos, director del canal de Marsella, está destinado para el paso del canal sobre el barranco de Are, garganta profunda, erizada de rocas.

La cabida de agua es de por 6m.⁵ segundo; pero este canal puede llegar á 8m.⁵ ó más. Su longitud total es de 400 metros; su ancho de 14,20m. en la base y 4,50m. al nivel de la cubeta. Su altura sobre las bajas aguas del arroyo es de 82,65m.

Dicho puente-acueducto se compone de tres órdenes de arcadas. El primer orden tiene 34,10m. de altura; está formada por 12 bóvedas que tienen 15 metros de luz; el segundo orden, formado de 15 bóvedas de 16 metros de luz, tiene una altura de 37,60m.

El tercer orden se compone de 53 bóvedas de 5 metros de luz, los cuales sostienen la cubeta. Su altura es de 10,95m.

Los trabajos preparatorios se empezaron en 1840, pero las canteras no se organizaron hasta en 1842. El puente se terminó completamente en 1842.

Se pueden calcular los materiales que se emplearon para su construcción del siguiente modo:

Madera, 1.200 metros cúbicos; hierro, 640.000 kilogramos; fundición, 180.000 kilogramos; sillería, 50.000 metros cúbicos; sillarejo, 16.600 metros cúbicos. En un millón el número de jornales invertidos por operarios de

diferentes profesiones, y el coste total asciende á reales 14.060.000.

Todas las pilas descansan sobre roca compacta. Para algunas ha sido necesario escavar á bastante profundidad; las correspondientes al cauce del arroyo están cimentadas á 10m. bajo el nivel de las aguas ordinarias. La sillería fué extraída de las canteras de Mont-Ribon, situado á 6 kilómetros, en los alrededores del puente, y su trasporte se hizo por medio de una vía férrea provisional, cuya terminacion era un plano inclinado que permitia elevar todos los materiales á la altura de su asiento, por medio de una rueda hidráulica.

El volúmen de cada sillar varia entre 1 y 6 metros, que corresponde á un peso de 2.500 á 15.000 kilogramos. El sistema empleado para facilitar los acopios al pié de obra fué muy ingenioso. La carpintería de las pilas se montaba á la vez que se elevaba la mampostería, se apoyaba en las mismas pilas por cuatro montantes sólidamente empotrados en los cuatro rincones de las pilas.

Los materiales se conducian desde luego al pié de obra por un camino de hierro que terminaba con un plano inclinado.

El camino y el plano eran movibles y seguian la elevacion del trabajo.

Para la construccion de las bóvedas del primer orden se estableció encima de las cimbras de las bóvedas dos rails sobre los que circulaban los carros movibles, que tomaban las piedras sobre el macizo del primer arco y las subian á la altura que se queria.

En una palabra, en su conjunto y en sus detalles se aplicaron los mayores cuidados para obtener toda la perfeccion posible en la ejecucion de esta magnífica obra.

En el canal de conduccion de aguas á Madrid se han construido 27 puentes-acueductos de varias formas y clase de fábrica. La pendiente media es de 0,0015m.; la velocidad por segundo 1,29m.; y la seccion de agua 1,73m.². Dichas obras se han ejecutado con prudente economía, observándose en ellas belleza, resistencia y duracion. El de mayor coste es el de Valcaliente, de tres arcos de medio punto de 14,50m. altura y 9,75m. de luz, siendo su longitud 58 metros y su importe total 356.021 reales, ó sea el de 6.138 rs. metro lineal.

Entre las obras modernas de esta clase son dignas de fijar la atencion de los constructores las que cuenta el Canal de Urgel, como son los acueductos del Sio, que tiene 7 arcos de 6 metros de luz cada uno; el del Cervera, de un solo arco rebajado de 9,50m. de luz, que termina en sus extremidades por dos sifones de 2m. de diámetro; el de Cenill, de tres arcos de 5,50m. de luz; el de Rocafort, de un arco de 4m., con muros de sostenimiento de gran altura, y el del Regué Salat, igual á los de Corps y el Salado, de tres arcos de 3,50m. de luz.

Tambien tenemos el gran acueducto del Canal Imperial de Aragon, sobre el rio Jalon, inmediato al pueblo de Grisen, que tiene 1.400 metros de longitud, 20 metros de ancho en la parte superior y 8m. de altura con escarpes de 0,125m. y muros de sostenimiento de gran altura.

El gran acueducto sobre el rio Harlem, en la conduccion de aguas á la ciudad de Nueva-York, tiene 15 arcos de sillería, sobre los que van dos tubos de fundicion de 0,835m. de diámetro. Las pendientes se determinan segun las circunstancias.

El acueducto de Segovia tiene 0,004 por metro; el de

Roquefavour 0,00029m.; el de Montpellier 0,00028m., y el del recinto de Paris 0,00011m.

Puentes de sifon.—Cuando el valle que hay que atravesar es muy profundo, y por consiguiente es muy considerable el número de arcadas necesario para conservar la pendiente, se pueden reemplazar estas construcciones por tubos de hierro fundido ó de plomo, con tal que presenten la suficiente resistencia para soportar las presiones del agua. Se le hace seguir el contorno del valle, sosteniéndole por los costados sobre arcos por tranquil, y en el medio por un puente ordinario, que lleva el nombre de puente-sifon.

Se colocan sobre las alturas y las extremidades de los tubos, depósitos; y el agua desciende desde el uno por el tubo, ascendiendo hasta el otro á un nivel que depende de la pérdida de carga debida al rozamiento y á la aceleracion del agua en los tubos, segun que su abertura difiera más ó ménos de la seccion de la corriente en la acequia ó mina. En los puntos más bajos de la cañería se colocan dos tubos con tubuluras, destinados á descargar las aguas cuando se ha de dejar en seco el sifon, y en la parte superior, cerca de la embocadura, otros dos tubos de la misma forma para facilitar la introduccion del agua, dando libre paso al aire de los tubos.

Si el ancho del valle es muy considerable, se pueden formar muchos conductos de sifon, levantando unos pilares de mampostería para sostener otras tantas cubetas ó depósitos colocados á alturas diferentes, en relacion á la pérdida de carga del agua en cada sifon. El agua desciende del primer reservatorio á donde concurre el acueducto por el sifon al primer depósito aislado; de este pasa al segundo, etc. Se colocan en las arquetas ó depósitos de la parte alta de los pilares aberturas á fin de dar

salida al aire, que, sin esta precaucion, pudiera impedir el movimiento del agua en los tubos.

Se puede emplear un medio semejante para atravesar un rio, un torrente, etc., sobre los cuales la construccion de un puente seria dificil ó muy dispendiosa. El conducto en este caso se compone de tubos de plomo, ó mejor de hierro fundido, articulados, para que puedan adaptarse á las inflexiones del lecho.

La velocidad del agua en un acueducto debe someterse á los mismos principios que cuando corre por un canal, pudiendo variar la velocidad en límites muy extensos, puesto que en el presente caso, por causa de aquella no pueden corroerse ni degradarse las paredes por el rozamiento.

Para conservar el nivel determinado, segun las circunstancias del problema, hay que atender á la ecuacion general del movimiento del agua en las cañerías ó acueductos cerrados.

Siendo bastante complicada la resolucion de dicha ecuacion, y deducir por medio de ella las diferentes cantidades que la componen y varios los casos que pueden ocurrir, pueden consultarse al efecto los escritos que tratan de ello con mayor detencion de la que podriamos hacerlo en esta obra.

De los grandes sifones reemplazando los puentes-acueductos.—Hace algunos años que las fábricas no suministraban tubos de fundicion sino de un diámetro muy escaso, el cual no pasaba su circunferencia de 0,50m. á 0,60m. Con dichos tubos es indudable que se puede hacer cruzar perfectamente un barranco para una conduccion de aguas, pero de caudal limitado, como se desea comunmente para las distribuciones en las ciudades, pero para mayor volúmen, segun se necesitan para el

riego, tales medios de conduccion, por consecuencia de las pérdidas de carga que ocasionarian, no se aplicaban.

Hoy, que el arte de fundir ha recibido notables perfecciones, se obtienen con muy buenas condiciones tubos de fundicion de 0,92m. y de 1,00m. de diámetro, y cuya longitud entre sus extremos, es de 2m. á 2,90m.; con cuyo recurso se puede en ciertos casos acometer el problema de que se trata. Sin embargo, luego se verá que su solucion no deja de tener dificultades.

En la distribucion de aguas de la villa de Madrid se han empleado con buen éxito conducciones en sifon con tubos de fundicion de un diámetro de 0,92m. fundidos en Francia en la fábrica de Fourchambault. Segun Nadault de Buffon no se podrá citar ejemplo análogo para los riegos siendo positivo, que salvo en casos muy excepcionales, como por ejemplo en las localidades en que las obras de fábrica presenten grandes dificultades, será en lo general más económico bajo todos conceptos, la construccion de un puente acueducto, que recurrir al empleo de un sistema de sifones.

Algunos detalles pueden servir para explicar los motivos en que se funda tal opinion.

El principal motivo es la gran reduccion que en el volumen y en el nivel sufren, y que deben resistir cuando se sustituyen por ellos los conductos de una corriente á cielo abierto.

Este principio se verifica igualmente por la teoría que por la práctica, y se puede hacer cargo de ello con los tubos de todos diámetros, pero esencialmente con los más pequeños. Así no hay nadie que no comprenda de un modo evidente que los 300 tubos ascensionales, de 0,054m. de diámetro, formando parte de la antigua

máquina de Marly (Francia), mirada entonces con una maravilla, se consideraría hoy como un absurdo á causa del extraordinario roce que el agua experimenta en semejante caso y de la pérdida consiguiente que de ello resulta en la fuerza motriz empleada para vencerla.

Pero examinemos la misma cuestión bajo su otro aspecto, esto es, con el de los mayores diámetros conocidos. Tomemos por tipo el del barranco del Arc que cruza el Canal de Marsella. Durante su construcción algunos la criticaron, diciendo que se podía haber cruzado dicho barranco de Arc por medio de sifones con un coste menos de su mitad.

El hecho es que el puente acueducto, llegando según se ha visto á un coste elevadísimo de 34.200 rs. por metro corriente, se presume desde luego que los gastos por otro sistema hubieran sido inferiores á esa cifra, y sin embargo, esta suposición, según opinión del renombrado Ingeniero Mr. Nadault de Buffon, es errónea.

A pesar de la opinión de tan eminente Ingeniero, debe tenerse presente que de treinta años á esta parte se ha adelantado mucho en la fundición de tubos, proporcionándolos con gran ventaja tanto respecto á la resistencia como á la economía. Esta última puede adquirirse hasta 1,10 rs. el kilogramo, de modo que calculando la sección y el espesor, fácilmente podremos encontrar el peso específico del metro lineal y por tanto su valor. En las obras del ferro-carril de Madrid á Zaragoza se ha hecho uso de tubos de fundición de 2,90 m. de longitud, diámetro interior 0,60 m. y espesor en las paredes 0,02 m. siendo su coste á 120 rs. cada tubo.

Además, según hemos indicado, el sistema de sifones ha sido adoptado en varios puntos del Canal del Lozoya

por los ingenieros que han dirigido su construcción, cuyas obras son:

Puente sifon de Malacuera. Arcos escarzanos de mampostería y sillería, flecha del sifon 45m. longitud de la cañería, 860m. El del Guadalix puente oblicuo á 68° de inclinación y 40m. de longitud. El sifon tiene 356m. de desarrollo y 53,60m. de flecha; su construcción de ladrillo y aristones de sillería. El del Bodonal; los tubos están enterrados de modo que no hay puente, la cuerda del sifon es de 1.266m. su flecha 21m., y su desarrollo 1.400m. de cañería. El del Morenillo, con arcos escarzanos rebajados al $\frac{1}{3}$, siendo 170m. la longitud de la cañería.

La longitud de cada tubo es de 2,95m., siendo 0,15m. la del reborde ó enchufe; su diámetro 0,92m. y el exterior 0,95m., y 0,99m. y 404m. los respectivos del enchufe. Algunos de ellos se probaron á una resistencia de 12 atmósferas, por medio de un mecanismo especial, fundado en el principio de la incompresibilidad del agua.

En todo sifon hay necesidad de ciertas obras de fábrica para contener los aparatos que han de facilitar la distribución del agua y el reconocimiento de los tubos, mecanismos que deben emplearse para la seguridad de los sifones y para la comodidad de su servicio.

La cañería, después de enchufada y probada, se cubre de una capa de tierra de un metro al ménos de espesor, bien arreglada y apisonada.

Para establecer la construcción de un sifon, preciso es que sus dimensiones tengan entre sí una relación que satisfagan á la ecuación del movimiento del agua en los tubos de conducción, que es:

$$H = 0,08264 \frac{Q^2}{D^4} + 0,002221 \frac{L}{D^5} (Q^3 + 0,0432 Q D^2)$$

En la que H es la diferencia de nivel entre los puntos de entrada y salida de la cañería.

Q el caudal de agua á que da paso en un segundo.

D diámetro interior de los tubos.

L la longitud ó desarrollo de la cañería.

Conocidas tres de estas cualidades, fácilmente podremos hallar la cuarta por medio de la ecuacion.

Ocurre con frecuencia que no es suficiente una sola fila de tubos para conducir el volúmen de agua disponible, en cuyo caso se aumenta lo necesario, adoptando siempre los tubos de mayor diámetro.

Para calcular el espesor que se debe dar á los tubos, debe tenerse presente la presion que ejerce el agua sobre sus paredes, y cómo la mayor está representada por la ecuacion

$$p = H z$$

igual al peso II de la unidad de volúmen multiplicado por la altura z sobre el punto que se considera, llamando e el espesor de las paredes, r el rádio del tubo, y T la mayor tension por metro cuadrado á que puede exponerse la materia del tubo, resultará

$$e = \frac{H r z}{T}$$

Los tubos que se usan más y que obtienen mayores ventajas son los de hierro fundido, y para este metal es $T = 12004528$ h . Para que sean admisibles deben soportar una carga de agua de 100m. de altura; así deberá tenerse

$$e = \frac{1000 \times 100 r}{12004528} = 0,0083 r = 0,0166 d,$$

siendo d el diámetro, á cuyo resultado se aumentará

0,01 por razon de las pérdidas que ocasionan los defectos del material, excepto cuando son tubos que se funden verticalmente, en los que se puede disminuir el espesor, calculándose este por la fórmula

$$e = 0,016 d. + 0,008 m.$$

Entre las obras de fábrica anexas á los sifones, debemos citar las compuertas de precision y un escorredero, por medio de la que se deja correr el agua por el canal superior, dejando de entrar en los sifones cuando convenga tenerlos en seco. Para dar salida al agua contenida dentro de los tubos, hay que colocar otros llamados de desagüe, que por medio de una alcantarilla conducen el agua á punto conveniente; tambien pueden disponerse unas escotillas para reconocer el fondo de los tubos, que no son más que unas placas que se ajustan fuertemente á un tubo por medio de sus correspondientes tornillos.

Con el objeto de atenuar el efecto de los choques que se producen con el movimiento del agua, se colocan en el punto más bajo unas ventosas ó probetas, para que, quedando una cierta cantidad de aire, su elasticidad preste el efecto de un resorte.

Para hacer una comparacion entre el coste de un acueducto de fábrica y el de sifones de tubos, además de tener presente lo que hemos expuesto en los párrafos anteriores, es preciso atender:

- 1.º Que los tubos que se empleen sean del mayor diámetro posible, con el fin de disminuir las pérdidas de carga.
- 2.º Deben colocarse de modo que su vigilancia y reparaciones puedan ser atendidas con facilidad.

Para que los tubos den una seccion efectiva igual á la del canal, será necesario calcular el número de órde-

nes paralelos que deben funcionar simultáneamente.

Para su asiento deberá construirse una galería, pues solo así puede llenar la segunda condicion.

Si se trata de establecer los tubos en el fondo de un valle ó atravesando un barranco, en cuyo lecho generalmente corren aguas, tendremos precision de colocarlos dentro de un acueducto subterráneo perfectamente construido, teniendo el estrado de la bóveda más bajo que la corriente de las aguas.

Las bóvedas tendrán que ser muy sólidas y preservarlas por otras exteriores para resistir á la vez á una fuerte presion, á las filtraciones, socavaciones y demás que hay que temer en la mayor parte de casos.

Atendiendo dichos datos y condiciones se podrá llegar á conocer fácil y demostrativamente los gastos comparativos de los dos sistemas, contando en ambos casos con los de conservacion, que son mayores en las cañerías, y decidiéndose en igualdad de circunstancias por el primera.

En general, cuando el valle que se quiere salvar es pequeño, el coste del acueducto será menor que el del sifon con sus obras accesorias y mecanismos, mientras que llegando á cierto límite su magnitud, la economía se encuentra en la adopcion de los sifones; así es que una obra de esta clase en el canal del Lozoya, y que ya hemos citado, cual es la del Guadalix, costó 2.337.000, mientras que hubiera costado 7 millones la construccion del acueducto, atendiendo el precio que han tenido por metro lineal obras semejantes, situadas á corta distancia de la que nos ocupa.

Por fin, lo que debe buscarse en la comparacion son grandes diferencias en el coste, atender las ventajas é inconvenientes de cada uno, y decidirse por el más económico y de fácil vigilancia.

CAPITULO IV.

Diques y presas.

Antes de tratar de los principios aplicables á la construcción de los diques y presas en general, vamos á decir algunas palabras de las obras que tienen alguna relación con ellas, como son los *encauces y defensas de los rios*.

La fuerte pendiente que en lo general tienen los arroyos, hace que se hallen espuestos á grandes desbordamientos, y como el suelo de los valles cruzados por estas corrientes, su pendiente es tambien muy pronunciada; de aquí que las aguas adquieran mucha velocidad y arrastren las cosechas, las simientes, abonos y aun la capa de tierra vegetal, y cuando no, dejan cubierta su superficie de terreno de acarreo.

Por lo tanto, preciso es defender los terrenos dedicados al cultivo, evitando dichos daños. Para lograrlo, se encauza la corriente por medio de diques que se construyen en sus márgenes, procurando en lo posible que se componga de líneas rectas unidas entre sí por curvas tangentes del mayor radio posible, esto es, imitar su corriente natural en el sentido de su direccion, pero limitar su ancho, y sobre todo sus divisiones en brazos ó ramales. Sin embargo, al comprender ó encerrar la direccion general del arroyo deben evitarse los recodos bruscos y cambios repentinos que producen irregularidad en la corriente de las aguas, dando lugar á la destrucción de las obras.

El ancho que debe darse al arroyo depende del cau-

dal de aguas que por él debe correr. El espacio entre el pié del dique y el borde del arroyo se cubrirá de céspedes ú otras yerbas, cuyas raices forman un tejido entre sí, dando al terreno una resistencia capaz de impedir el ser minado por las aguas. Los extremos de los diques deben cimentarse con toda seguridad y en buen terreno.

El dique más económico es el que se construye con tierra vegetal y céspedes, cubriendo la parte superior con algun arbusto, como el seto vivo de espino blanco ó otro análogo.

Cuando la altura no excede de 2 ó 3 metros, el ancho en la parte superior será de 0,50_{m.} á 0,60_{m.}, con un talud de 1,50_{m.} á 2 de base por 1 metro de altura por el lado interior, y por el exterior de 1 á 1,50_{m.} Siempre que se pueda acomodar el talud interior á la forma cóncava que tienen los lechos de los arroyos se hará, pues con ellos nos acercaremos más á la naturaleza.

Determinadas las condiciones particulares del trazado, se procede á la operacion del modo siguiente: Se clavarán piquetes ó estacas que fijen la direccion de las diferentes líneas ó aristas de la banqueta superior, y sus piés interior y exterior. Hecho este replantco, se desembrozará el ancho del terreno que debe ocupar la base del dique, dejando á un lado estos materiales para aprovecharlos despues; luego se hará el terraplen del dique por capas de 0,30_{m.}, apisonando y si és preciso regando las tierras, dándole el perfil trasversal adoptado, revistiéndolo por último de tierra y céspedes. Si se desea una construccion más resistente se mezclará grava, regando cada capa con una lechada de cal, ó se ejecutarán segun los medios adoptados para cerrar el ancho de un rio, de lo que vamos á tratar.

Para cerrar un rio de grande anchura, pero cuya altu-

ra de aguas es de 0,80m. á 0,90m., y su fondo es arenoso, se puede emplear una tela larga y embreada.

Una de sus orillas se elevará en una hilera de pilotes ó grandes piquetes hincados en todo el ancho del río. Los hombres que están dentro del agua la sostienen por la otra orilla, dejándola caer de repente y al mismo tiempo, de modo que arrastre sobre el fondo de 0,30m. á 0,40m., ó instantáneamente cargan su pié de arena, obteniendo así una ligera presa que puede reportar gran utilidad para obrar con mayor solidez al abrigo de la corriente.

Presa ó dique de tierra y estacas.—Cuando es poca la velocidad, y la altura de las aguas no excede de 1m. á 1,50m. se forma por medio de capas de tierra, empezando por ambos lados del río y avanzando hácia el medio. A medida que los dos lados se van aproximando disminuye la desembocadura, el agua se remansa hácia arriba, vuelve hácia abajo, estableciéndose una corriente con gran velocidad.

El lecho se socava, y por grande que sea la prontitud y los medios adoptados, no siempre se puede cerrar el dique con tierras que son arrastradas por la corriente. Por lo que deben emplearse los piquetes ó las estacas que se hincan aguas arriba de la alineacion, delante de la que se colocan zarzos, continuando á la vez el cuerpo del dique con tierras, cantos, faginas, con piedras, estiercol, etc.

Presas de escollera.—Pueden construirse las presas por medio de piedras arrojadas, pero para ello es necesario que durante las crecidas estas depositen bastante légamo y arena para cerrar los intersticios de la escollera. Es muy posible que no se obtenga impermeabilidad sino despues de muchísimo tiempo. Para apresurarla y

que obtenga buen éxito, es indispensable extender algunos cantos y gravas entre las piedras de cada capa. Las escolleras pueden sostenerse por medio de una estacada. Igualmente pueden construirse diques por medio de caballetes, arena y fajos de zarzas con cestos llenos de cantos y gravas, y otros que por su sencillez tienen bastante aplicacion, sobre todo para aumentar la profundidad de un rio, el cual está dividido en varios brazos y se quieren cerrar algunos, con el fin de reunirlos en uno solo.

De las presas en general.—Estas obras pueden considerarse como muros de sostenimiento, resistiendo al empuje de las aguas. Su objeto es el de conservar las aguas á un nivel determinado, á fin de asegurar la cantidad de agua necesaria al canal de alimentacion.

Las presas pueden ser fijas y movibles; su construccion es muy variable, segun la importancia de la corriente de agua, la naturaleza del terreno, los materiales que puede suministrar el país, etc., etc.

No recordaremos aquí más que un corto número de principios aplicables á la construccion de las presas en general, pero presentando sobre todo las observaciones que se aplican particularmente á las obras dedicadas al riego.

La primera condicion para toda construccion es la estabilidad, por otra parte la de las presas, estando por causas de diferente naturaleza constantemente amenazada, hay necesidad de que sea muy segura.

Hay otra condicion no ménos esencial en el establecimiento de las presas, y es que no causen perturbacion alguna en el régimen de las aguas que pueda perjudicar á las fábricas y á los propietarios ribereños, ya con el remanso de las aguas, ya por las socavaciones ó los

acarreos que á menudo se efectúan aguas abajo, y en ciertos casos á bastante distancia de su emplazamiento.

Por lo que desde luego se deben tomar cuantas precauciones sean necesarias, á fin de que las obras no sean en perjuicio de tercero.

Si la construcción es nueva se sujetará al reglamento administrativo, en el que dichas precauciones están descritas; si se trata de reconstruir una presa conservando las antiguas dimensiones aseguradas en debida forma, no habrá más que atender á la solidez de la obra.

Diferentes clases de presas.—Vamos á ocuparnos de las presas vertientes, teniendo por objeto elevar en el verano el nivel de una corriente de agua hasta una altura determinada, permitiendo el derrame de la totalidad ó de una parte de su volúmen durante las crecidas. Estas presas pueden establecerse con canalizos ó sin ellos, y en el último caso es por donde se efectúa la caída de las aguas franqueando el salto.

La mayor dificultad para su construcción es la del continuo peligro de las socavaciones, las que tienden siempre á descubrir cediendo el terreno por compresion y que conducen á la inmediata ruina de la construcción, si no se han tomado en ella todas las precauciones necesarias para evitarlo.

Por esto dejamos completamente aparte la cuestion del establecimiento de las presas sin vertientes, que no son otra cosa, propiamente hablando, más que diques sencillos destinados á la supresion, ó á contener un brazo de río reconocido perjudicial al régimen de las aguas, pero que no siendo sobrepujadas por las crecidas, están exentas de la principal causa de destrucción que acabamos de citar.

Esta supresion de un brazo en la corriente de un río ó

de un torrente, puede encontrarse útil en materia de canales de riego, según hemos indicado anteriormente, por lo que no debemos tratar de ello en este capítulo, en el que consideraciones más esenciales debemos hacer relativas á las presas propiamente dichas, y sobre las precauciones que deben observarse para su emplazamiento.

Una presa insumergible de una construcción cualquiera, cruzada por un canalizo que no se abre más que en las grandes aguas, se diferencia muy poco del dique-presa que acabamos de tratar.

Debe preservársela: 1.º Del empuje del agua, representando por cada altura un esfuerzo determinado, que es fácil calcular. 2.º De los desmoronamientos que puede causar hácia arriba ó abajo la rapidez de la corriente del canalizo. Pero todo esto no tiene comparación con las precauciones que reclama el establecimiento de una presa con vertiente, que tiene que resistir al continuo efecto de una caída ó salto.

Muy pocas son las corrientes en que se pueden establecer tomas de agua para el riego sin el auxilio de presas. Sin embargo, se presentan alguna vez, pero únicamente en el caso en que se encuentra sin gran pendiente y con volúmen abundante durante el verano, lo que solo tiene lugar en las inmediaciones de grandes montañas llenas de nieves perpétuas.

Generalmente los arroyos y torrentes, aun en aquellos puntos donde conservan fuertes pendientes, están sujetas á sequías muy pronunciadas, que hacen que su nivel baje considerablemente, con las cuales sería muy difícil el combinar las condiciones esenciales de una buena toma, sin el auxilio de obras reguladoras más costosas, que si las hubiera en caso semejante. Al contrario,

con una buena presa siempre se conserva el mismo nivel; y como el volúmen á derivar generalmente está basado sobre el gasto mínimo, se llenan así las condiciones esenciales.

Antes de proceder á la construccion de las presas, es preciso atender muy particularmente los efectos que causan en el régimen de los rios; esto es, la longitud del remanso, variacion del fondo, aguas arriba y aguas abajo, degradacion en las márgenes, etc., etc.

Eleccion del emplazamiento de las presas de riego.— Sea que el punto donde tenga que construirse una presa esté determinado por varias circunstancias, y sobre todo, por las más ó ménos dificultades que se presentan en la adquisicion de parcelas de los terrenos necesarios á esta construccion, hay siempre cierta latitud, siendo incuestionable que es mejor no dar tanta extension al riego, á sufrir condiciones ménos favorables, con relacion á los beneficios de los terrenos, que determinarse por estas consideraciones secundarias á construir esta clase de obras en otra situacion que aquella que reúna todas las conveniencias necesarias.

Estas se hallan en la mayor parte de casos casi determinadas, aun podria decirse que son fijas en cada uno. En efecto, dadas la posicion, las cotas ó alturas del perimetro que se quiere regar, la nivelacion longitudinal y transversal de la corriente del agua, la naturaleza del terreno, que limita la velocidad en el canal de conduccion, no se tiene más que una corta latitud para el emplazamiento de la presa reguladora de la toma de aguas.

Se debe partir de este principio; que una presa que tenga mucha altura está expuesta á grandes inconvenientes, tanto como por lo que se refiere á la situacion

de las propiedades ribereñas, como en la de su propia estabilidad.

Salvo el caso de una pendiente extraordinaria de la corriente de agua á derivar, la experiencia ha demostrado que una altura de 2m. á 2m. 50 sobre el estiaje es casi el límite usual para las presas, no debiendo en la construcción hacerse gastos extraordinarios.

Por tanto, si añadimos como dato casi fijo la altura de la presa á las que acabamos de mencionar, se reconocerá bien pronto tal como acaba de decirse, que para satisfacer á la suma de las condiciones que reclama una derivación que se va á abrir en un terreno determinado, no queda más que una corta latitud respecto al emplazamiento de la presa ó toma de agua. Sin embargo, en el caso en que se trate de una construcción importante, no se puede dejar sin aprovechar ciertas circunstancias completamente favorables, tal como la presencia de un ribazo ó de un asiento en roca, para el cimiento ó la fundación de las presas, etc. Este emplazamiento, una vez determinado, debe, con auxilio de la nivelación, formarse de él un concepto perfectamente exacto de las condiciones del desagüe en el canal de conducción, y verificadas estas observaciones, se podrá proceder á la construcción.

Las presas deben apoyarse entre márgenes firmes y elevadas que la sirvan de estribos, teniendo una cimentación sólida, procurando evitar las filtraciones y el que puedan ser aisladas por el agua. Para evitarlo en lo posible se reconocerá el terreno con suma atención, tomando cuantos datos y noticias se crean convenientes.

Si es necesario se defenderán los ribazos por medio de diques insubmersibles; sin embargo, estas obras tienen el inconveniente de estrechar la desembocadura y aumentar las inundaciones aguas arriba.

Se puede evitar en parte dicho inconveniente, dejando en la presa aliviaderos. La mejor situacion de estos es en medio de las presas, pero para hacer la maniobra es necesario construir un puente de servicio.

Para evitar los inconvenientes que se presentan en la maniobra de los aliviaderos, se construyen estos en proporcion y segun la desembocadura de las grandes aguas, pues entonces no hay necesidad de abrirlos durante las avenidas, puesto que dan salida al agua sobrante.

Para ello se deja un verdadero boquete de cierta anchura, el resto de la construccion se elevará algun tanto sobre el nivel del agua, cuyo sistema, á no ser en circunstancias especiales, no ofrece ventajas.

Diferentes métodos de construccion.—Si la solidez es la condicion principal que debe tener el establecimiento de las presas en general, se puede decir que la economia debe unirse á aquella, sobre todo cuando se trata de presas teniendo por objeto el riego. Despues veremos que hay un sin número para este uso de presas inestables, esto es, de una existencia esencialmente precaria y susceptibles de ser arrastradas á la primera crecida.

Sin embargo, la mayor parte de las construcciones de este género son para el riego, para la navegacion y fábricas, presas fijas, ó por lo ménos presas con un umbral fijo, y de uno de los sistemas movibles de los que trataremos en los capítulos siguientes.

Por lo que es útil recordar aquí algunas de las reglas fundamentales, relativas al establecimiento del lecho del rio, de los macizos destinados á relevar el nivel de las aguas durante la sequía, resistiendo sin embargo á la accion de las crecidas. Presentaremos desde luego

una observacion esencial respecto á la direccion que se debe dar á las presas.

Direccion de las presas con vertientes.—El eje puede establecerse en una direccion normal ú oblicua al de la corriente. En el primer caso, la longitud de la presa tendrá su minimum, y en el segundo podrá extenderse indefinidamente. Pero en cada una de estas situaciones obra de distinto modo sobre el régimen de las aguas, esto es, que la presa normal, si es enteramente fija y no presenta salidas por el fondo, ocasiona siempre en las grandes aguas una disminucion de la seccion, medida por su altura sobre el fondo. En las grandes aguas esta disminucion de salida natural es siempre muy sensible y puede ocasionar grandes perturbaciones, lo que obliga generalmente á adoptar otras disposiciones.

Como una presa oblicua de una inclinacion cualquiera tiene siempre por proyeccion vertical la presa rectangular, partiendo del mismo punto, se podia haber dudado del efecto de esta disposicion para atenuar los remansos. Sin embargo, la experiencia ha demostrado lo contrario, esto es, que en las presas de una altura ordinaria el remanso que se verifica aguas arriba está poco ménos que en relacion inversa de la longitud, por lo cual en la mayor parte de casos se han adoptado las presas acuchilladas, dispuestas más ó menos oblicuas, con relacion al eje de la corriente.

Por otra parte, esta disposicion puede tener en ciertos casos un notable inconveniente, porque la corriente se halla rechazada á una sola márgen y tiende á desmoronarla, en cuyo caso se puede remediar aquel por el empleo de enfaglinados y escolleras, que atenúen la velocidad de la caída misma de la presa, y que defiendan las orillas amenazadas de derrumbamiento. Algunas veces

se emplea ventajosamente con el mismo objeto una presa en forma de tajamar, cuyas dos ramas tienen juntas la longitud que se ha calculado, como conveniente para disminuir suficientemente la altura del remanso en un estado determinado de las aguas. Entonces es preciso tener la precaución de no establecer estos dos brazos en ángulo agudo, porque en este caso la ventaja que resultaría del aumento de su longitud no se halla compensada por la perturbación que experimentaría el desagüe hacia abajo.

Por eso se adoptan en ese caso ángulos muy abiertos, siendo muy raro que se llegue al ángulo recto, pero es preferible sustituir esta forma, de la que resulta de contornos curvilíneos apropiados á los accidentes del terreno y á las mejores condiciones del desagüe.

Construcción de las presas y de sus formas.—Las presas para canales de riego se construyen con toda clase de materiales. La adopción de estos y la forma depende de la calidad del terreno en que se ha de establecer. Si es terreno resistente y no se halla expuesto á socavaciones, se podrá construir de mampostería con paramentos verticales. Por el contrario, si después de algún tiempo puede hallarse expuesto á degradaciones, si bien se empleará la misma construcción, se defenderá su pie por medio de un talud formado por piedra suelta ó escollera. Cuando las degradaciones sean considerables, la cimentación se hará á mayor profundidad.

Si el lecho se compone de gravas, arenas ó arcilla, se dará á la coronación de la presa un talud de 4 á 5^m aguas abajo. El macizo de la presa se construirá por medio de pilotaje y encajonados con piedras arrojadas hasta la altura del nivel del estiaje, después el declive superior ó plano inclinado se formará con mampostería en

seco y el paramento con morrillo. En la parte inferior y más bajo que el nivel de aguas ordinarias se clavan algunos pilotes, entre los que se arrojan grandes cantos rodados formando talud, y al pié de este una hilera de estacas.

De algun tiempo á esta parte las construcciones parecen demostrar, que la opinion se concreta á las presas en sentido perpendicular á la corriente construidas con mampostería y sus paramentos verticales; sin embargo, por gran número de Ingenieros se ha adoptado el sistema de encajonados.

Segun hemos indicado, las presas pueden construirse con toda clase de materiales, por lo que las hay de mampostería y sillería, hormigon, escollera con paramentos, escollera y gravas, guijarros, faginas y ramajes, en fin, varían al infinito.

Cuando se construyen de paramentos verticales por ambos lados, sin defensa alguna, la fábrica debe ser de mampostería y sillería con mortero. Los paramentos y glácis bien construidos, teniendo el último una pendiente suave.

La construccion de estos glácis exige mucho cuidado. Los sillares de coronacion deben ser de grandes dimensiones, con el objeto de que resistan á los choques de los cuerpos arrastrados por la corriente. Además, cuando hay heladas y las aguas están bajas, las puntas verticales se quedan al descubierto ó sin mortero, llenándose de agua, la que helándose despues separa, levanta ó resquebraja las piedras. Para impedirlo, se unirán por medio de grapas de hierro y á cola de milano. Los sillares que forman la coronacion deben ser duros con el fin de resistir al rozamiento, sobre todo cuando el rio arrastre gravas y cantos que salvan las presas.

Cuando se adopta la forma de anchos declives, puede construirse el macizo con escollera hasta el nivel del estiaje y el resto de mampostería en seco. Agua arriba y abajo se sujeta por medio de dos hileras de estacas en sentido de la mayor pendiente del declive. Las estacas están atirantadas en los dos sentidos un poco más bajo que el nivel del estiaje, después se coronan con maderos que enrasan con la superficie. Esta se construye de grandes bloques labrados á pico unidos entre sí y sujetos por medio de los maderos en la parte superior y en la inferior por los tirantes, quedando el volumen de la obra dividido en cajones, la que ofrece más resistencia, evita las degradaciones y las reparaciones son más fáciles por concretarse á superficies limitadas.

La marcha de las obras debe ser siempre que sea posible la siguiente: desviar el río, hincar los pilotes, unirlos por medio de maderos longitudinales y transversales, los huecos comprendidos entre este maderamen se rellenan de piedra en seco hasta 0,60m. á 0,70m. más bajo que el paramento inclinado, se sierran los pilotes, se colocan los durmientes, y finalmente, el declive superior.

La piedra arrojada debe colocarse con cierto cuidado, consistiendo en capas generales y sucesivas de un tamaño regular, cubriendo los intersticios con otros más menudos extendidos sobre cada capa. Para evitar el reemplazo de las piezas de carpintería por efecto de la descomposición que sufren las maderas, que tan pronto están dentro del agua como en seco, se empotran aquellas en el grueso del macizo, evitando así queden expuestas al aire. A fin de que el declive superior tenga la debida resistencia, se emplearán sillares gruesos que tengan de 0,60m.³ á 0,70m.³ en forma de cuña.

La unión y enface de los sombreretes á los pilotes, se

hará por medio de espigas á cola de milano sujetas por pasadores de madera, con el objeto de no hacer uso del herraje por lo expuesto que se halla á oxidarse y al desgaste.

Para terminar el macizo aguas arriba, se hará un talud con escollera, y aguas abajo se draga y limpia bien el suelo; en esta evacuacion se clavan estacas, entre las que se arrojan grandes bloques, de modo que el talud termine en el fondo.

Construyéndose tambien los vertederos con grandes declives siendo estos de mamposteria ordinaria, y en la parte superior de grandes sillares unidos con grapones y sujetando su pié con una hilera de pilotes atirantados, *fig. 74.*

Alguna vez se construyen las presas segun el perfil de la *fig. 74*, rellinando el maderaje ó huecos de hormigon y revistiéndolo con un tablero.

En todos los perfiles citados los declives inferiores tienen un talud de 3 á 5 próximamente.

Entre las presas de la expresada categoria deben comprenderse aquellas cuyos declives son cóncavos ó convexos, ó afectan ambas curvas, *figs. 75, 76 y 77.*

La resistencia es la misma que en las demás, pero tienen el inconveniente de exigir sillares de difícil labra. Los declives que así se hacen se destruyen fácilmente, porque los sillares tienen la forma de cuña, y por tanto ménos gruesos en el interior que en el paramento, por lo que cuando el agua penetra en el macizo, los desune, los separa de su asiento, y levantando uno de dichos sillares, los que se apoyan en él pronto siguen el mismo camino.

Para las presas de alguna elevacion, con el fin de disminuir el efecto del salto, se emplea la siguiente cons-

truccion. Se elevan dos hileras de estacas unidas por medio de piezas de madera que formen un hueco de la altura que ha de tener la presa, el cual se llena de piedra en seco, mampostería ú hormigon y se cubre con maderos bien unidos; aguas abajo se establece otro zampeado de maderámen con dos ó tres saltos, segun sea la caida del agua. Cuando los saltos tienen poca altura, la superficie superior se construye de mampostería con grandes piedras en seco. (*Fig. 77*).

Pueden construirse presas muy económicas y susceptibles de alguna duracion, por medio de capas alternadas de faginas y de guijarro, sujetas entre sí y el terreno por estacas. A esta clase de presas debe dárseles una pendiente muy suave aguas abajo, y su pié se mantiene por medio de una hilera de estacas seguida de un empedrado ó enfaginado, ó de cestones llenos de guijarros que forman el emparrillado del zampeado. La arista superior de las presas debe nivelarse todo lo horizontal posible, con el fin de que el derrame del agua se verifique con uniformidad.

Si bien en toda clase de construcciones la estabilidad es la primera condicion á que deben satisfacer, en la de las presas, repetimos, es necesario no descuidarla, pues por causas de diferente naturaleza está siempre amenazada aquella, por lo que es conveniente: 1.º Que los cimientos se hallen perfectamente sentados y unidos al terreno, de modo que no haya filtraciones en el fondo ni por los lados, porque causarian presiones inferiores que, socavando la base, disminuirian su resistencia, pudiendo ocasionar su ruina, bien sea por resbalamiento ó por giro.

Si bien en el establecimiento de esta clase de construcciones pueden haberse tenido presentes las condi-

ciones citadas, las filtraciones pueden producirse ya en el macizo de la presa, ya en sus cimientos, y por lo cual debe darse al dique un espesor conveniente que pueda resistir, no solo al empuje del agua, sino tambien al efecto de las subpresiones.

2.º Las mamposterías deben ser perfectamente ripiadas y además revestidas de una capa completamente impermeable, si los materiales empleados son porosos.

Las fórmulas para calcular el espesor de dichas obras, teniendo que estar en equilibrio, al empuje del agua, y considerando que dicho espesor es el mismo en toda su altura, son segun Navier:

Para la resistencia al giro,

$$x = 0,59 h \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

Para la resistencia al resbalamiento.

$$x' = \frac{h}{2f} \times \frac{d}{d'}$$

xx' = espesores que se deben dar para resistir teóricamente, el primero al giro, el segundo al resbalamiento.

h altura total desde la base del cimiento.

d densidad del agua.

d' densidad de la mampostería.

f relacion del rozamiento á la presion respecto á la resistencia del terreno aguas abajo.

En los casos más favorables las anteriores fórmulas se reducen.

$$\begin{aligned} x &= 0,41 h \\ x' &= 0,30 h \end{aligned}$$

Valores que deben considerarse el mínimo de lo que debe darse en la práctica.

También podemos hacer uso de las fórmulas

$$\alpha = 0,845 (H-h) \operatorname{tang.} \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

en la que tenemos los nuevos datos

h' altura de la sobrecarga.

$\operatorname{tang.} \frac{1}{2} \alpha$ ángulo del talud natural, en los fúidos, tierras desleídas y arcillosas penetradas por el agua. En este caso el ángulo es de 90° y la $\operatorname{tang.} \frac{1}{2} \alpha = 1$.

El valor de d debe hacerse igual 1.800 kg en razón á que al pié de la presa se amontonan porción de arenas arrastradas por la corriente, cuyo peso por término medio es el que hemos fijado.

Si ambos paramentos son verticales, sería

$$\alpha = 0,845 (h - h') \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

y, finalmente, presentamos las siguientes fórmulas, para que puedan servir según los casos.

Suponiendo los paramentos verticales

$$1,25 \alpha = 1,25 h \sqrt{\frac{d}{3 d'}} = 0,54 h$$

Si suponemos el talud m será

$$1,25 \alpha = 1,25 h \sqrt{\frac{d}{3 d'}} + m = 0,54 m h$$

En resúmen, puede considerarse dentro de buenos límites, calculando el espesor por la primera fórmula, substituyendo los valores que les correspondan al caso que se trate, duplicando las dimensiones así determinadas.

Los cimientos se dispondrán de modo que bajen perpendicularmente, esto es, que no tiendan á inclinarse más á un lado que á otro. Esto se conseguirá si la resul-

tante de las fuerzas y resistencias que obran sobre la presa pasa por el centro de gravedad de la base del edificio, lo que equivale á establecer que la suma de los momentos de todas estas fuerzas sea nula con relacion á dicho centro de gravedad,

Sin embargo, teniendo presente lo expuesto al principio de este capítulo, la tabla de los pesos específicos y de los esfuerzos capaces de aplastar los cuerpos á la presión, así como las deducciones sacadas de las experiencias; con ello se puede llegar á un resultado satisfactorio.

Con el objeto de dar una idea de las principales presas de retención que se han construido en España, copiamos de la *Revista de Obras públicas*, las descripciones de las del canal de Lozoya y del de Urgel, terminando con un cuadro comparativo que reúne varios datos.

CANAL DEL LOZOYA.

Presa del Ponton de la Oliva.

La nivelación practicada por los ingenieros D. Juan Rafo y D. Juan Rivera, con el fin de formar el ante-proyecto de un canal derivado del río Lozoya para abastecer de aguas á Madrid, comprobada escrupulosamente en 1851, dió por resultado que las aguas bajas de aquel río en el Ponton de la Oliva estaban 26,46m. más altas que el umbral de la puerta de Santa Bárbara.

Para que el abastecimiento de aguas de la capital fuese el más perfecto posible, se consideró como indispensable construir una presa de contención, contigua y por encima del Ponton de la Oliva, con el fin de levantar las aguas á una altura que permitiese situar el depósito de recepción 15,57m. más alto que la puerta de Santa Bár-

bara. Es indudable que de esta altura depende que el agua llegue por solo su presión á los edificios situados en la parte más elevada de Madrid y á sus pisos más altos, y que pueda alcanzar también al nuevo barrio de Chamberí.

La longitud del trazado definitivo resulta de 70,04 kilómetros, es decir, $5 \frac{1}{2}$ leguas ménos que la del anteproyecto, pues no era posible determinar en este, por falta de datos, el número de minas y acueductos que tanto habian de contribuir al acortamiento de la línea.

La pendiente general del canal es de 0,0002, ó sea 1 por 5.000, que produce una velocidad suficiente para que no se altere la calidad de las aguas; pendiente que se ha aumentado además por razón de economía en las minas y acueductos, que tendrán la de 1 por 1.500 y 1,5 por 1.000, contribuyendo su larga extensión y su situación alternada en la línea del canal, á que la velocidad media de las aguas sea muy superior á la que resultaría de la pendiente general que hemos indicado.

Con estas pendientes resulta un desnivel para el canal desde el Pontón de la Oliva hasta la superficie del agua en el depósito de recepción, de 30,64m., al cual, añadiendo los 15,60m. que esta se hallará sobre el umbral de la puerta de Santa Bárbara, resulta un total de 46,24m., y como el desnivel que había disponible entre las aguas bajas de Lozoya y dicha puerta era tan solo de 26,46m., fué preciso establecer la solera del bocal en la presa á 19,78m. de altura, hasta el nivel de las mismas bajas aguas.

Innegable es la conveniencia de aumentar siempre esta altura para que la toma de aguas se haga con la debida limpieza y que los hielos no la obstruyan; y en el presente caso era hasta una necesidad este aumento, para

obtener un depósito suplementario que repare las bajas que en el verano experimentan las aguas del Lozoya. Por esta razón se eleva 6,82m. la cresta ó coronación de la presa sobre la solera del canal.

Antes de dar á conocer la situación y forma de esta obra, bueno será hacer una breve descripción geológica de la cuenca del Lozoya. Este río, que hacia su nacimiento corre largo trecho por medio de rocas cristalinas, pasa en seguida por una pizarra antigua, casi siempre negra y dura, que se dirige próximamente al N. magnético, con buzamiento de grande inclinación á O. Sobre esta pizarra, en las inmediaciones del Ponton de la Oliva, descansa una zona de caliza correspondiente á la creta, cuyas capas se dirigen como la gran sierra Carpetana, de N. E. á S. O. con buzamiento de 20° al S. E. por lo regular. Su latitud es de unos 688,6m. en dicho Ponton, el cual se halla un poco más bajo que la parte media de esta zona. Las aguas antiguas del Lozoya se han abierto paso en este paraje de tal modo, que en algunos trechos sus costados se hallan casi verticales, distando entre sí de 70 á 140 metros. En otros puntos el terreno cretáceo se compone de una serie de capas blancas con otras de arena y guijo, las cuales no existen en este paraje; antes por el contrario, los bancos cretáceos alternan con gruesos bancos de caliza compacta, en que desaparecen las cavernillas ú oquedades que distinguen aquella formación. Para la situación de la presa se han aprovechado los gruesos bancos de caliza de que acabamos de hablar, eligiendo, como era consiguiente, el paraje más estrecho de la abertura, y en cuyas laderas se pudiese además establecer con ventaja el aliviadero y las minas de limpia y de toma de aguas.

En cuanto á la línea de la cresta, ha parecido preferi-

ble adoptar la recta, pues teniendo la abertura en el punto elegido 78,80m., cualquier arco que se hubiese trazado sobre esta cuerda con una curvatura conveniente, hubiera aumentado la extension de la línea y muy considerablemente el gasto en la mano de obra del paramento de caída, sin que por esta disposicion se obtuviese aumento notable de solidez, el cual se ha conseguido con esmero en la construccion y dando espesores que exceden en mucho á las prescripciones de la teoría y aun hasta los datos más autorizados de la experiencia. Esta misma tiene demostrado que las crestas curvas no pueden tener la verdadera representacion de arcos ni una ventajosa aplicacion cuando las cuerdas exceden de 28 metros.

Por tanto, atendidas las pocas ventajas que hubiera ofrecido el adoptar para la presa la forma curva, y las dificultades de ejecucion y mayores gastos que hubiera originado, se ha construido segun una traza recta, terminando en los extremos, que se empotran en la roca de las laderas, en dos cuerpos cilíndricos, cuya coronacion se halla más elevada que la general de la obra: la longitud de la parte recta es de 72,14m., y el rádio de cada tambor ó cuerpo cilíndrico es de 3,33m.; de modo que la longitud total de la presa es de 78,80m. La altura total de la parte recta es de 31,38m., formada por 66 hileras de sillería de 0,46m. de alto, más la coronacion, que tiene 0,74m.; la longitud de los sillares es constante de 0,84m., y su tizon varía, siendo siempre proporcional á sus demás dimensiones, y llegando algunos á tener 4,00m. La altura total de la presa, incluso la fundacion, se divide en cuatro cuerpos y además la coronacion, los cuales son un basamento general de 23 hileras, 17 escalonadas segun el talud general que tiene la

presa y seis formando paramento vertical; tres compuestos, los dos inferiores de tres hiladas que presentan retallos de 0,21m. y 10 situadas en plano vertical, y el tercero de las expresadas 3 hiladas y 11 siguiendo el plano vertical correspondiente; por último, la coronacion está compuesta de tres hiladas, formando dos fajas, siendo la inferior de dos hiladas; y por fin, la última que resalta sobre las tres inferiores, y que, como hemos dicho, tiene 0,74m. de altura, afectando en su parte superior la forma parabólica que ha de seguir el agua en su caída. Esta parte central está separada de los cuerpos cilíndricos por dos fajas de notable anchura, cuyas hiladas escalonadas tienen sus aristas salientes sobre el plano del talud general de la presa, que es de un sexto.

El espesor general de esta gran fábrica es en su base 9 43,1m., de los cuales 18,11m. son de sillería, y los 25,08m. restantes de gruesa mampostería hidráulica; la anchura de la presa en la coronacion es de 6,96m., incluso el medio pié de vuelo que tiene la hilada superior. La mampostería que constituye la parte interior de la presa forma un talud muy tendido, terminando en su parte superior á 9,19m. de la coronacion, y en el extremo de su base en un muro de sillería de 6,68m. de elevacion: á cada 4 m. de altura se ha enrasado todo el espesor de la construccion con una hilada de sillería y sillarejo, completándose por este medio la union de las dos clases de fábrica, que además están perfectamente enlazadas por las entregas que presentan las hiladas de sillería á la mampostería hidráulica.

Desde luego puede observarse de que su disposicion es la más apropiada para que, aun en el caso de que se viertan las aguas en avenidas extraordinarias, no se comprometa la existencia de la obra ni padezca ningun

deterioro en los sillares del paramento. La naturaleza del suelo en que está fundada la presa, todo él de roca caliza compacta, parece asegurar la imposibilidad de que sea socavada por la caída de las aguas, habiéndose de reforzar además con escollera en la parte baja que formaba el antiguo cauce del río.

La decoracion de la obra depende exclusivamente del aparejo y de la contraposicion de sus diferentes partes; los cuerpos centrales, en vez de terminar en las laderas, se han limitado por planos verticales que forman las fajas de los costados, las cuales van á encontrar la peña y los macizos sobre que descansan los obeliscos, de donde salen tambien las escalinatas para comunicar por encima de la presa.

El paramento de embalsé está formado por taludes que terminan en un muro, y por la parte exterior de este se ha rellenado con piedra y tierra hasta formar una cuenca artificial en que la altura de agua se reduce bastante respecto á la máxima de la presa, resultando de esta disposicion que la presion del embalse, lejos de obrar en la destruccion de la fábrica, contribuye á darla mayor estabilidad. No es fácil sin haberlo visto formarse idea exacta de las grandes dificultades que ha sido necesario vencer en la construccion de la presa, en especial por lo que respecta á su fundacion.

Se ha creído generalmente que esta era fácil, por la circunstancia de ser terreno de roca, pero sin atender á que para buscar esta roca habia que descender más de 5m. debajo del lecho del río, y á que durante la construccion habian de pasar sobre la obra las cantidades de agua que se expresan en la relacion general de aforos publicada en la Memoria de 1853, y las extraordinarias avenidas de 26 de Mayo del mismo año y 19 Abril (1854).

Demos ahora una rápida idea de la construcción, y de las principales dificultades que en ella se han presentado. Los cortes de la roca caliza en el punto elegido para la situación de la presa manifiestan bancos de gran espesor muy compactos y de tal correspondencia en estratificación, que no puede dudarse que en lo antiguo fueron uno solo; toda la probabilidad estaba, pues, por que continuarían á cierta profundidad debajo del lecho del río. Así se creía por los reconocimientos y las indicaciones del exterior; pero cuando en la campaña de 1852 se separaron las aguas del Lozoya por medio de una mina, y se procedió á escavar el lecho del río para extraer todo el material de acarreo, se encontró que el banco estaba completamente interrumpido.

En tal situación fué preciso redoblar los esfuerzos para continuar la escavación hasta encontrar el banco subsiguiente, empleándose constantemente en el trabajo 800 operarios, y jugando á veces 25 bombas de agotamiento, con más los valdeos que era indispensable establecer donde no era fácil la colocación de aquellas. Ya podrá comprenderse que la afluencia del agua á tal profundidad sería considerable; á ello contribuían las filtraciones del río y de varios manantiales muy abundantes que existían antes y después del sitio en que se ejecutaba la escavación.

Por último, se logró descubrir el banco de fundación y después de abrir en él las cajas horizontales para recibir los sillares, se sentó el primero de estos el día 25 de Agosto de 1852: por medio de ataguías se iba aislando el espacio, y por agotamientos parciales se conseguía hacer siempre en seco el asiento de la sillería, logrando por este lento procedimiento colocar en dicho año doce hileras en el espesor de 18,11m. que ya se ha indicado.

A primera vista parecerá enorme y dispendioso este macizo de sillería, pero á ello obligó el restablecimiento artificial del banco sobre que estriba la presa, y la grande altura de 31,38m. que tendrá esta desde el punto más bajo de la fundacion hasta su cresta.

A este grande espesor de sillería se debe el que la presa no haya sufrido ningun deterioro en las avenidas de que se ha hecho mérito, sirviendo además para contener la fábrica de grandes mampuestos que tiene á su espalda.

Esta fábrica, en la campaña de trabajos de 1853, se estableció descubriendo el banco de fundacion á una profundidad próximamente igual á la en que se colocaron los primeros sillares, y en extension cerca de tres veces mayor que la que ocupó la sillería: aunque este espacio quedó aislado por el muro de sillarejos, no dejó de presentar tambien muchas y graves dificultades en su escavacion, en el acarreo de materiales, y sobre todo, en cegar algunos manantiales que, unidos á las filtraciones de las aguas del rio que pasaban 8,36m. más altas, formaban en los puntos bajos depósitos de agua de bastante consideracion. Siguiendo un método análogo al que se ha manifestado para la sillería, se logró al fin de la campaña enrasar este gran espacio hasta la altura de las hiladas que forman el embasamento.

En tal estado se continuó con preferencia el asiento de sillería, extendiéndolo á las cajas que estaban abiertas de antemano en la parte del banco correspondiente á la margen izquierda: como esta operacion presentaba más facilidad, se logró correr las hiladas de zarpa que forman la base del primer cuerpo de uno á otro costado de las ladéras, quedando la obra regularizada al fin de la campaña, y en disposicion ya de proseguirla, sin más

interrupcion que la que ocasionan los temporales de grandes hielos.

Así se siguió en los meses trascurridos del año (1854), habiéndose logrado subir la sillería en los dos tercios de la línea á muy cerca de la mitad del segundo cuerpo, y el resto de la línea se encontraba en la cuarta hilada del primer cuerpo, que es donde se dejaban las canales de al misma fábrica de sillería para dar paso á las aguas del rio, por cuyo medio se iba levantando la obra en esta parte hasta igualarla con la anterior.

Por la forma y dimensiones de la fábrica es la obra más importante del Canal, y demuestra en todos conceptos su magnífica construcción, presentando todas las garantías inimaginables de su indestructible estabilidad.

Pasemos á la descripción de la *presa del Canal de Urgel*. La naturaleza del lecho del rio Segre ha determinado la clase de fábrica de que debía formarse la presa. En un suelo de acarreo en que el terreno firme se halla á bastante profundidad, nada era mejor que aplicar una construcción mixta de madera y piedra que, permitiendo enlazar íntima y fuertemente todas las distintas partes que constituyen el macizo del dique al mismo tiempo que cimentarlo bien, evite su parcial degradacion e imposibilite por lo tanto la destruccion de la obra.

El emplazamiento de la Lenguadera reúne la ventaja de no estrechar el paso al agua y colocar la presa en las mejores condiciones de estabilidad posible.

La presa de toma de aguas del Canal tiene 170 m. de longitud entre sus dos estribos y 4,80 m. de altura. Su perfil está formado de dos, ó por mejor decir de tres cuerpos. El primero, empezando por la parte de aguas arriba, presenta al embalse del agua una superficie inclinada, con una pendiente de $1 \frac{1}{2}$ de base por 1 de altura.

El segundo cuerpo ofrece dos superficies á la acción del agua: una horizontal de 2 m. de anchura, y otra inclinada en sentido opuesto á la del primero, con pendiente de 3 por 1. Finalmente, el tercer cuerpo de 11,5 m. de latitud está terminado por una superficie que puede decirse horizontal.

Los dos últimos cuerpos, cuya anchura ó espesor juntos es de 25 m., constituyen la presa verdaderamente dicha, puesto que el primero está solo formado por gravas, que entre otros objetos llenan el de favorecer la impermeabilidad de la obra. Los dos cuerpos citados se apoyan en las márgenes del río mediante robustos y bien cimentados estribos de sillería, cuyas fuertes y largas entregas en las expresadas márgenes los pone enteramente á cubierto de la acción destructora de las aguas.

Forman estos cuerpos 16 filas de pilotes, clavados hasta el terreno firme, y perfectamente unidos unos con otros por cuatro órdenes de riostras, dirigidas las unas en sentido horizontal y las otras normales á la presa. Los primeros penetran en el macizo de los estribos por medio de cajas convenientemente practicadas en ellos, y establecen por lo tanto con las demás piezas del sistema una unión íntima entre los diversos elementos que constituyen el todo.

Abrazando perfectamente las distintas piezas que forman el armazón, digámoslo así, de madera, viene á completar y macizar éstos dos cuerpos una esmerada fábrica de mampostería en seco, precedida de un fuerte muro de mampostería hidráulica, que forma la parte de aguas arriba de la presa, y evita las filtraciones directas que á través de la obra pudieran temerse.

Tanto este muro como la fábrica anterior terminan en 0,50 m. á 0,75 m. antes de llegar á la coronación de la

obra, y se enrasan á esa altura con la cara inferior del último orden de riostras longitudinales, dejando ese espacio para la sólida y rica coronacion de que se ha dotado á la obra, haciéndola con ella, no solo de un aspecto agradable, sino impercedera en cuanto cabe.

La coronacion de la presa está formada por grandes sillares aplantillados, que sujetan, por medio de verdaderas entalladuras, las riostras del último orden longitudinal, á las cuales cubren, y son á su vez sujetadas por las riostras trasversales que, empotradas en ellos y fuertemente unidas á las anteriores, presentan su cara superior enrasada con la superficie exterior de la coronacion.

Presa del canal de Henares.

Entre las varias obras que con justo título llaman la atencion en dicho canal, una de ellas es la toma de aguas, que se halla construida inmediato á la villa de Humanes, provincia de Guadalajara. Su emplazamiento está situado en una curva que forma el río; el lecho de este se compone de roca arcillosa compacta mezclado con conglomerado bastante duro, cuyo terreno ofreció una sólida cimentacion. Para esta se formaron escalones horizontales en la roca, con el objeto de obtener una superficie plana por tramos.

La cresta de la presa está formada por dos curvas, una de 121 m., y otra de 60,50 m., corriendo al través del río y siguiendo el eje del primer tramo del canal, casi tangente á la primera curva del dique.

El perfil trasversal de la presa puede considerarse que

se compone de tres partes: la primera lo constituye el muro del lado del embalse, el centro un gran macizo de hormigon hidráulico y por el último el tercero, es el declive ó vertiente.

La base del muro, hasta una altura de 3,60 m., es de mampostería hidráulica, y el resto de sillares apantillados con entalladuras (cuyos detalles demuestra la sección *fig. 82*). En cada uno de los sillares que constituyen las cuatro hiladas superiores de la presa, y que le sirven de coronacion, se les abrieron unas canales ó ranuras en el lecho, sobrelecho y lados de 0,0125 m. de profundidad; de modo que despues de presentados en su asiento formaba una canal cuadrada de 0,025 m. de lado, continua y vacía, la que se llenaba con cemento puro líquido (*fig. 83*).

Las dimensiones de dichos sillares son: los de las tres hiladas superiores 0,609 m. de altura, y los de la cuarta 0,70 m. El expresado muro presenta dos taludes la mampostería, el de 1 por 6, y la sillería 1 por 12.

La vertiente ó declive está formado por una pendiente de unos 6 m. de longitud y una curva de 15,50 m. de radio, siendo el espesor total de la presa al nivel del terreno 9,20 m., y en la cimentacion 14,60 m. Su construccion es de sillares de 0,90 m. y 0,60 m. de tizon, y 0,30 m. de espesor, perfectamente juntados y sentados, completando el total espesor de su paramento de 1,30 m. con buena mampostería hidráulica. Su pié lo forman dos hiladas de sillares de 1,06 m. de longitud y 6,30 m. de grueso, hincados ó encajonados 0,90 m. en la roca ó lecho del rio en el sentido de su mayor dimension, y 0,30 m. fuera del terreno.

El macizo del centro es de hormigon hidráulico, y casi en el mismo plano vertical de la cresta se construyeron en la base bloques artificiales de grandes dimen-

ESTADO comparativo de las principales dimensiones y circunstancias de las presas de retencion más notables que se han construido en España.

NOMBRE DE LAS PRESAS.	RIOS.	CRESTA DE LAS PRESAS.			ESPESOR DE LAS PRESAS.		PARAMENTO de EMBALESE.	REGULADOR DE LA SUPERFICIE.	CONDUCTOS QUE ATRAVIESAN LA FÁBRICA.	CLASE DE CONSTRUCCION.	AÑO en que empezó su construcción.	OBSERVACIONES.
		Forma.	Longitud Metros.	Altura. Metros.	Inferior. Metros.	Superior. Metros.						
de Tibi ó de Alicante.	Garganta formada por los montes Mos del Bou y Crezta.	Curva en arco de círculo de 63,00 metros de cuerda y 2,78 metros de sagita.	67,43	44,58	33,44	19,50	Casi vertical.	Trastallador ó aliviadero al lado derecho de la parte superior de la presa.	Espaciosa galería que sirve de desarenador en el pié del murallon y mina de desagüe de fondo.	El murallon, que es de sillares labrados, macizado de cal y canto en el interior, se apoya sobre las peñas de los montes.	1579	Se terminó en 1594. En 1697 apareció una quiebra considerable, que se compuso en 1798, sin que después se haya experimentado la menor alteracion. Las aguas para el regadío salen por una mina abierta en la peña.
de Puentes.	Lorca, en la confluencia del Vélez y Luchena.	Poligonal de tres rectas de 79,41, 115,63 y 45,14 metros.	240,17	50,15	40,12	6,13	Vertical.	En lugar de los grifos del desarenador, que no pudieron abrirse cuando amenazaba la ruina de la presa, se construyó en la parte de la derecha un aliviadero de 8,35 m., incapaz de llenar su objeto.	Desarenador ó bóveda de limpia de 6,68 m. de latitud. Mina de 1,39 m. para uso de los tablachos.	Sillería de 0,836 m. de tizon en los paramentos, esmerada en el exterior, pero descuidada en lechos y juntas. El macizo está compuesto de un mazacote ó hormigon de cantos rodados. Se fundó sobre pilotaje.	1785	Esta presa, de poca resistencia por su viciosa disposicion, reveló su inestabilidad á poco de cargarse, sin haber medios eficaces de evitar su ruina, que tuvo lugar en 30 de Abril de 1802 con grandes desastres.
de Gasco.	Guadarrama.	Recta.	250,77	93,33	72,45	4,08	Talud de 60°	Aliviadero de 16,72 m. en la margen derecha.	Bóveda de 8,36 m. en el lecho del rio, la cual, más bien que permanente, debe considerarse como auxiliar de la construcción.	Mampostería de 2,73 m. de espesor constante en los paramentos; muros de travesía de mampostería para unirlos y dividir el macizo en cajones, cuyo relleno se hizo de arcilla y piedra.	1788	El día 14 de Mayo de 1799, cuando la construcción llegaba á la altura de 57,12 m., las lluvias produjeron un aumento de volumen en el relleno de los cajones, que ocasionó la ruina de una parte del muro exterior y la suspension de la obra.
de Valdeinino.	Luchena.	Poligonal de cinco rectas iguales de 15,88 metros	79,14	35,66	50,15	8,36	Vertical.	Carece de aliviadero.	Desarenador de 4,46 m. Mina baja de 0,84 m. y otra alta de 1,39 m.	Análoga á la de la presa de Puentes, con la diferencia de tener mayor tizon algunos sillares de los paramentos. Se fundó en un escalon de caliza oolítica, abierto por las aguas del rio Luchena.	1792	Faltan 5,02 m. para llegar á la altura total; la existencia de esta obra, á pesar de su aparente solidez, ha dependido de no llenarse el embalse y de haberse enarenado este hasta la altura de 12,58 m. con las tierras que han arrastrado las aguas por efecto de la roturación de las laderas contiguas.
de Nijar.	Hambra del Cañizal.	Curva en arco de círculo de 31,76 metros de cuerda y 3,06 metros de sagita.	105,32	27,86	20,62	16,72	Casi vertical.	No se tiene noticia de que haya aliviadero en las laderas, y probablemente la altura de la cara de aguas se regulará por los conductos que atraviesan la presa.	Desarenador de 0,97 m. Cañon de salida para el riego de 0,84 m. Pozo de saeteros de 2,50 m. de diámetro. Pozo de compuertas de 0,84 m.	Sillería en los paramentos y mampostería en los macizos.	1850	La resistencia está principalmente fiada á la densidad de la masa y á su forma arqueada.
Ponton de la Oliva.	Lozoya.	Recta.	72,44	39,04	39,00	6,69	Talud de 30°	Aliviadero independiente de la presa, abierto en la roca de la margen izquierda, de 8,36 m. de anchura y 3,06 m. bajo la hilada de coronacion.	Ningun conducto atraviesa la fábrica de la presa, que será completamente maciza. La toma de aguas se hará por una mina abierta en peña en la margen derecha; y por otra mina inferior á aquella y abierta tambien en la roca se verificarán las limpiezas; todo con entera independencia de la presa.	Sillería de grandes tizonos, labrada con esmero en sus lechos y juntas, y de 18,67 m. de espesor en la base y 6,69 m. en la coronacion. El resto del macizo es de mampostería de grandes bloques, rellena con piedras menores, que á su vez se recuñan á golpe de pison. Todo el mortero es hidráulico. La fundacion se ha hecho abriendo cajas horizontales en los bancos de roca caliza.	1852	La masa de la presa es muy superior á la resistencia que tiene que vencer. El talud por la parte del embalse hace que la presión de las aguas favorezca su estabilidad. La disposicion del paramento exterior impide que las aguas lo deterioren. La dureza de la roca caliza en aquel punto evita las socavaciones cuando las aguas reviertan por la cresta. La fundacion de la presa en bancos horizontales abiertos sobre la misma peña hace imposible todo movimiento. El esmero en la construcción y la bondad de los morteros hidráulicos asegura la íntima union de los materiales y no permite el paso á los filetes fluidos.
Canal de Urgel. — De la Llanguedera.	Segre.	Recta.	170	4,80	25	11,50	Taludes de 45°	"	"	Mista de madera y piedra, enlazadas íntima y fuertemente todas las distintas partes que constituyen el macizo del dique. La cimentacion de pilotaje.	1855	Véase la descripción que se hace en el texto.
Canal imperial de Aragón.	Ebro.	"	233,88	12,25	34,10	"	Con talud.	"	"	Gran macizo de sillares labrados, con grandes mampuertas.	"	La altura de la presa es de 2,60 m. y la de los cimientos 9,75 m.
Canal del Honares.	Henares.	Curva en arcos de círculo.	121	6,10	14,60	9,20	Talud 1/6.	"	"	Sillares apantillados de grandes dimensiones en el frente vertiente, macizo interior de hormigon.	1864	Nada se puede añadir á lo referido en la descripción.
Real acequia del Júcar.	Júcar.	Poligonal.	199	3,96	88	88	Vertical.	"	"	Cuerpo principal de sillería y mampostería, defendido su pié de aguas abajo con escollera encajonada en pilotaje.	1864	Reparada en dicho año.

SEGUNDA PARTE.

CAPITULO XI.

De las presas.

Presas movibles. Conocida la importancia de las presas fijas, réstanos hacer algunas observaciones muy importantes relativas á la influencia perjudicial que pueden tener, ya por la irregularidad en la altura de caída, la cual varía constantemente segun el nivel de las aguas, ya por el inconveniente que ofrecen cuando sobreviene una crecida, pues retardando la presa la salida de las aguas y creciendo de nivel, causan inundaciones, y por último, los acarreos que ocasionan aguas arriba y abajo de su emplazamiento.

Para establecer una presa se necesita prévia autorización administrativa, la que determina, segun informe facultativo, las condiciones á que debe sujetarse con relación á su nivel y á sus desagües. A iguales condiciones obedecen las presas antiguas. Por lo expuesto parece deducirse que las presas fijas no debian ser perjudiciales, puesto que no pueden existir sino con la condicion de tener su correspondiente permiso y obras reguladoras.

Pero en la práctica no sucede así, comprobando ésta los inconvenientes que hemos expuesto al principio de

este capítulo. De aquí el que se haya deducido la necesidad de un sistema de presas, tales que tengan la ventaja de poderse quitar, si no completamente toda la construcción durante las avenidas, por lo ménos bajar considerablemente la altura en toda la extensión longitudinal de la presa.

Todo lo cual dió idea de las ventajas que podrían obtenerse, de la adopción de las presas con cresta móvil y aun automóbile.

Esta clase de obras no han tenido aplicación más que en la navegación fluvial y en alguno que otro caso para establecimientos industriales.

Hoy, después de reconocida la necesidad de los riegos, no puede ménos de comprenderse la utilidad que tendría el adoptar en todo lo posible este nuevo sistema, atendiendo que es incuestionable que las presas de agua para el riego, generalmente situadas en las cañadas y vegas aisladas, difícilmente tienen la vigilancia que las de los artefactos, causando aquellas grandes perjuicios á las propiedades ribereñas.

Sería utilísima la aplicación, en lo posible, de los nuevos sistemas de presas de que nos ocupamos, en beneficio de la agricultura, sin embargo que para ello es necesario simplificar ó reducir las dimensiones; de lo contrario, su coste sería en lo general de consideración, según tendremos lugar de demostrar.

Pasemos á dar alguna ligera idea de los varios sistemas de presas móviles y automóbiles que puedan aplicarse á los canales de riego.

Sistemas de presas móviles. Llámense así aquellas presas cuyos macizos, en una mayor ó menor altura, se reemplazan por una parte móvil, que se abre ó cierra á voluntad. El método más sencillo es el de *las simples*

alzas, ó maderos lisos, colocados de canto en la cresta fija de la vertiente, y apoyados entre dos pilas ó sencillos montantes de hierro, que tienen sus correspondientes ranuras. Estas alzas se maniobran á mano, lo que exige bastante tiempo, si la presa tiene cierta longitud. Además es conveniente disponerlas próximas á un punto que se halle al abrigo de las inundaciones.

Sin embargo, si se tiene cuidado de efectuar anticipadamente la operacion de quitar dichas tablas, si se ha calculado la altura que se debe rebajar para que el nivel del agua quede de modo que no perjudique á los terrenos ribereños durante las grandes avenidas, tendremos que en la mayor parte de casos, dicho medio es el más sencillo y eficaz para obtener el objeto propuesto.

Las alturas ordinarias de las alzas varían de 0,50m. á 0,60m. con una longitud de 2,50m. á 3m. entre los pilares de mampostería. Si estas se reemplazaran por pilares de hierro, entonces casi la totalidad del desagüe quedaría libre en todo su ancho, despues de haber levantado el madcrámen. Cuando no es suficiente un solo orden de alzas movibles de 0,30m. á 0,40m. de altura para impedir que una presa vertiente deje de obrar en las crecidas de una manera perjudicial, se debe aumentar la superficie de la seccion libre en el sentido vertical. Entonces puede hacerse uso del sistema designado bajo el nombre de *presa de tablonés*, del cual diremos algunas palabras.

Presa de tablonés. Se compone de un fuerte enmaderamiento, hecho con grandes estacas clavadas en el fondo del río, cuyas cabezas sobresalgan por encima de la superficie de las más altas aguas, unidas con riostras y sujetas con tornapuntas. A estos estacones se ensamblan fuertes vigas, en sentido horizontal sobre 3 á 4,00m. longitud, sobre las que se ponen tablonés de 0,08m. á 0,12m.

de escuadria y unidos á todo el ancho del rio, de los cuales unos pueden quedar firmes, y otros, ó la mayor parte, correr verticalmente por entre ranuras ó cajas que se establecen en el mismo sentido, con el fin de poderlos sacar cuando se teman en el invierno grandes avenidas, y restablecerlos despues para contener ó represar en el verano las pocas aguas corrientes.

Cada uno de los tablones tienen en uno de sus extremos una clavija de madera ó de hierro, y cuando se quiere desarmar total ó parcialmente la parte movable de la presa, un hombre colocado en la pasadera, que siempre debe hallarse á cierta altura, coge una por una las viguetas por sus clavijas, con la ayuda de una pertiga terminada por un gancho de hierro de forma conveniente, y la deja sobre dicha pasadera ó sitios especiales inmediatos á las pilas ó estribos de la presa. Puede verificarse de otro modo dicha operacion, dejando juego en las ranuras y colocando en la extremidad de cada madero una palanca que obrará desde luego sobre ella.

La colocacion puede hacerse del mismo modo, pero como generalmente tiene lugar durante las aguas bajas, es más cómodo hacerlo á mano. En todos los casos se tiene cuidado de restringir con musgo las juntas de los tablones en sus ranuras á fin de evitar las pérdidas del agua, pero de modo que no produzca un obstáculo real á su levantamiento aun llegado el caso de efectuarlo con rapidez.

Este sistema de presas es, despues del de alzas, el más sencillo; teniendo cuidado de quitar la vigueta superior en toda la línea se obtiene el descenso sucesivo del nivel de aguas arriba, y de esta manera, á ménos de una crecida repentina, no se experimenta más que una débil resistencia al levantar cada tablon.

Cuando las presas de este sistema tienen alguna extensión la operación anterior de levantar las viguetas es muy pesada, por lo que se han ensayado varios métodos de abrir simultáneamente, de los que indicaremos aquí los principales, si bien la mayor parte de medios no han dado hasta hoy buenos resultados. Uno de los más sencillos consiste en apoyar la extremidad de las viguetas en un solo pilarote.

Presas de aguja sobre montantes móviles. Cuando las presas deben tener cierta altura, uno de los sistemas más simples consiste en las agujas, esto es, en tablas sencillas colocadas de pié, tan juntas como sea posible, y descansando en su parte inferior en el umbral fijo de la presa, y en su parte superior contra el borde del pasadizo establecido para el servicio, según las disposiciones que acabamos de indicar.

Si la altura máxima de las crecidas fuese exactamente continua podía establecerse un canalizo fijo entre los apoyos, al que se daría toda la ligereza posible; pero como esta altura no puede determinarse, dicha construcción podría ser arrastrada, por lo que el método generalmente seguido para esta clase de presas consiste en el empleo de los montantes ó de otro sistema de apoyos que tienen la condición de sumergirse en el umbral de la presa; de modo que se esconden ó desaparecen durante las crecidas, sin presentar á estas obstáculo alguno.

Esta clase de construcción es de gran utilidad para mejorar la navegación fluvial, y puede prestarla igualmente para las derivaciones dedicadas al riego; por lo que creemos conveniente indicar aquí sus principales disposiciones.

Hace algunos años, Mr. Poiree, inspector general de puentes y calzadas, hizo adoptar el sistema de las presas

de montantes movibles para cruzar el Yonne al canal de Nivernais, en Basseville, cerca de Clamecy. Se trataba de levantar más de un metro el nivel de las aguas bajas, para obtener una profundidad normal de 1,50m., y luego dar paso libre á los trenes. Esta presa, que se construyó en ménos de dos meses, tiene 22m. de longitud sobre los estribos y levanta 1,20m. del estiage, por medio de veintidos montantes distantes entre sí 1,00m., cuya construcción indicaremos luego. El nivel de la represa es constante, ya dejando voluntariamente parte de la presa abierta, ya por el efecto del desagüe regulador que la acompaña.

Descripción y maniobra. El sistema de que tratamos consiste en un conjunto de armaduras de fundición, formando cada una un bastidor trapezoidal sujeto por tornillos en el umbral fijo de la presa, y susceptibles de tomar la dirección en el mismo sentido que aquella. Las armaduras, rebatiéndose sobre el umbral, se alojan en los emplazamientos dispuestos para recibirles, ya en la misma mampostería del umbral de la presa, ya entre las traviesas de un marco que lleva los tornillos y que está entonces empotrado en este umbral. En la parte superior, las armaduras llevan barras ó traviesas con visagras, sirviendo cuando están levantadas á sujetarlas entre sí y á facilitar el pasadizo ó puente de servicio del que hemos hablado anteriormente. En este armazón sólido se apoyan las agujas colocadas paralelamente aguas arriba, para que efectúen retención á la altura que se juzgue conveniente. Estas sencillas explicaciones bastan para indicar la disposición de este mecanismo, y es inútil entrar aquí en mayores detalles.

La maniobra de estas presas es muy sencilla; pues dos hombres bastan para ejecutarla con auxilio de un gar-

fo y en las extremidades cadenas que se adaptan á cada montante, armando el puente de servicio, á medida que los bastidores se levantan, se colocan sin dificultad las agujas en toda la longitud que se quiere represar y luego se quitan del mismo modo. El anterior sistema de presas movibles no está en uso en los grandes riegos del Norte de la Italia, pero lo creemos conveniente en España porque por medio de la abertura sucesiva de las agujas se obtiene un medio aproximado para regular el gasto y distribuir las aguas entre varios regantes.

CAPITULO XII.

De las presas.

Presas automovibles.—Presas volantes.—Observaciones sobre este sistema.—Parece ser que los grandes sistemas de presas automovibles, tal como se han establecido hace algunos años para el servicio de la navegacion y flotaje sobre el Jonne en el alto Sena, no pueden simplificarse lo suficiente para obtener aplicaciones en las operaciones del riego. Sin embargo, el conocimiento de los procedimientos adoptados puede servir de alguna utilidad en ciertos casos. En efecto, en algunos rios, las presas movibles, sea cualquiera su sistema, exigen ser maniobradas con frecuencia tanto de dia como de noche; y para que correspondan completamente á su objeto, la manobra debe hacerse rápidamente.

Con el sistema de presas de Mr. Poiree, dos hombres prácticos no pueden bajar 1m. corriente en ménos de dos minutos y medio; lo que en ciertos casos no basta para

las necesidades del servicio. En el trascurso de tiempo se ha pensado practicar dicha operacion con brevedad y aun instantánea, sobre todo cuando se hallan las presas establecidas en las corrientes de aguas torrenciales; y esto es lo que ha dado lugar al ensayo de presas *automovibles*, es decir, aquellas que la sola accion del agua, llegando á cierto nivel, hace girar la parte movable, cuyo cierre solo exige por otra parte la mano del hombre.

Los puentes-esclusas, ó simplemente pilares que forman esclusas, pueden considerarse como presas automovibles.

Como ejemplo puede citarse la esclusa de la casa de la Moneda en París, cuya presa es de buen manejo y excelente efecto en la práctica, si bien requiere un servicio continuo para bajar ó subir el tablero, si el nivel aguas arriba ha de conservarse constante.

Mr. Dominique Girard ha hecho desaparecer dicho inconveniente por medio de un sistema sumamente ingenioso. Este consiste en colocar sobre el tablero movable de palastro y ligado con él, al través de la corriente un ancho cilindro hueco de fundicion, con ranuras, de modo que se pueda introducir el agua y esta lo llene. Con este peso, el cilindro tiende á sumergirse y con él todo el sistema, pero se lo impide el aire que constantemente se introduce en el cilindro por medio de una bomba y una turbina que se mueve por la caída misma del agua, hasta que llega á adquirir suficiente fuerza de flotacion para elevarse á la superficie del agua, haciendo girar el tablero que forma la presa. Para bajar por sí mismo el cilindro sirven las válvulas que lleva bajo las aberturas antedichas, ligadas á un brazo de palanca de un flotador colocado á un nivel determinado. Así que este flotador sube con la creciente de las aguas, se abren

las válvulas, el aire del cilindro sale parcialmente, y penetrando el agua en él, se sumerge de nuevo la correspondiente cantidad.

Por lo referido se ve que dicho sistema ofrece la gran ventaja de que en casos de una crecida repentina baja instantáneamente el cilindro y presa por causa del flotador, sin oponer obstáculo de ningún género á la corriente, que por consecuencia no puede producir desbordamiento alguno.

Se han establecido varias presas de dicho sistema que funcionan sobre el Nilo.

No nos detendremos aquí en detallar las grandes construcciones que deben considerarse principalmente útiles y aplicables á la navegacion fluvial. Al contrario, algunos sistemas más sencillos, de los que vamos á tratar, creemos son los que pueden convenir á los canales de riego.

Presa automovible con alzas giratorias sobre un eje vertical. Uno de los sistemas más sencillos de este género es el que ha sido aplicado, hace algunos años, en el arroyo de Valouze afluente de la orilla derecha del Ain, aguas abajo del Orgelet (Jura.)

Por disposicion de un reglamento administrativo se obligó á reducir considerablemente el salto de un molino en virtud de que su presa causaba todos los años graves perjuicios á las tierras ribereñas. El propietario de la finca se aplicó con especial perseverancia á fin de obtener un medio que conciliara la conservacion de su fábrica útil á la localidad, sin causar perjuicios á tercero, los que por otra parte eran incuestionables.

La disposicion que obtuvo fué tan sencilla como ingeniosa. Como su uso se halla sancionado por la práctica, y su origen tuvo lugar en circunstancias especiales

siendo imposible su conservacion, durante las altas aguas con las presas fijas, pues seria causa de grandes perjuicios; la idea adoptada debe estudiarse como fácil para la práctica y daremos de ella una ligera reseña.

El sistema adoptado y que representan las *figuras 77* y *78* consiste en establecer el cierre del cáuce por medio de dos tableros ó puertas que giran cada una alrededor de un eje vertical *a* sólidamente asegurado en el umbral de la presa, y consolidado del lado de arriba por medio de aros *b b*.

Cuando las dos puertas están cerradas, se colocan en el mismo plano vertical del umbral, en la prolongacion una de otra, cerrándose herméticamente por una muesca cortada á bisel.

Su conservacion en este estado se efectúa por medio de un mecanismo particular, que es la pieza característica del sistema. Es una tira de hierro *c c* unida por dos ó tres virolas á la puerta giratoria que recibe el descenso de la otra, esto es, la que tiene un pequeño vuelo sobre el semi-ancho del cáuce. Esta tira, á la cual corresponde inferiormente un tornillo vertical, lleva en su parte inferior un regaton sesgado de un lado, de modo que en cierta posicion detiene por sí la presa, mientras que, describiendo un cuarto de círculo, los dos tableros ó puertas giratorias se abren inmediatamente, colocándose en el sentido de la corriente del agua, á cuyo caudal dejan libre paso.

Este movimiento de rotacion de la tira vertical, efectuando la abertura ó cierre de la presa, se obtiene de un modo muy sencillo, por el solo efecto de la presion del agua sobre el pabellon *A*, que es una placa metálica sujeta á la tira colocada en sentido transversal á la corriente para cerrar la presa, y en el longitudinal para abrirla.

En efecto, desde el momento que el agua llega á una altura suficiente para obrar sobre el pabellon, colocado transversalmente, se ha elevado igualmente de abajo cierta cantidad, de modo que pueda compensar en parte la fuerte presión que resultaría de esta sobre elevación y no se efectuará más que hácia arriba. Desde luego el regaton sesgado opera sin dificultad su cuarto de revolución, y los dos tableros ú hojas de la presa se abren instantáneamente, anulando por consecuencia los remansos y restituyendo á la corriente del agua, en el momento de avenidas, su total sección.

Pasada la crecida, es necesario la mano del hombre para restablecer el cierre de la presa, tal como la hemos tomado en el punto de partida, pero sin embargo lo mismo sucede en la mayor parte de los sistemas automovibles.

Hay que observar que el mecanismo que acaba de describirse, y que es una especialidad para las presas vertientes, puede combinarse con una obra análoga (compuertas de válvula ú otras), colocado á la cabeza del canal de la toma de agua ó de conducción, funcionando en sentido inverso, esto es, que en el momento mismo que el alza movable de la presa anula más ó ménos su efecto colocándose paralelamente á la corriente, el origen del canal se cierra en totalidad ó en parte, de modo que intercepte, segun convenga, la introducción de las grandes aguas.

Este sistema, invención de Mr. Bel, es uno de los más sencillos que se pueden indicar para resolver el importante problema del descenso espontáneo de las presas por la misma acción de las crecidas, las que en las presas fijas agravan considerablemente los efectos perjudiciales.

En los canales de riego, las presas de la toma de aguas se hallan generalmente situadas lejos de los pueblos, y son por lo regular perjudiciales á las propiedades ribereñas; así es que debe tenerse un interés especial en aplicar en lo posible el procedimiento que acabamos de describir.

Para evitar cuantas dudas puedan tenerse de su aplicación, repetimos que funciona en la localidad expresada con feliz éxito contra la acción de las crecidas de un río enteramente torrencial, arrastrando además grandes cantidades de grava.

Del restañamiento de las presas movibles. En el establecimiento de las presas movibles, cuando tienen por objeto la mejora de la navegación fluvial, ocupa poco una cuestión que en general tiene gran importancia en materia de riegos. Esta cuestión es la de restañar.

En efecto, en un río donde la navegación necesita gran caudal y fondo de agua, el volumen de esta es casi siempre considerable, para que se preocupen algo de sus pérdidas, que se efectúan entre las agujas ó al través de las otras paredes de las presas movibles. Sin embargo, para obviar este inconveniente se han indicado varios medios, que se reducen principalmente para tapar los intersticios de las agujas. 1.º Una tela embreada. 2.º Láminas de palastro ó zinc. 3.º Listones de madera.

Estos diversos métodos se han mirado con razón como poco practicables atendido á que dan lugar, no solo á un aumento de gastos, si que también á una complicación en la maniobra de las presas movibles, por lo que apenas se ha hecho uso para la navegación.

Pero para las presas movibles cuya aplicación sea útil en las pequeñas corrientes de agua en beneficio de los riegos, no puede desatenderse la cuestión de filtraciones.

En la mayor parte de casos, estas presas deben estar completamente restañadas, á fin de aprovechar á voluntad todo el volúmen de agua alimentador durante el número de días ú horas determinadas por los reglamentos locales.

Pasemos á averiguar cuál es el medio más sencillo y más económico para restañar una presa, tal como una formada por agujas verticales ó por sencillas faginas de troncos de arbol, etc. Separando á un lado las láminas metálicas y los listones, que son de muy poco uso, observaremos que la tela sin preparar se corta mucho más pronto; y en fin, que tiene otros inconvenientes. Al contrario, la tela que se usa para velámen de los buques, de un tejido muy cerrado, es utilísima para dicho objeto porque, si bien se desgasta, sostiene el agua completamente, segun se ve por las mangas y cubos tan usadas hoy dia en el servicio de las bombas para incendios. Así pues, para restañar perfectamente las presas movibles, ó solamente temporales, que se construyen para realizar los riegos, no hay mejor medio que el de las telas de cáñamo que se extienden sobre la pared interior de la presa, consolidándolas de modo que el agua no pueda levantarlas ni dañarlas. Si la presa presenta demasiados claros, se sobrepondrán faginas ó saquitos de arena, grava y aun arcilla en el interior.

Este sistema sencillo y económico de revestir las presas movibles para obtener un restañamiento completo, entra desde luego enteramente en el que hemos descrito anteriormente y que sirve á la construccion de diques empleados en los canales de riego. Para las presas con alzas movibles ó de puertas giratorias, no hay que tapar más que las juntas horizontales, y para ello se puede recurrir á un sencillo calafateo, que se hace muy econó-

mico con musgo ó con trapos viejos, teniendo cuidado de renovar la operación cada vez que, durante el verano, se cierra la presa.

Presas temporales ó inestables. En las operaciones de riego, aun en las más importantes, se pueden encontrar condiciones tales, que no sea posible establecer construcciones permanentes en la corriente del agua alimentadora; y sin embargo, estas mismas corrientes son las que durante la estación de sequía deben y son más deseadas. En este caso, se puede recurrir á las construcciones en que, reuniendo gran sencillez y economía, no se les da más solidez que la necesaria para resistir á la corriente ordinaria.

Así se hace en el *Durance* para la mayor parte de los canales secundarios que riegan las vegas situadas al pié de la cadena de los Alpinos, en el departamento de las Bocas del Rodano; en el Tet, en el Rosellon, en el Vidourle, en el departamento de Gord, etc.

Estas presas temporales, no teniendo más objeto que dirigir á las acequias el corto caudal de agua que circula al través de las masas de grava, las que varían á cada momento durante el verano, no tienen necesidad de una gran estabilidad. Se las construye de materiales de poco valor, esto es, con piquetes, chamarascas, gravas, etc., de modo que cuando una crecida sobreviene repentinamente, como sucede con frecuencia, la corriente la arrastra, lo cual no importa, pues su reconstrucción es tan fácil como le es al agua en sus crecidas extraordinarias arrastrarla. Segun las localidades se les da el nombre de *cordon*, *presa volante*, *presa de recurso*, etc., etc.

CAPITULO XIII.

De los depósitos.

En el capítulo VI hemos indicado la cantidad de agua que se conceptúa necesaria para los riegos y épocas en que estos deben verificarse. Pero como no es posible que el hombre disponga de la expresada cantidad segun su voluntad, y por el contrario, vemos con frecuencia que por las excesivas lluvias, así como el derretimiento de nieves, las aguas se acumulan en los rios y arroyos, produciendo los desastres que acaban de experimentar en este año (1871) algunas de las vegas de nuestras más ricas provincias, como las de Logroño, Navarra, Zaragoza y Tarragona en la cuenca del Ebro, y la de Valladolid en la del Pisuerga.

Por otra parte, vemos que el labrador dirige al cielo sus súplicas pidiendo agua con que poder regar sus agostados campos; de modo que las aguas que antes habian causado tantos perjuicios, podian en aquel momento favorecer al angustiado agricultor.

Si fijamos nuestra atencion en lo referido, observaremos que las aguas, que durante su excesiva abundancia causan el devastamiento de los terrenos productivos, contenidas aquellas en sitios convenientes y repartidas con regularidad reportarian inmensos beneficios á la agricultura: así que el problema es que si á medida que el agua que se pierde cuando no hace falta se la encierra en un depósito, del cual pueda salir segun se desee, entonces se obtendrá el resultado apetecido, y de cillo el origen de los depósitos.

A Mr. Saubert de Passa se debe la investigacion de los preciosos detalles de las obras que los pueblos antiguos ejecutaron para regar sus terrenos.

¿Quién no conoce los nombres del lago Mœris, de los depósitos de Menfis Merce, de Coptos de Hernartis? Sobre las dimensiones del primero hay discordancia entre los autores antiguos, pero su capacidad se calculaba en unos 3.000.000 m.³ de agua.

Los mencionados depósitos artificiales, tan antiguos como el lago, se hallaban en la corriente superior del Nilo, desde las montañas de Nubia hasta las primeras regas del bajo Egipto, formando su conjunto el sistema más perfecto de canalizacion agrícola, conteniendo un volumen de agua de centenares de millones, disponibles segun las necesidades.

Dignos de admiracion y estudio son los gigantescos trabajos hechos en el antiguo Egipto para dejar en depósito las aguas que debian sostener la extraordinaria fertilidad del Delta, de las que ningun país ofrece semejante ejemplo.

Los pueblos que conquistaron el Egipto, despues de Alejandro, conservaron tanto cómo les fué posible estas grandes obras, cuya conservacion estaba intimamente enlazada con la de la subsistencia de los pueblos, extendiendo el uso de los depósitos á otros países, donde tuvieron útiles aplicaciones. Así fué como la India, la Persia, la Siria, países del Asia menor, vieron establecer en los antiguos siglos muchos de esos inmensos depósitos obtenidos, ya salvando el paso de las cañadas, ya efectuando grandes desmontes en la parte superior de las mismas; circunstancia que colocaba aquellos trabajos enteramente fuera de los medios de que disponen hoy los pueblos modernos.

El clima era abrasador, y habia interés en obtener considerables depósitos de agua durante la estacion de sequía. Así se ve que los restos de esas grandes construcciones existen en particular en los países ricos y poblados, cuya agricultura no podia prosperar sino con el auxilio de las aguas artificiales. Los antiguos imperios de Oriente nos ofrecen numerosos vestigios; los tres depósitos de los jardines de Salomon en Palentina contenian juntos muchos millares de metros cúbicos de agua, la que se renovaba enteramente todos los años.

Las islas de Java en Ceylan conservan restos de grandes presas de fábrica, cuyas formas y dimensiones demuestran perfectamente que tenian por objeto la explotacion de los ricos cultivos propios á esos países del Ecuador.

La China, desde tiempos muy remotos, puede competir con otra nacion por el cuidado que sus habitantes han tenido en recoger, aun con el auxilio de inmensos trabajos, las aguas necesarias á la conservacion de los riegos; lo que se concibe muy bien atendida la necesidad del sin número de distribuciones que de ella era necesario para el cultivo del arroz, base principal del alimento de ese pueblo industrial,

En fin, los árabes y los demás pueblos que han habitado algunas veces las costas septentrionales del Africa no descuidaron tampoco la construccion de las presas y grandes depósitos de agua para el riego, segun lo atestiguan los restos bien conservados de los grandes diques establecidos en la antigüedad, en las provincias de Argelia, Orán, Constantina, sobre el curso del Sig del Habbra, de la Mina, etc. En fin, en ninguna parte olvidaron las grandes ventajas que reporta la construccion de los depósitos; pero esas grandes obras, tal como se em-

prendieron en los siglos pasados, no serian posibles hoy con las condiciones financieras que limitan necesariamente todas las empresas actuales que tienen que concretarse á los productos que puedan dar.

Estudios y construcciones de los grandes depósitos. Principales depósitos de riego contruidos en los tiempos modernos.—La idea de las construcciones con el objeto de recoger y encerrar las aguas superabundantes en invierno para hacer uso de ellas en el verano, es muy natural, y aun cuando la antigüedad no nos ofreciera ejemplos de ello, es indudable que se habria ideado en vista de las necesidades de nuestra época.

Pero, segun lo hemos indicado, su uso se ha trasmitido sucesivamente desde los tiempos más antiguos hasta nuestros días. En efecto, los grandes canales del Norte de Italia, que se remontan al siglo XIII, se alimentan en vastos lagos naturales que presentan todas las ventajas que puedan desearse, á fin de obtener en los establecidos artificialmente, los mayores caudales. Más adelante demostraremos que la idea de utilizar los lagos de las montañas en beneficio de los riegos ha sido continuada en estos últimos tiempos, y que reportará recursos, tanto por el aumento de aquellos, como por la regularidad del régimen de la corriente de las aguas.

En las localidades meridionales, sobre todo cuando está asegurado en la estacion de más calor, es inestimable el valor del riego, pero este disminuye considerablemente cuando la abundancia del agua no corresponde á las necesidades de la vegetacion. Sin embargo, es lo que sucede desgraciadamente en el mayor número de casos.

Los estiajes de las corrientes de agua que no se alimentan directamente de las grandes nieves y hielos, sucede que cada año limitan y muchas veces impiden los

riegos en la época de verano, que es cuando son más necesarios.

Esta circunstancia hace que en todo tiempo se haya reconocido la utilidad de que los depósitos tengan mucha capacidad á fin de salvar este inconveniente.

La primera condicion que debe tener un depósito destinado á dicho uso, es que pueda dar *anualmente* la cantidad con la cual se ha contado. En otros términos, no se pueda sacar de él más agua que la cantidad que podrá reponerse en el espacio de un año ó más, á contar desde el principio de la estacion en que se utiliza. La capacidad de esos depósitos debe basarse, no sobre la mayor ó menor necesidad que pueda tenerse de agua, sino de la posibilidad en obtener la cantidad suficiente para el gasto anual.

Los depósitos destinados al riego no pueden hacerse con los mismos gastos que los que tienen por objeto la alimentacion de los canales de navegacion. Los recursos que el estado actual de las cosas permite dedicar á ello, segun los productos que realiza, no están en relacion con lo que se podia hacer en la antigüedad. Inmensos estanques provistos de largas y costosas presas, tales como las que sirven en los canales de Madrid, de Borgoña del Centro, etc., no pueden convenir á los canales de riego.

Estanques de bordes llanos, como los de Dombes, de Brenne, la Salogne, no serian tampoco de una forma conveniente, para los depósitos de riego; ocupan con relacion á su volumen de agua una superficie demasiado extensa.

De estas consideraciones resulta que los depósitos destinados al riego deben emplazarse casi exclusivamente en paises montañosos, donde pueda obtenerse fá-

almente la gran profundidad que necesitan, lo que es factible, ya cerrando las angosturas de los valles de los mismos rios ó en las cuencas de sus afluentes que se presenten, ya aprovechando lagos naturales, de los que daremos una idea en el capítulo siguiente. Efectivamente, solo en estos dos casos son ventajosos los depósitos que tienen por objeto el riego, pues así no exigen más que gastos muy moderados, prestando útil servicio.

Lo que constituye la utilidad de los grandes depósitos de riego es la desproporcion que generalmente se observa entre el débil caudal que basta para alimentarlos durante cuatro ó cinco meses de invierno, época en la cual las aguas son siempre superabundantes, y su inestimable valor cuando se hallan depositadas para aprovecharlas en la estacion del riego.

Algunas veces causa admiracion esashermosas masas de agua, obtenidas por la sola derivacion de algunos riachuelos, en su mayor parte regueras de aguas llovedizas, que no dejan casi ningun rastro de su paso. Tal es el principio de los depósitos, y se comprende que su eficacia sea tanto mayor, cuanto más largo sea el periodo de su alimentacion comparativamente al del gasto del agua.

Por este medio la esfera de los riegos puede extenderse indefinidamente, porque no hay localidad que teniendo interés en ello no le sea posible utilizar las aguas superabundantes por medio de depósitos.

La cuestion está en averiguar si los gastos necesarios de establecimiento se hallan en relacion con las ventajas que puedan obtenerse.

Cuando se dispone de un emplazamiento conveniente y de una alimentacion suficiente y segura, la relacion

entre la capacidad del depósito y las necesidades del riego es fácil establecerlas. Por lo cual basta averiguar desde luego, al ménos por término médio, la cantidad de agua que gastará cada hectárea de tierra durante el número de meses que debe funcionar el depósito.

Si llamamos q esta cantidad, y n el número de hectáreas regables, la cabida del depósito tendrá que ser igual al producto de $q n$, ó sea el volúmen de agua utilizable que deberán abonar los regantes.

En dicho cálculo debe tenerse presente: 1.º El volúmen de agua consumido por la evaporizacion en la estacion de verano. 2.º El representado por el total de las pérdidas y filtraciones que casi son inevitables en el caso actual, sobre todo si se tiene en cuenta que una parte de los terrenos regables se hallan algunas veces bastante lejos del depósito. 3.º Un volúmen suplementario que debe reservarse para atender á casos excepcionales, además de las necesidades previstas, y para precaver el caso de una sequía extraordinaria, que no fuese posible llenar el depósito, cuyos volúmenes deben aumentarse al de agua útil.

Aquí, como en las máquinas, hay que distinguir dos cosas, á saber: el efecto útil teórico, que no puede completamente realizarse en la práctica porque hay pérdidas de fuerza y trabajo inevitables, pero que debe procurarse sean lo menores posibles, asimismo en el establecimiento de un depósito artificial ó en el caso de utilizarse un lago, el objeto principal es la posibilidad de una alimentacion anual suficiente para las necesidades del riego. Seria infructuosa la construccion de una presa si las aguas no llegasen á la altura que se desea, ni aprovechar las de una laguna que tardara dos ó tres años para obtener su nivel. El estudio de los medios de

alimentacion debe preceder á todos los demás, el cual puede hacerse, sea directamente por el aforo de los afluentes en diversas estaciones, sea por el cálculo de la cantidad obtenida por las lluvias ó nieves que hayan caído sobre la superficie del valle y lleguen al depósito.

Este último método casi es impracticable por la dificultad del establecimiento de pluviómetros y de las constantes observaciones que son necesarias en las regiones elevadas, donde el hielo dura á veces cinco y seis meses. Por lo que para el cálculo de los medios de alimentacion hay un elemento más ó menos conjetural. Así para no exponerse á errores debe contarse con ménos cantidad de la que resulte de los cálculos y observaciones, siempre susceptibles de dejar dudas. Tambien deben tenerse presentes para el establecimiento de los depósitos y derivacion de lagos, varias consideraciones muy importantes. Así, cuando se proyecta llenarlo en seis ú ocho meses del año, con aguas corrientes nonavegables, debe asegurarse desde luego que aquellas no están ya utilizadas por los ribereños, porque entonces las indemnizaciones serian muy crecidas y su arreglo interminable.

Además debe tenerse presente que, segun el artículo 232 de la ley relativa al dominio y aprovechamiento de aguas de 3 de Agosto de 1866, debe mediar previo arreglo ó indemnizacion con los terratenientes, porque teniendo derecho adquirido á aprovechar en su curso inferior las aguas pluviales ó manantiales, es de suponer que lo impedirian los ribereños que las aprovechaban al pasar por sus fincas.

En fin, la posibilidad de filtraciones muy considerables al través de rocas hendidas, que cubren las cañadas que se han de cerrar, cuando el agua debe elevarse á

una altura considerable, como sucede en la mayor parte de casos, es uno de los puntos que deben siempre examinarse y discutirse por el ingeniero director de la obra en la formación del proyecto.

Los depósitos modernos existentes que no tienen por objeto más que el riego, no deben ser tampoco de tanta consideración como los que sirven para las distribuciones de aguas en las grandes ciudades como en Inglaterra, ó para los caces superiores de los grandes canales en el punto de partida.

En España se conocen tres ó cuatro depósitos, situados en las profundas cañadas formadas por las estribaciones de los Pirineos, y cuya capacidad es muy grande; pero la construcción de sus diques de mampostería es imperfecta.

También podemos citar el famoso pantano de Lorca, comparable con el maravilloso de Menfis, que podía dar 37.264.000 m.³ al año y suministrar riego á 31.700 hectáreas de terreno. El de Tibi, que fertiliza extensos terrenos de la provincia de Alicante; el de Níjar, en la de Almería, y sin terminar el de Valdeinfierno; depósitos que si bien hoy no llenan todas las necesidades que tan útil mejora requiere, podría conseguirse con facilidad si entre los regantes estuviera más desarrollado y adquiriera más confianza el espíritu de asociación.

En cuanto á depósitos particulares, se pueden citar como muy ventajosos los que se han establecido hácia el fin del siglo último en algunas localidades del Piemonte; tales son los que alimentan el dominio de Tornovasio, que contiene más de un millon de metros cúbicos de agua, que se distribuyen anualmente mientras dura la total estación del riego, que es de seis meses; los de la Galinia, de Praloté y otros, en los mismos países.

que si bien tienen superficies menores, prestan sin embargo grandes servicios.

Los depósitos de la *Motte de Aygues*, en el departamento de las Bocas del Ródano, y el de Caromb, en el departamento de Vaucluse, son los principales depósitos que existen en Francia para el riego. Su capacidad respectiva no llega á 500.000 m.³ de agua; pero como las aguas de los depósitos se consumen, con mucha economía dichos dos embalses prestan grandes servicios al cultivo regable en la region meridional.

Otros cinco ó seis depósitos de riego ménos importantes se hallan establecidos en varios departamentos, y los propietarios que los han construido sacan muy buen resultado tanto al capital empleado como á su industria agrícola.

Fija hoy la atencion en el estudio de los medios más productivos para los intereses que se empleen en beneficio de los riegos, varios son los proyectos que podríamos citar, pero por la proximidad que tiene á España el que describiremos por hallarse en condiciones algun tanto análogas á las de nuestro país y no ser molestos con los proyectos del extranjero, sobre todo cuando no nos ha sido posible adquirir dato alguno de los que existan en España, á fin de tener con él un ejemplo, daremos una idea del gran proyecto de los depósitos para la distribucion de las aguas del Nesta, en los departamentos del Alto Garona, de los Pirineos y del Gers. La parte central de esta gran distribucion es el llano de Lannemezan, situado en la parte superior de los Pirineos, próximo á la villa de Tarbes y fronterizo á España. Su situacion por tanto es la más á propósito para el objeto de que sirva de ejemplo y comparacion á lo que puede hacerse en nuestro país.

Situado al pié de las cumbres de los altos Pirineos y á una altura de unos 500 m. sobre los llanos del Garona, en el origen de los lagos principales que reciben las aguas de esta region montañosa, que son el Garona y el Adour, el cual puede recibir durante medio año una gran cantidad del agua derivada del Nesta y del Arros, distribuyéndose despues en las vegas vecinas, cuyo riego tiene gran valor.

Esa llanura es el punto de partida de varias corrientes de agua, por medio de las que se comunica:

1.º Por el valle del Garona con Tolosa, y desde allá por el E. y SE. por los canales del Mediodía; por Montauban los departamentos del Tarn, del Lot y del Aveyron por el canal lateral del Garona.

2.º Por el valle del Baise, con los departamentos de los altos Pirineos del Gers y del Lot.

3.º En fin, por el valle del Arros, con el del Adour, y por él con las Landas, Bayona, Burdeos y el Océano.

En una palabra, la ramificacion natural de las aguas que en él se efectúan en esas diferentes direcciones, hacen que la llanura de Lannemezan sea uno de los puntos hidrológicos que se puede encontrar más dignos de llamar la atencion. Así se concibe perfectamente el por qué se le ha escogido como centro de una gran distribucion de aguas por medio de depósitos.

En la redaccion de los proyectos que hace años hizo el Ingeniero jefe Moutet para regar las vegas del Garona y sus valles vecinos, calculó que, teniendo el Nesta, rio principal que cruza la llanura, un volúmen mínimo de agua de 10 á 15 m.³, ó sea término medio de 12,50 m.³ por segundo para atender á las necesidades de los artefactos, de la navegacion, etc., etc., puede aun dar un volúmen por lo ménos igual para crear grandes riegos,

mejorando al propio tiempo las condiciones de la navegación de muchos rios y canales.

Habiendo hecho algunas observaciones sobre el régimen del Nesta, se reconoció que en ciento cinco dias que duró el estiaje no se paralizó el servicio por poco caudal.

Que en ciento quince dias que duraron las aguas ordinarias ó medias, se podian extraer $17,50\text{m.}^3$ por segundo, y que en ciento cuarenta y cinco dias de mayores aguas que las ordinarias, podian derivarse $52,50\text{m.}^3$

Esto producía un cubo total de 831.340.000 metros, que, gastado uniformemente durante el año, da un gasto de $26,36\text{m.}^3$; segun el cual está basada la distribución proyectada.

Dicho gasto se toma directamente del Nesta durante los dias de mayores aguas, y para completarlos con los $17,50\text{m.}^3$ que resulta en los ciento quince dias que dura el estiaje, deben tomarse de los depósitos que se llenarán en la época de la abundancia de aguas.

Por lo cual, se debe derivar del Nesta:

1.º Un gasto de 26,86 m. durante ciento cinco dias, que dará.	239.137.920 m.
2.º Un gasto de 8,66 m. durante ciento cinco dias, que dará.	88.032.960

Total. 327.170.880

Por lo que, con el fin de aprovechar todas las aguas sobrantes del Nesta, sería preciso construir grandes estanques para retenerlos, cuya capacidad se elevasen á dicha cifra. Pero suponiendo avenidas favorables que pueden tener lugar en la época que media entre la de aguas bajas y la de ordinarias, los depósitos podrian

llenarse por lo ménos dos veces al año, y reducir las capacidades á la mitad de la cifra anterior, siendo la que se les dió de 163.585.440 m.³

Además se calculó que para ejecutar la primera parte de ese gran proyecto era necesario disponer desde luego de un gasto regular de 12 m.³ por segundo, el cual debía repartirse como sigue:

1.º Para el canal de riego y navegacion que tenía que abrirse en el valle del Garona. . .	8 m. ³
2.º Para el Baisse y el brazo inferior del canal lateral del Garona.	3
3.º Para el Gers.	1
	<hr/>
Total.	12 m. ³

Segun este gasto, se calcularon las dimensiones que debian darse á los depósitos ó diques de retencion.

Pero como otros tres metros cúbicos se destinaron posteriormente á mejorar el volúmen de agua del Adour, del Gimone y del Save en beneficio de la navegacion, el canal de alimentacion destinado á conducir las aguas del Nesta á la llanura de Lannemezan debia tener desde luego calculadas sus dimensiones, segun las necesidades y dicho suplemento.

Los 12 m.³ por segundo pueden tomarse todos del Nesta, no siendo en la época del estiaje, que por término medio, durante diez años, ha resultado ser de ciento cinco dias, en cuya época los depósitos son los que han de suministrar por sí solos todo el gasto.

El volúmen de agua que se calculó necesario, fué el de 108.864.000 m.³, suponiendo que los ciento cinco dias de estiaje fuesen consecutivos, sin interrupcion de crecida alguna: Pero se ha supuesto que algunas de estas

se efectuarán, y por lo tanto podrian llenarse los depósitos dos veces al año, por lo que, atendidas estas condiciones, los proyectos se hicieron para dar cabida á 59.040.488 m.³

Los depósitos eran seis, á saber: el principal en el llano de Lannemezan, cuya situacion se ha descrito; tres en las profundas gargantas de la sierra de Vielle, situadas entre el valle del Nesta y el de Bareges; los dos restantes en la parte superior de los valles del Louge y del Baisse.

Los emplazamientos de los depósitos más dignos de atencion eran los antiguos lechos de los lagos de Oredon y de Cap-de Louge, cubiertos por aterramientos, pero dispuestos muy favorablemente para dichos destinos. Estos emplazamientos reciben además las aguas de otros lagos superiores, de los que se puede obtener partido. Otro depósito debia establecerse en el emplazamiento de un lago antiquísimo que le cruzan tambien las aguas del rio Oulé, al E. del valle de Couplan, que recibe las aguas de otros lagos más elevados.

Los diques de estos depósitos debian construirse de fábrica de ladrillo, y su perfil forma una línea curva, teniendo su convexidad al lado del empuje de las aguas.

Continuacion de los depósitos.

Utilidad de los depósitos para los riegos que se efectúan por medio de manantiales y con escasos volúmenes de agua. En los detalles que acabamos de dar relativos á la construccion y uso de los depósitos para riego, solo los hemos considerado con relacion á sus ventajas generales, á su utilidad principal, consistiendo en recoger durante la estacion lluviosa las aguas que de otro modo se perdian, dando así resultados beneficiosos en verano.

Tal es en efecto el sencillo principio ó el destino normal de los depósitos. Pero ahora se trata del exámen de estas mismas obras bajo un punto de vista especial, de donde resulta una utilidad práctica que no es menor presentándose bajo dos formas distintas. 1.º La posibilidad de obtener una grandísima economía en el gasto del agua necesaria al riego de una superficie dada. 2.º La de emplear para ello los pequeños caudales, de los que sería imposible obtener provecho si no se adoptase dicho medio.

Los detalles técnicos que deben tenerse presentes para establecer este principio se hallan en uno de los capítulos anteriores, que tratan de las cantidades de agua necesarias al riego de varios cultivos, y no podrán por otra parte más que contribuir á apreciar mejor los hechos desarrollados en este capítulo.

Antes hemos tratado del inconveniente que resultaba de fraccionar indefinidamente los volúmenes de agua disponibles para aplicarlas á los riegos parcelarios.

Pero sucede frecuentemente que para las aguas de manantiales, de lluvia ó riachuelos, de las que ciertos propietarios pueden disponer completamente, hay necesidad de buscar ciertos medios para utilizarlas en los riegos de poco gasto.

Estos aprovechamientos pueden disponerse en beneficio de un gran número de puntos, resultando producir en su conjunto aumentos considerables que deben desde luego hallarse comprendidos entre las operaciones que conciernen á los intereses generales del país.

Desde luego puede observarse que esos pequeños volúmenes de agua que dan, por ejemplo, los desagües de uno á seis litros por segundo, son impropios para establecer un buen riego.

En efecto, por los detalles que hemos dado se calcula que un desagüe continuo de un litro por segundo puede bastar ampliamente para el riego bien entendido de una hectárea de prado tal como lo hemos explicado; pero este resultado es de cualquier modo un medio teórico, pero no una realidad, cuando se trata de pequeños volúmenes de agua. Lo cual está fundado sobre el principio del turno periódico de siete á ocho dias, admitida la práctica de los riegos de período corto, de modo que si un volumen de 500m^3 de agua basta para humedecer suficientemente la superficie de una hectárea, este mismo volumen, no siendo necesario sobre la misma extension más que una vez por semana, puede por medio de ese turno regar en este espacio de tiempo una superficie siete á ocho veces mayor. Pero se verá en los detalles dados que la condicion más esencial de un buen riego exige que el volumen ó gasto de agua sobre una superficie dada lo sea en poco tiempo.

Al objeto examinaremos varias hipótesis más ó menos allegadas á las aplicaciones usuales.

Un volumen total de 400m^3 cúbicos de agua basta para regar una hectárea de prado con turno de siete á ocho dias en un clima análogo al de la Mancha. Ahora, si puede hacerse la completa distribucion en cuarenta minutos, entonces corresponderá á un desagüe de 167 litros por segundo; pero el riego será más útil, porque la absorcion en las regueras no tendrá lugar de producirse en tanta cantidad como en el primer caso.

Si no se dispone para el riego más que de un desagüe de la mitad, ó sea de 84 litros, que aun es admisible, será necesario para el gasto de los 400m^3 un tiempo doble del precedente, es decir, ochenta minutos ó una hora y veinte minutos.

Con tales condiciones, el riego será ya desigual y por consecuencia no se obtendrán las ventajas anteriores.

Supongámonos, por fin, que el desagüe es la mitad menos, ó de 42 litros; entonces, para gastar el mismo volumen de agua, será preciso que dure dos horas y cuarenta minutos. Así, mientras que el riego, cuanto menor sea, resultará más repartido, por otra parte tendrá el inconveniente de durar más tiempo, lo que es desventajoso en los pequeños desagües. En efecto, todo riego necesita un poco de vigilancia y algo de mano de obra; por tanto, cuanto mayor sea sobre una misma superficie, más aumentarán los gastos de la operación; porque si el desagüe disponible llega á ser menor que la última cifra que acabamos de indicar, desaparecen las facilidades propuestas para la distribución y las ventajas del riego disminuyen rápidamente.

Así se comprenderá que, si en vez de un caudal notable de 30 á 40 litros por segundo, no se dispone más, por ejemplo, que de uno diez veces menor, ó sea de tres á cuatro litros, el riego por medio de regueras se hace casi imposible, y se necesitará en todos los casos efectuarlo con fraccionamientos tales, que exigirá una mano de obra demasiado considerable.

Es verdad que se tiene el recurso en tal caso del riego por infiltración, pero este no presenta más que una pequeña parte de los resultados del riego normal y completo, que debe principalmente tenerse á la vista.

Tenemos ahora la cuestión bajo otro punto de vista; supongámonos que ese desagüe mínimo de 3 litros por segundo sea conducido por medio de un depósito que tenga la capacidad conveniente y examinemos la parte que se podrá extraer.

El desagüe de que se trata, suponiéndolo regular y

constante en la estacion del riego, representa en veinticuatro horas un volúmen total de $86400'' \times 3$ litros $= 259m.^3$ 200 litros, por ocho dias $2073m.^3$ 60 y por un mes $7776m.^3$.

Ahora, la ventaja característica de un depósito situado en lo general cerca del perimetro regable con poco ó nada de canal de conduccion, debe reportar una gran economía en el gasto del agua, es decir, que en estas condiciones se regará mejor con 300 metros cúbicos, que no con casi el doble teniendo una derivacion ordinaria. Por lo que, cada diez dias, se podrá sacar del depósito en cuestion 2.000 metros cúbicos, que representan el riego completo de más de cinco hectáreas; mientras que con el desagüe primitivo de 3 litros por segundo no se podría haber regado más que una superficie mucho menor y en condiciones muy desfavorables, á causa de la insuficiencia del caudal, de la temperatura, y la mayor parte del tiempo de mediana calidad las aguas.

Esta comparacion se aplicaria á un desagüe más pequeño, de uno á dos litros por segundo. Por él se ve que manantiales menores en la época de más escasez son por ese único medio susceptibles de ser utilizados para buenos riegos.

El cambio que el agua de manantial experimenta por el solo hecho de su estancacion en un depósito, bastaria seguramente para motivar en el presente caso la construccion de estas obras. Pero la economía en los volúmenes empleados, la pronta y fácil distribucion del agua, y sobre todo el utilizar completamente los menores desagües, hacen de los depósitos uno de los más poderosos medios para contribuir á la extension de los riegos.

La sola objecion que puede hacerse está fundada en

los gastos de su construcción. Pero no nos esforzaremos mucho para asegurar que á no ser por circunstancias del todo desfavorables, será de cada diez casos en nueve por lo ménos, este un gasto reproductivo por las ventajas que se obtendrán.

Reasumiendo todas las consideraciones que hemos presentado, vemos por ellas las ventajas que se pueden obtener del establecimiento de los depósitos; réstanos indicar la de los depósitos establecidos por los particulares, ya sea para extender, ya para mejorar la práctica de los riegos. Lo que diremos sobre las operaciones prácticas del riego y del mejor medio de utilizar las aguas, vendrá á ponernos con mayor evidencia esas mismas consideraciones; no tendremos más que dar una pequeña idea para llamar la atención de los propietarios y la de los directores de canales de riego sobre las ventajas que se obtendrán operando de este modo todas las veces que se pueda recurrir á él, sin gastos y sin dificultades demasiado considerables.

En efecto, cuando esos gastos no son más que los necesarios para la construcción en las condiciones ordinarias de un depósito de capacidad proporcionada á la superficie regable y de un nivel conveniente á este efecto, se pueden obtener ventajas, siendo estas muy considerables, según ya hemos indicado.

El propietario de la obra es de ese modo enteramente dueño del agua, de la que dispone libremente según las necesidades de su cultivo; mientras que con la simple atribución de un volúmen de agua corriente, tomada de un curso de agua natural, lo mismo que de un canal de riego, hay en estos dos casos sujeciones y limitaciones de toda especie, es decir, que esa atribución hecha por días y por horas de un modo invariable lleva en sí siem-

pre las numerosas restricciones de una *division de agua*.

Al contrario, con un depósito propio, el poseedor de un dominio irregable obra por sí solo cuando y como le conviene, esto es, según las necesidades de su cultivo, lo que difiere mucho de los riegos colectivos.

Esto se observa tanto más, cuanto que las ventajas de que se trata pueden conciliarse con la situación de las más pequeñas propiedades, colocando así los beneficios del riego al alcance de todo el mundo.

Bajo otro punto de vista, el empleo de un algibe es eminentemente ventajoso y económico, que es cuando se encuentra muy cerca del punto de riego, siendo en algunos casos una circunstancia capital, vistas las dificultades que son inevitables en la abertura de un largo canal de conducción al través de las propiedades de terrenos. Con el auxilio de un depósito ó algibe el canal de conducción queda, si no suprimido, al ménos reducido á una corta longitud, pero sobre todo no sale del dominio, como sucede generalmente en los demás casos.

Respecto del gasto de agua, se puede asegurar una gran economía, porque en la absorcion por el canal de conducción y evaporacion, sobre todo si tiene una gran longitud y su empleo es intermitente, se gasta una gran cantidad de agua, la que de otro modo se aprovecha convenientemente.

Y en general, la construccion de los depósitos realiza uno de los adelantos más importantes; extiende de un modo casi ilimitado el vasto campo de los riegos, y eso completamente fuera de la zona ribereña, donde los aumentos que se pueden obtener por este medio son generalmente menores que en la region más elevada, por lo regular impropia para la produccion de praderas na-

turales; donde el completo y pronto beneficio del sol, despues del riego, asegura á estos una cualidad infinitamente superior. Por este medio se emplean productivamente no solo los más pequeños hilos de agua corriente, sino las aguas pluviales, las de los manantiales no utilizados; y tambien las aguas intermitentes ó torrenciales, en lo general perjudiciales, cuyos daños se disminuyen al mismo tiempo que se las aprovecha, resultando una utilidad lo que antes era un perjuicio.

No es solo por la facultad de poder utilizar todas las aguas por lo que se deben extender los depósitos, sino por la ventaja que tienen de bonificarlas. En efecto, por el solo hecho de la estancacion, por la exposicion al aire, por la absorcion de los elementos atmosféricos, todas las aguas, habiendo reposado en un depósito, son favorables al riego y pueden resultar buenas por poca cantidad que con ellas se mezcle de algunos estiércoles ó abonos, cuyo empleo bajo esta forma es por otra parte el más eficaz que puede hacerse.

A medida que la ciencia agrícola adelante se harán más sensibles las ventajas de este último procedimiento, esto es, el que consiste en emplear las materias fertilizantes bajo la forma de abono líquido, si bien es cierto que para las pequeñas explotaciones se puede hacer la distribucion de este abono por medio de un arca ó tonel montado sobre ruedas, no lo es ménos que en las aplicaciones en grande escala se obtendrán con el auxilio de un depósito, servido por una conduccion de tubos flexibles, las mayores ventajas del procedimiento.

En fin, la capacidad y por consecuencia el gasto de estos depósitos especiales siendo siempre proporcionados á la extension del terreno regable, no puede nunca perjudicarse por esta parte, mientras que es frecuente ver

en el sistema de las derivaciones pequeñas empresas de riego, gravadas con los gastos de construcción de un largo canal de conducción, además de las dificultades contenciosas que casi siempre surgen en esta clase de empresas. Terminaremos diciendo que en los riegos privados, el mejor de todos los medios que se pueden emplear para asegurar el éxito completo de las operaciones con el máximum de economía, consiste en la construcción de un buen depósito.

Respecto al modo de establecerlo, nada puede decirse en general, si no es que todos los procedimientos usuales en una localidad son buenos si se saben emplear convenientemente.

La elección de un buen emplazamiento para la construcción de depósitos es importantísima; así es que debe hacerse un detenido estudio de él, debiendo reunir en lo general el mayor número de las siguientes condiciones:

Situarlos en los puntos altos de la extensión de terrenos que se desca regar, sin que por esto se pierdan las aguas pluviales de los terrenos superiores, ó las derivaciones de otros ríos ó arroyos.

El suelo ó fondo debe ser lo ménos permeable posible, por lo que deben desecharse los terrenos arenosos de rocas cavernosas, de guijarros, prefiriendo por tanto los arcillosos.

Siendo por otra parte una de las condiciones más esenciales la economía, esta se obtendrá por medio del menos movimiento de tierras y diques de poca longitud, siendo conveniente para ello aprovechar las gargantas ó angosturas de las laderas.

La construcción depende de los materiales que proporcione la localidad; generalmente se hacen de tierra. Si la capacidad del depósito es de consideración,

á la parte interior debe dársele la forma cóncava.

En cuanto á la capacidad correspondiente, debe estar en relacion con la extension de superficie regable, cantidad de agua necesaria segun los cultivos y demás que se ha indicado.

Por deducccion se sabe que los depósitos que encierran 1.500 á 2.000m.³ de agua bastan para el riego de una hectárea, aun en los casos más desfavorables. Su altura debe estar 1,75m. á 2m. por encima de la compuerta de toma de agua; cuando la altura de la presa no excede de 5m., los depósitos son de una profundidad ordinaria, y llegando ó pasando de 10m. se les considera muy profundos.

Segun el Ingeniero agrícola Mr. Pareto, despues de muchas observaciones relativas á su duracion y esmerada construccion, dice que el talud interior de los depósitos debe tener una base igual á la altura del dique multiplicada por 2,8. Si el depósito es muy profundo, se da á este talud la forma cóncava, segun hemos indicado, tomando por parámetro de una parábola el cociente de la altura por el coeficiente 2,8. De este modo se obtiene una economía notable en las obras de explanacion, habiéndose observado que el oleaje del agua en los diques que no afectan esta figura, al cabo de tiempo altera el talud natural de la tierra en este mismo sentido.

El talud exterior toma la inclinacion natural de la tierra abandonada á sí misma, es decir, de 1,50m. de base por uno de altura.

La cabeza ó cresta del dique tendrá de 1,50m. á 2m. de espesor en todos los casos, y debe dejarse unos 0,70m. más alta que la altura del agua. Cuando se construya el dique que el terraplen se ha de dejar $\frac{1}{20}$ más alto que lo pre-

fijado, para que este exceso corresponda al asiento que se efectúa siempre al cabo de tiempo en las tierras.

Las fundaciones de estos diques se ejecutan quitando las yerbas y céspedes del cáuce, escavando el terreno y profundizando en el centro un metro más que en los extremos. El lecho de la escavacion debe quedar escalonado ó con fuertes desigualdades para que se adhiera bien á la tierra desmenuzada y de excelente calidad, que se echa y apisona luego. En los taludes se hace un revestimiento de céspedes, y si se plantan arbustos se procurará colocarlos fuera del talud exterior del dique, á fin de evitar el dañoso efecto que las raíces pudieran ocasionar en el macizo.

Si las tierras fuesen de mala calidad, hay el recurso, como aconseja Mr. Polonceau, de establecer una faja ó capa de arcilla ó de hormigon hidráulico que se coloca en el centro del dique.

Tambien se construyen de piedra revestidos con capas de arcilla en el interior; de mampostería, que deben establecerse con fundaciones sólidas y especiales; sin embargo, la más aplicable á las obras puramente agrícolas son los depósitos de tierra.

Por fin, y para terminar este capítulo, añadiremos que además de las ventajas que hemos descrito, resultado del establecimiento de los depósitos, estos proporcionan *una economía de agua*; es decir, que los medios con que generalmente se cuenta para las derivaciones de los rios, necesitan mucha más agua que cuando se utilizan por medio de depósitos, y con el objeto de que su establecimiento tenga más seguridad y menos pérdidas, debe preferirse el hacer depósitos pequeños al de uno de gran cabida, pues además de lo dicho, sus reparaciones causan ménos perjuicios y se hacen con más facilidad.

CAPITULO XIV.

Lagos, estanques y pantanos.

Ya hemos dicho que durante un año es mucha la cantidad de agua que cae sobre la tierra, y para demostrarlo basta saber que, segun observaciones hechas por los principales observatorios de nuestra Península, en el trascurso de cuatro años resulta que la altura media del agua de lluvia ha sido la siguiente:

Granada.	0,86m.
Sevilla.	0,57
Valladolid.	0,52
Zaragoza.	0,43
Valencia.	0,40
Alicante.	0,34
Madrid.	0,30.

Pero como dicha cantidad de agua no siempre cae proporcionada á las necesidades de la agricultura, ni se puede disponer de su caudal segun aquellas, de aquí es que tenga que recurrirse á otras obras para lograr algo en dicho sentido.

Parte del agua caída se evapora, otra se filtra y otra corriendo por la superficie forma la mayor parte del caudal de los rios. Cuando esta última es muy abundante, la fuerza de su corriente arrastra la capa vegetal de los terrenos inclinados y los esteriliza, causando inundaciones que siembran la desolacion por donde pasan.

Verdad es que en los terrenos llanos, pocos son los perjuicios que las avenidas pueden causar, pero no así en los desiguales ó quebrados de la parte media ó inferior de nuestras cuencas.

Tenemos varios medios para disminuir los fatales efectos de las avenidas, y dos de ellos reproductivos, pagando con usura los trabajos y desvelos, reportando un crecido interés á los capitales en ellos empleados.

Estos son: el fomento de la vegetacion en los montes y construccion de pantanos en la region elevada de nuestras cuencas.

Sabiendo que no es posible obtener el caudal de aguas necesario para el completo riego de nuestros campos, sin que además del disponible en las épocas en que aquel es indispensable se guarden parte de las aguas que durante el invierno van á perderse al mar, se deduce de aquí que es utilísima la construccion de lagos y pantanos en las regiones montañosas, y que, como hemos dicho, resulta ser un beneficio lo que antes era perjudicial.

Además de lo referido es indiscutible que la construccion de un lago en el curso de la corriente de las aguas de un canal produce buenos resultados, constituyendo un regulador que amortigua el efecto de las crecidas.

Tanto el lago Mayor como los de Como y Lecco, si no se hubiesen interpolado en las vertientes de los Alpes y en el curso del Tessino y del Adda; estos rios, tan pre-

ciosos hoy para la riqueza agrícola de la Lombardia, conservarían un régimen torrencial, por lo que serían inútiles para el riego, probando que el lago es beneficioso bajo este concepto, pues su interposición ha regularizado la velocidad.

Pero debemos considerar los lagos de las montañas bajo otro punto de vista, el de la posibilidad que hay en algunos casos de extraer de ellos volúmenes considerables de agua cuyo nivel esté más bajo que el de su punto de caída; procedimiento que será el estudio que nos proponemos en el presente capítulo.

Existe en la region superior de los valles de que se hallan surcados los grupos de grandes montañas, algunos depósitos de aguas que pueden considerarse sin objeto, pues la pesca que producen da muy poca renta; pero que, sin embargo, dichas aguas podrían prestar gran utilidad si se procuraba aprovecharlas para regar los terrenos inferiores.

En algunas localidades ya se ha practicado dicho sistema, habiendo obtenido muy buen resultado; así es que se ha creído conveniente llamar la atención de los ingenieros dedicados al servicio hidráulico, el estudio relativo á este nuevo método de utilizar las aguas.

Pasemos á dar algunas ideas generales para poder utilizar convenientemente los lagos de las montañas en general; despues indicaremos los estudios hechos y emprendidos en los lagos de los Pirineos. Para utilizar los lagos de las montañas pueden emplearse varios procedimientos, segun las circunstancias. Desde luego puede ensayarse el de aumentar el volumen de las aguas que se van reuniendo, elevando á más altura el nivel ordinario de la solera del canal ó compuerta de la salida de las aguas.

En el lago, tal como se presenta, se puede efectuar una derivacion ó una decantacion por sifonamiento; y cada uno de estos medios puede presentar, segun las circunstancias, ventajas especiales que indicaremos suscintamente.

1.º La elevacion del nivel de un lago natural presenta generalmente grandes inconvenientes. En efecto, se trata de construir en su curso una presa con una boca proporcionada á las crecidas de las que no siempre se conocerá la importancia; y por tanto es fácil de que dicha obra sea causa de inundaciones en una gran extension de terrenos fértiles con sus casas de labor.

Así es que la elevacion del nivel se ejecuta por lo general en condiciones muy costosas. Además, hecha dicha elevacion, es tan poca la extension de terreno que se gana en la zona superior para el riego, que hace improductivos los gastos.

Añádase á lo dicho que es muy fácil encontrar hendiduras en las rocas ó bancos permeables del suelo, en la region donde se intente ejecutar la elevacion, y se verá las contrariedades que puede sufrir dicho proyecto, de éxito dudoso. Sin embargo, es ventajoso en terrenos muy escarpados en los que la zona regable se encuentra inmediata al nivel actual del lago; en los que por otra parte pueden utilizarse las presas temporales, que son en general más económicas que las fijas.

2º. El volúmen de agua que se renueva en un lago puede emplearse útilmente por medio de la derivacion.

Para ello debe abrirse un desmonte ó una galería hasta la profundidad que se juzgue conveniente para sacar agua del depósito natural y obrar despues con ciertas precauciones, poniendo en comunicacion la masa de agua con su nuevo emisario. Se ha observado que en

muchos casos los lagos de las montañas se alimentan inferiormente á su nivel ordinario por manantiales ascendentes, en cuyo caso el gasto de estos se aumenta por haber disminuido la carga que corresponde á haberse bajado el nivel del estanque.

Cierto es que se han hecho pocas pruebas para demostrarlo; sin embargo, siempre se ha podido apreciar dicho efecto en las que se ha tratado verificar semejante operacion.

A pesar de lo dicho, hay que atender á una dificultad real, siendo un obstáculo que se presentara con frecuencia en la ejecucion de estas derivaciones, y es que la referida galería tenga que abrirse en terreno de granito, ó cuarzo ú otras rocas primitivas de tal dureza, que los gastos de esta operacion no podrán nunca ser reembolsados por los beneficios que puedan obtenerse del riego.

Cuando, por el contrario, el terreno es de una dureza media, la empresa puede ejecutarse con ventaja. Sin embargo, como no se han realizado proyectos de esa especie en nuestro país, deben estudiarse detenidamente, y para ello daremos conocimiento de un proyecto para utilizar algunos estanques en la region de los Pirineos. En efecto, en su vertiente oriental existen una infinidad de estanques, formando en conjunto una superficie de 1.200 á 1.300 hectáreas.

Situacion del estanque Azul.—El que ocupa una situacion más favorable, es el conocido con el nombre de lago Azul, que se halla en los Altos Pirineos, al extremo superior del Erpone, afluente del Adour, cuyas aguas en el estío se emplean casi totalmente en beneficio del riego.

En efecto, el gasto que este rio tiene en Bagneres es de 7 á 8 metros por segundo, y apenas llega á 2 metros

en Tarbes, que se halla dos miriámetros aguas abajo.

Sensible es que el empleo de esas preciosas aguas, abandonadas desde tiempo inmemorial á la voluntad de los que las usan, se hallen en tan grave desórden, atendido que su uso se hacia sin regla ni discernimiento.

Sea cual fuera el abuso hecho y el remedio que debió adoptarse, se estudió la situacion del lago Azul, porque representaba un gran recurso que serviria á mejorar considerablemente los riegos en el valle del Adour, su- pliendo en parte á la escasez de aguas del rio.

Pasemos á dar algunos detalles de su situacion. Así como los otros lagos de los Pirineos su altura media es la de la cordillera, él se eleva unos 2.000 metros sobre el nivel del mar, y sin embargo avanza mucho sobre la vega.

Forma sus márgenes una ancha vereda accesible en verano, y con poco trabajo se puede lograr lo sea du- rante nueve meses, lo que no puede hacerse en la ma- yor parte de los lagos de dicho distrito.

El lago Azul ocupa el fondo de un embudo formado de rocas enteramente graníticas, y cuando llega al nivel de su emisario natural, su superficie es de unas 52 hec- táreas. Aquel, que en su origen tiene una pendiente sua- ve en una trinchera de 105 metros de longitud, abierta entre dos macizos igualmente graníticos, viene á des- embocar despues de tan corto trayecto en declive rápi- do, uniéndose al valle del Adour á la distancia de un kilómetro.

Por lo demás, el régimen del lago Azul difiere poco de los otros lagos de la misma region. Desde el mes de Octubre de cada año, la congelacion endurece su super- ficie, obstruye su vertiente, y las aguas que continua-

mente afluyen á él se le acumulan en esta situacion anormal.

Por lo regular, del 15 al 20 de Mayo, esto es, despues de siete meses de interrupcion, empieza á verterse de nuevo el agua, pero al principio se precipita con impetuosidad y despues se regulariza paulatinamente.

En el mes de Julio, época de la gran escasez de las aguas del Adour, se establece en el emisario del lago una presa provisional de piedra en seco, que eleva las aguas de 0,05m. á 0,06m. por dia, ó sea 0,60m. en diez ó doce dias, correspondiendo á un caudal útil de unos 330 litros por segundo sin comprender las pérdidas que tendrá en la presa.

Esta comprobacion que puede hacerse, es la que puede servir de regla para el empleo ulterior de esas aguas; pues lo que es fácil en semejantes casos en localidades ordinarias, no es posible en el que nos ocupa.

Lo que se ha podido averiguar es que la superficie total de las vertientes que van á parar al lago es de 620 hectáreas, tomando veintidos veces la superficie habitual del lago; pero cuando se ha querido buscar por medio de pluviómetros la cantidad de agua que cae en esas regiones, y se ha calculado la parte absorbida ó evaporada, de modo que se deduzca el volumen alimenticio del lago, esto ha sido imposible en aquel país, quedando todo reducido á conjeturas.

En efecto, haciendo abstraccion de la larga duracion y de la gran abundancia de las nieves, no hay generalmente ningun dato en que por analogía pueda establecerse una relacion de la cantidad de lluvia ni del mayor ó menor número de dias lluviosos que haya habido durante el año.

Así, por ejemplo, mientras que en Tolosa y en algu-

nos valles contiguos cae por término medio una capa de agua de 0,63m. por año, debe suponerse que en la parte montañosa que nos ocupa caerá casi doble; porque independientemente de la que proviene del derretimiento de las nieves, que alcanzan ordinariamente á fin del invierno un espesor de más de 2 metros, aparte de las grandes nieblas, que por la mañana y noche envuelven por lo regular esas altas montañas de una atmósfera húmeda, hay que añadir los grandes aguaceros y aun lluvias diluvianas, de las que raras veces hay ejemplo en los países llanos.

En el estudio que se hizo para utilizar el lago Azul, sucedió que, despues de varias observaciones hechas anteriormente sobre los inconvenientes generales que presenta la presa del emisario de un lago, sobre todo á causa del peligro de las filtraciones, se procedió de otro modo, ensayando el modo de obtener el agua necesaria por *decantacion*, pero por el sistema de *sifones* formados de tubos de fundicion.

Con la derivacion de una trinchera de agua de unos 4 metros de altura, se calculaba que en el lago podian obtenerse cerca de dos millones de metros cúbicos de agua, dando riego en aquella comarca á unas 2.500 hectáreas.

Pero como la region que la rodea es toda granítica, hubiera sido difícil atravesarla con éxito por una galería y aun en desmonte, pues segun su situacion tendria este por lo ménos 250 á 300 metros de longitud.

Por lo que se pensó en ensayar el sifonamiento, del que daremos algunos detalles que podrán demostrar en qué casos este medio será practicable.

Cuando es posible la decantacion por medio de tubos, ofrece la ventaja de emplear muy pocas obras de man-

postería, exigiendo solo desmontes de talud vertical que pueden hacerse en las rocas más duras. Así es, que para el proyecto del lago Azul se propuso un sistema de sifones componiendo una doble conducción por medio de tubos de fundición de 0,30 m. de diámetro, pudiendo alcanzar al límite práctico de 9,00 m. de profundidad bajo el nivel del lago, y elevar el agua por efecto de la presión atmosférica, haciéndole salvar á esta altura límite, el macizo de rocas que forman el contorno natural del valle Adour.

Después, por medio de una pequeña trinchera ó de un pozo abierto en la proximidad del lago que comunicaba con su interior por medio de compuertas dispuestas y establecidas á medida de la decantación, se propuso derivar por el mismo medio el volumen de agua total que puede renovarse anualmente en este lago.

En España hay una infinidad de ríos, arroyos y manantiales que atajados sucesivamente de trecho en trecho formarían otros tantos recipientes, que podían asegurar la fertilidad en grandes extensiones de terrenos.

Nuestro territorio está cortado en todos sentidos por elevadísimas cordilleras; las aguas de los ríos son verdaderos torrentes, donde las aguas de lluvia y derretimiento de nieves se precipitan con una velocidad sorprendente, efecto de no encontrar obstáculo alguno que las modere.

Para regularizar su corriente y hacer útiles dichos caudales hoy perdidos, la naturaleza nos ofrece en nuestro país numerosas angosturas, que pueden cerrarse fácilmente por medio de muros ó diques, bien sean de fábrica, de tierra y pilotes, en fin, con materiales proporcionados por la localidad, y que á la vez que ofrecen seguridad, reporten beneficios al capital empleado.

En los países de sierra, donde en puntos determinados se reúnen las vertientes de una gran superficie de colinas, podrían regarse tierras que hoy nada producen. Cortadas con un dique las gargantas por donde corren las aguas de aluvion y regularizandó su curso, depositarian en su fondo las materias fertilizantes de que van cargadas, sirviendo de abono para la agricultura. Estas aguas hoy atraviesan nuestro terreno sin aprovecharse, á pesar de que en la mayor parte de nuestras provincias su posicion topográfica convida á la construccion de estanques.

Mas para construirlos hay que tener presente:

1.º Que el terreno tenga mucha pendiente en las vertientes que conducen el agua al recipiente para que vengan á confluir con facilidad á un mismo punto.

2.º Que los terrenos superiores sean inclinados y vengan á concurrir las aguas al punto más estrecho, donde deberá construirse el depósito.

3.º Que la capa inferior ó subsuelo sea impermeable, á fin de evitar las pérdidas de agua por filtraciones.

4.º Para facilitar el desagüe es necesario que el fondo del estanque tenga una pendiente proporcionada.

Respecto á su construccion, se tendrá presente la capacidad, y se observarán las reglas dadas para la de los diques y presas, teniendo en cuenta la disposicion particular del terreno y, como hemos dicho, los materiales que suministra el país.

CAPÍTULO XV.

De la distribución de las aguas.

La disposición de las aguas para el riego debe sujetarse á la distribución particular de los terrenos y á las circunstancias con que en cada país, ya sea por ordenanzas especiales ó ya por la costumbre, se verifica su aprovechamiento.

Siendo la distribución de las aguas una de las principales cuestiones, puesto que proporciona el riego á los campos, y debiendo procurar que cada uno de los partícipes disfrute de una parte proporcional á la que haya adquirido por venta, contrata, etc., preciso es para ello recurrir á las obras reguladoras.

Las obras de esta clase comprenden los partidores y los módulos ó hidrómetros que se hallan en uso en las irrigaciones de algunos canales de España y del Norte de Italia.

Antes de entrar en la descripción de dichas obras, daremos una ligera idea de cómo se efectúan las divisiones de aguas para el regadío en algunas provincias de nuestra Península.

Empezaremos por exponer, aunque brevemente, los

diferentes sistemas practicados desde la dominacion de los árabes. Entre estos el más adoptado antes de su expulsion era el que hoy se usa en Elche y Lorca.

Por su medio el caudal de aguas del rio queda dividido en doce partes iguales, que toman el nombre de *hilas*, corriendo durante las veinticuatro horas del día. Cada *hila* se la divide en 19 cuartos y en *hila* de día ó *hila* de noche, contándose aquel de sol á sol y la última desde la postura del mismo hasta su salida. Se llama *casa* la hila que corre durante veinticuatro horas. El precio de cada cuarto es de 2 rs., y de cada día ó noche de 5 rs., vendiéndose diariamente por subasta, y segun las necesidades, llega á precios increíbles.

Para dar el agua correspondiente á cada comprador se hace uso de unas compuertas, formadas del modo siguiente: Delante de los tajamares hay unos sillares en forma de paralelepípedos sentados y unidos al umbral, cuya altura será de unos 0,83^m. (*figs.* 82 y 83.)

Entre los dos piés derechos se levanta un bastidor, que entra en una caja ó ranura abierta en ellos, sujetándose por un lado con cadenas. El bastidor consta de dos montantes, sujetos tambien en sus extremos y aun en su centrò por tornillos, atravesados y unidos á dos cabeceros, uno por cada parte, manteniéndose á 0,023 metros de distancia entre sí.

Por este hueco entran, penetrando hasta una canal hecha en el umbral, los *padrones* ó tablas de 0,208 metros de ancho y de la altura del bastidor, teniendo en la parte superior sus correspondientes manijas, pasadores y cadenas para sujetarlos en los montantes. Para distribuir el agua, el fiel quita ó pone *padrones* hasta el número suficiente, á fin de que pase el agua designada midiendo su altura y ancho.

El *jaríque* es la division y arreglo de aguas de un brazal entre los regantes, lo cual se hace por la mera práctica, siguiéndose el método de regar sucesivamente aprovechando cada regante toda el agua.

El aparato ú obra descrita es un partididor, pero imperfecto y grosero, resultando algunos regantes muy favorecidos y otros perjudicados.

En Murcia y Valencia se dividen las aguas de las grandes acequias en otras secundarias por medio de partididores y sirven tambien para los brazales.

En Elche tambien se hace uso de un partididor ó tajar que gira sobre un eje vertical, y tomando diferentes posiciones determinadas de antemano, aumenta ó disminuye el caudal que debe derivarse de la acequia principal.

En varias provincias de España se efectúa la distribución por medio de partididores, pero imperfectamente, por lo que con el objeto de evitarlo daremos á conocer algunas obras que han perfeccionado su uso.

De los partididores.

Principiaremos por examinar esta clase de construcciones, que no tienen por objeto regularizar la division del agua tan rigurosamente como sucede con los hidrómetros, pero que dan resultados bastante precisos en la práctica.

Cuando se trata de aforar exactamente un volumen de agua para luego distribuirla y con el objeto de dividirla en partes alíquotas, proporcionarles á cantidades determinadas, puede prescindirse de recurrir á los orificios, y sobre todo á los provistos de reguladores, cuyo empleo es siempre bastante costoso.

Los aliviadores de superficie dan un medio muy sen-

cillo para repartir el agua en tantas partes proporcionales como se quiera.

Pero es necesario obtener ya por un ensanche suficiente, ya por otro medio, la disminucion de la velocidad que dirigirá el filote del agua antes á un lado que á otro. Hecho lo cual, basta dividir por sencillas paredes de losas, ladrillos ó sillares el ancho del derrame en partes iguales ó proporcionales, segun la division que quiera hacerse. Pero téngase presente que la construccion de los derrames es una obra costosa, que no puede situarse en un sitio cualquiera; por lo que en general es desfavorable en la práctica del riego, puesto que no se reciben más que por derrame las aguas que, en tiempo de avenidas, pueden venir cargadas de materias fertilizantes. Por esto no se ha generalizado ese medio en las numerosas particiones que se efectúan diariamente en los países donde el riego ha tomado cierto desarrollo.

Tambien podremos servirnos de orificios de secciones rectangulares ó circulares, abiertos en las paredes verticales á una misma altura debajo del nivel del agua, porque claro es que, tomando el gasto indeterminado de uno de esos orificios como unidad, la particion será justa, distribuyendo á los copartícipes un número conveniente de esas unidades convencionales.

Aquí, como en el caso de los desagües, es condicion precisa destruir préviamente el efecto de la velocidad de la corriente, que alteraría la exactitud de los resultados, cuyo medio se practica en general, para las distribuciones de aguas hechas en pequeña cantidad, como son las aguas para las ciudades, las de los manantiales, etc., pero que rara vez se emplea en los terrenos de riego, donde la condicion principal es hacer las particiones con

tanta sencillez como economía, por lo que se recurre al uso del *partidor*, obra la más elemental empleada en algunas provincias de España y en el Norte de Italia.

Los partidores tienen por objeto dividir en diferentes usos y en proporciones dadas todo el volúmen de agua que tiene un canal, sin recurrir al empleo de los módulos ó hidrómetros, esto es, sin tener en cuenta la cantidad de agua efectiva derramada por el canal.

En Italia, lo general es establecer los partidores sobre la corriente que tiene que repartirse, sin auxilio de presa alguna.

En el derrame de una corriente de aguas nunca podrá impedirse que la velocidad de las secciones longitudinales del líquido que debe dividirse, sea mayor en las del centro y menor en las de los lados. Así es que la figura que representa los productos parciales de esas secciones, se halla comprendida, tal como se ha dicho, entre dos líneas paralelas, espaciadas según el ancho del canal terminando aguas abajo, por una línea quebrada, cuya representación particular podría determinarse de un modo muy aproximado, por medio de algunos flotadores, de cuya observación resulta, que dicha línea curva se aproxima siempre y poco más ó menos á la de un ángulo saliente ordinario.

Esta asimilación geométrica facilita los medios de apreciar á la vez los recursos que ofrecen los partidores. En efecto, puesto que su empleo se halla en el mismo caso que cuando se trata de dividir un ángulo, se ve desde luego que la división debe hacerse en dos partes iguales; la dificultad no será real, puesto que el ángulo se divide exactamente por medio de bisectriz.

Lo que debe hacerse es establecer el plano de separación exactamente en medio del ancho de corriente, la

que naturalmente deberá hallarse bien encauzada y regularizada entre dos planos, en una longitud conveniente, de modo que el filete de agua ó la línea de máxima velocidad, que en este caso es lo esencial, debe ocupar con precision el centro de la corriente.

En la teoría esta línea de separacion es la arista de una pila aguda de sillería, segun la *fig. 79*. Pero en la práctica, el partidor propiamente dicho no se reduce á esa sola construccion, componiéndose de otras obras accesorias, de las que hablaremos despues, y que tienen por objeto regularizar el derrame del agua arriba y abajo de la corriente.

En el caso de igualdad que se desea, la division puede considerarse como exacta, atendido á que los dos brazos del partidor, colocados en condiciones idénticas relativamente á la velocidad máxima, recibirán filetes flúidos semejantes, teniendo velocidades iguales, y como no hay dificultad en subdividir las primeras ramas establecidas, se comprenderá que el mismo procedimiento servirá para obtener la mitad, el cuarto, el octavo, etc., del gasto de un canal.

Pero cuando se trata de dividir el caudal de un canal, sea en dos partes desiguales, ó sea en tres ó varias iguales ó no, entonces, si no se recurre á los módulos, no puede tenerse certeza de la exactitud y se opera aproximadamente por medio del tanteo. Por ejemplo, si para dividir un volúmen de agua en la proporcion de uno á dos, se atiende no más que á tener las latitudes respectivas de dos ramas del partidor, en la misma relacion, el filete de agua, que tendrá mayor velocidad, se encontrará naturalmente en el mayor cáuce, resultando un notable exceso de gasto en perjuicio de la parte menor.

Si la division fuera en tres partes iguales, el exceso de gasto tendrá lugar en provecho del cáuce central.

Este inconveniente no ha bastado para que se abandonase el empleo de los partidores, del sistema milanés, porque siendo dicha obra sencilla y su uso muy cómodo, se han buscado varios medios para corregir su inexactitud, encontrando en él los resultados más aproximados que bastan en el mayor número de casos. Dicha aproximacion consiste en procurar que la velocidad media de la corriente, sea la misma en la entrada de los diferentes brazos, de modo que los gastos puedan considerarse como proporcionales á sus respectivas latitudes. Para obtenerlo, los medios varían con las circunstancias locales, ya colocando un ramal en direccion oblicua respecto de la del canal principal, ya cambiando la altura de los umbrales, ó estableciendo aguas arriba y enfrente de los brazos centrales que se hallan mejor situados, una pila pequeña que tiene por objeto desviar el filete del agua en provecho de los brazos ó ramales laterales. En fin, aun hay otros varios modos para obtener el mismo resultado, que se deducen fácilmente en cada caso, teniendo presente el objeto que se trata de obtener y las circunstancias de la localidad.

Sea para el caso de la division en dos partes iguales, en la que se puede pretender una exactitud completa; sea para el caso de una division desigual, en la que no se puede obtener más que una aproximacion; las precauciones que están en uso y que deben siempre observarse en la construccion de los partidores son: 1.º, no establecerlos nunca más que en los tramos rectos de los canales; 2.º, regularizar la seccion de estos, entre dos planos bien paralelos, en una longitud de 140 á 150 metros ó ménos, y segun un perfil todo de mampostería

en unos 12 á 15 metros aguas arriba del punto de division; 3.º, evitar cuidadosamente las aristas salientes de los muros, bóvedas, etc., que darian lugar á contracciones desiguales del agua, introducida en los varios brazos; 4.º, no emplear en estos cáuces ó ramales, acueductos cubiertos ni tubos de conduccion en los que el derrame no se verifica en las mismas circunstancias que en los canales y acueductos descubiertos.

Como ejemplo se puede ver la obra de arte que representan las *figuras* 43, 44 y 45 que es un grupo de seis canalizos, con sus correspondientes compuertas, establecidas en el canal de los Apeninos (depósito de Lamanon). Estos canalizos tienen uniformemente 1^m,30 de ancho y su umbral colocado á un mismo nivel. Las dos aberturas extremas á derecha y á la izquierda alimentan el ramal Esquieres, el otro el de Salon. Las aberturas intermedias se emplean dos á dos para alimentar en el canal Crapone la rama de Arlés, las otras el canal del Congreso. La presa de mampostería se apoya contra el edificio que sirve de habitacion al guarda ó capataz encargado de vigilar la maniobra de los canalizos. Este edificio tiene su basamento atravesado de dos claros abovedados de medio punto y de tres aberturas menores de forma ojival.

Ya hemos observado en otra ocasion que estas distribuciones ó divisiones de aguas hechas sin el auxilio de aparatos reguladores propiamente dichos, no pueden dar más que resultados aproximados, desde el momento que el régimen de las aguas los cambian, siendo esa una de las causas que han contribuido á que haya algun desorden en el consumo de las aguas de riego en los canales de la Provenza.

De los hidrómetros y módulos.

Las obras de esta clase tienen por objeto verificar la distribución de las aguas de los canales de riego de tal manera, que cada regante reciba prácticamente la cantidad exacta á que tenga derecho ó necesite.

Si tuviéramos un embalse de nivel constante y estableciéramos un sistema de compuertas que resbalasen unas sobre otras, de modo que la principal pueda subir ó bajar por las ranuras de su correspondiente vano, según las variaciones de nivel del canal, podríamos de este modo obtener un gasto determinado.

Pero esto no es posible en la práctica, pues la gran variación que dichos canales tienen en sus pendientes curvas, etc., etc., forzosas en su traza horizontal y vertical, circunstancia que hacen que dos orificios semejantemente dispuestos y colocados en una misma altura, debajo del nivel de las aguas, casi nunca gasten la misma cantidad de agua, si sus tomas se hallan situadas en el mismo talud del canal alimentador, sin otra obra intermedia.

La situación de las propiedades ribereñas con relación al eje del canal principal obligan á sujetar la dirección de los canales particulares, variando respecto de la del principal, que es una de las causas que contribuyen á ese resultado. Para ello basta fijarse en la disposición que representan las figuras 80, 81 para demostrar que el filete de agua en el primer caso se dirige á la derivación de la parcela *A*, tiende á alejarse de la parcela *B* por la gran diferencia que tienen de oblicuidad las dos direcciones.

Si además suponemos que el agua del canal alimentador tiene una gran velocidad, la diferencia entre las

dos situaciones será mayor, de modo que á igualdad de seccion y determinada posicion, los gastos serán siempre desiguales.

En fin, otras consideraciones prácticas han demostrado que el sistema de tomar las aguas directamente del canal alimentador, sin obra alguna intermedia, es imperfecto.

De aquí la idea de establecer ciertas obras reguladoras, cuyo principal objeto es dar salida á una cantidad de agua constante y determinada anteriormente, sin que para ello influya la variacion del nivel del líquido en el canal principal, y siempre que se halle entre ciertos límites.

Para ello, despues de algunas pruebas, tanteos y experiencias, se adoptó en el Norte de Italia un sistema de reguladores, que consistian en una compuerta y un án cuenco interpuestos entre el canal y la boca de distribución. Este vano y sus compuertas se arreglaban de modo que el derrame ó desagüe correspondiera al estado y volúmen de las aguas, de modo que aquel fuera normal y proporcionado al caudal.

A últimos del siglo xv en el Piamonte, y principio del xvi en la Lombardía, se empezó á adoptar dicha disposicion; sin embargo, como en aquella época la ciencia hidráulica no se hallaba á la altura que hoy, aquel módulo no podia llenar por completo las condiciones que se deseaban, pero regularizaba la salida del agua, la que hasta entonces habia sido arbitraria.

Despues de varias modificaciones que se introdujeron en las diversas partes de las obras reguladoras indicadas, se llegó á uno que se consideró como el más perfecto y se denominó módulo magistral de Milan ó módulo milanés.

Con el objeto de apreciar la perfeccion de los módulos, preciso es que conozcamos las condiciones principales que deben satisfacer, y son las siguientes:

1.^a Que la cantidad de agua á que dé paso sea siempre la misma, cualquiera que sea el nivel que tenga la del canal, de modo que módulos de igual desagüe deben dar siempre las mismas cantidades de agua, sea cualquiera el punto que ocupen del canal.

2.^a Que reuna sencillez, y si es posible, que sea auto-móvil, pudiendo manejarlo y corregirlo cualquiera persona por poco inteligente que sea.

3.^a Que los usuarios no puedan alterar el aparato dándole más ó ménos desagüe, sin dejar señales de dicha alteracion.

4.^a Que la pérdida de agua sea la menor posible, con objeto de que despues de recorrer el líquido todo el aparato, conserve su nivel á bastante altura para poder regar la mayor extension de terreno.

5.^a Que baste para establecerlo un pequeño espacio en cualquier punto del canal.

6.^a Que sea susceptible de toda la mayor exactitud posible, y que dé constante y exactamente la cantidad de agua que le corresponda, bien sea un múltiplo ó parte alícuota de la unidad.

Antes de pasar más adelante, veamos el efecto de una compuerta entre un depósito y un orificio determinado.

Sea H la altura del agua sobre el orificio que vierte el canal,

S' la seccion de este orificio.

S el orificio definitivo de salida.

h la altura del agua sobre este orificio.

m el coeficiente de contraccion.

Q el gasto por segundo.

Establecido el equilibrio, el gasto en la parte inferior de la compuerta será igual al del orificio de salida, de donde resulta la ecuacion

$$m S \sqrt{2 g (H - h)} = m S' \sqrt{2 g h}$$

Si suponemos que el agua se eleva en el canal á una altura a , la total será $H + a$, y la carga sobre el orificio de salida, despues de restablecido el equilibrio, tomará un valor h' .

Se verificará entonces la siguiente ecuacion:

$$m S \sqrt{2 g (H + a - h')} = m S' \sqrt{2 g h'}$$

De las anteriores ecuaciones resulta

$$h' = h \left(1 + \frac{a}{H} \right)$$

y el gasto correspondiente será

$$Q = m S' \sqrt{2 g h' \left(1 + \frac{a}{H} \right)}$$

Designemos por S'' la seccion libre, que con la carga total H daría el mismo gasto que la seccion S' con la carga h , y tendremos la ecuacion

$$m S \sqrt{2 g h} = m S'' \sqrt{2 g H}$$

Supongamos otra elevacion a del nivel del agua del canal; el gasto por el orificio precedido de la compuerta será

$$Q = m S \sqrt{2 g h'} = m S \sqrt{2 g h \left(1 + \frac{a}{H}\right)}$$

El gasto por el orificio que vierte directamente en el canal, será entonces

$$Q'' = m S'' \sqrt{2 g (H + a)}$$

y reemplazando S'' por un valor que es

$$S = \frac{S \sqrt{h'}}{\sqrt{H}}$$

se halla para el gasto del orificio que vierte directamente en el canal, despues de la elevacion de nivel a .

$$Q = m S \sqrt{2 g h \left(1 + \frac{a}{H}\right)}$$

expresion idéntica con la hallada anteriormente para el gasto del orificio, precedido de una compuerta y de un cuenco, y que parece demostrar que no tiene utilidad la compuerta interpuesta.

Pero en estos cálculos, al establecer que se trata de un orificio sumergido, hemos supuesto que un solo y mismo coeficiente m podría servir en los dos casos como multiplicador del gasto teórico de las aberturas, lo que no puede ser.

Con efecto, además de la mayor contraccion que experimentan los filetes flúidos, para dirigirse desde una altura tan grande hácia el orificio S' , colocado en el fondo mismo del canal, y siempre á muy pequeña altura, hay un razonamiento notable desde S á S' , tanto mayor cuanto más considerable sea la altura H . Designando por m el coeficiente de contraccion conocido, que es

aplicable al orificio de salida, debe designarse por m' el multiplicador diferente, que modifica la salida á la entrada de la compuerta hidrométrica, pasada la cual el agua experimenta rozamientos y disminucion de velocidad, que se traducen necesariamente en una pérdida de fuerza viva.

Esta pérdida de fuerza viva es la que se utiliza en la práctica de los reguladores del sistema milanés, si no para destruir, al ménos para atenuar en una proporción notable las variaciones de gasto que corresponderían á las accidentales de la altura de agua en el canal, si en la márgen de este estuviera practicado el orificio.

Introduciendo esta distinción esencial en los cálculos anteriores, tendremos

$$Q = m' S' \sqrt{2g(H-h)}$$

$$Q = m S \sqrt{2gh}$$

Y como en el estado de equilibrio estos dos gastos deben ser iguales, resulta la ecuación

$$m' S' \sqrt{2g(H-h)} = m S \sqrt{2gh}$$

La compuerta interpuesta entre el canal y el orificio de distribución tiene una eficacia inmediata, siendo posible reducir, por la variación de su abertura, la presión normal h á la que debe ser, y esto para un valor cualquiera de H .

Este hecho incontestable constituye ya por sí solo una gran superioridad en los aparatos del sistema milanés. Pero tienen la ventaja de funcionar por sí solos, esto es, sin que se efectúe maniobra alguna con la compuerta, bastándose por sí para atenuar el efecto de las

variaciones del gasto, resultantes de las que experimenta la altura del agua en el canal.

Cuyo resultado nos confirma el principio conocido de los vasos comunicantes, comprobado por numerosos experimentos, del que resulta que si en un vaso ó depósito de nivel constante se interpone una compuerta con su correspondiente orificio, se establecerá siempre entre las dos divisiones del depósito una diferencia de nivel constante, la que será tanto más pronunciada, cuanto ménos sea la abertura relativamente á la del orificio libre.

Hallando conformes los resultados de la teoría con los de la práctica en el exámen de los reguladores que tienen un vano hidrométrico, nos resta demostrar de qué modo se hallan dispuestas las principales partes del módulo milanés.

Las figuras 84, 85 y 86 representan en plano y sección longitudinal la principal disposición de ese regulador, que son las siguientes: 1.^a Longitud de unos 6 metros para el cuenco de aguas arriba de la boca. 2.^a Retallo de unos 0,35 m. para el ancho del primer cuenco además del verdadero ancho del orificio de distribución, el cual varía según la importancia de aquella. 3.^a Altura constante del expresado orificio, arreglado á 0,20 m. para la distribución de las aguas del Milanesado. 4.^a La solera del cuenco de arriba, siguiendo una pendiente de 0,35 ó de 0,55 por metro, desde el vano hidrométrico hasta la boca de distribución. 5.^a Ancho del caz de abajo, aumentado solo en 0,10 m. del de la boca reguladora. 6.^a Salto de 0,05 m. al salir de esta desembocadura, y la pendiente del caz de abajo casi nula, cuya longitud ordinariamente será de 5 á 6 metros.

Desde luego se ve que todas esas disposiciones se han

calculado ingeniosamente, á fin de obtener con la exactitud posible, ya sea en virtud del principio teórico supuesto, ya sea fuera de él, el limite de la variacion del gasto, en el caso de crecer ó disminuir accidentalmente el nivel en el canal alimentador. En efecto, el principio en cuestion está basado principalmente en la desigualdad de los coeficientes, que modificando en cada caso el derrame teórico por la rampa de la solera que desde el mismo umbral del vano obra directamente con este fin, aumentando el rozamiento que el agua experimenta á su entrada al cuenco.

La reduccion del cuenco de abajo, el débil salto y la suavísima pendiente de su solera, son otras tantas disposiciones hábilmente calculadas, resultando que el orificio está en parte sumergido bajo la influencia de un exceso de gasto algo considerable, sirviéndose en este caso á sí mismo de regulador. Tal es el aparato ingenioso inventado y aplicado en el Milanésado, del que se hace mucho uso para la policía de los riegos desde el año 1580, esto es, cerca de tres siglos.

Los reguladores del sistema piamontés difieren algo en su forma pero no en el principio del que acabamos de describir, esto es, que el cuenco de aguas arriba de la boca de distribucion termina por un contorno curvilíneo, destinado á amortiguar en lo posible los movimientos irregulares del agua.

Este cuenco, que tiene segun las circunstancias locales longitudes muy variables, la pendiente de su solera es de 5,50 al 6 por 100, que es una de las condiciones especiales del módulo milanés, pero la interposicion del vano deja en esta obra primitiva una entera identidad del principio.

En el Norte de Italia se han establecido algunas obras

de dicho sistema, y en Francia se han dedicado á perfeccionarlos.

En efecto, como hemos dicho, el módulo milanés, que es el que se consideraba más perfecto, si bien evita algunos inconvenientes y disminuye otros, no carece de tenerlos. Estos son, la continúa y gran vigilancia necesaria para subir ó bajar la compuerta hidrométrica; que la cantidad de agua que suministran; no es exactamente proporcional al número de unidades que debe dar, y que exige una construcción especial y costosa.

Con el objeto de perfeccionarlo, se han propuesto varias modificaciones, siendo la más conocida la de Colombani, sin embargo que tampoco se logró anular los principales inconvenientes y dejaba de llenar algunas de las condiciones sentadas.

Modernamente se han ideado algunos módulos muy ingeniosos, que satisfacen algo más las citadas condiciones.

Entre ellos tenemos el módulo que presentó el Sr. Rivera, Inspector de Caminos Canales y Puertos, para medir exactamente las aguas del riego con aguas del Canal de Madrid.

Otro es el módulo inventado por el director del Canal del Henares, Mr. Jorge Higgin, y por fin, el propuesto por el Ingeniero de Caminos, Sr. Rebolledo.

Para la descripción del módulo del Sr. Rivera, copiamos lo que inserta dicho señor en su Memoria sobre el riego de los campos de Madrid.

Nuevo módulo para la exacta medición de las aguas de riego.

«Se llama módulo en los canales de riego el aparato que tiene por objeto regularizar la salida del agua por

el orificio practicado al efecto, de modo que el gasto sea siempre el mismo, cualquiera que sea la altura que tome el nivel del agua dentro del canal.

»El módulo será más perfecto cuando tampoco influyan en el gasto de agua la velocidad de la corriente en el canal, ni la inclinacion del hilo del agua respecto al plano en que está abierto el orificio, ni la disposicion de la reguera que reciba las aguas, ni ninguna, en fin, de las circunstancias que pueden aumentar ó disminuir la cantidad de agua cuando esta sale por un simple orificio abierto en el fondo ó en el costado del canal.

»Sin entrar en la historia del origen y progresos de la invencion del módulo, que, aunque no careceria de interés, haria esta nota demasiado larga, me limitaré á manifestar el principio en que se funda el nuevo módulo, y el modo con que lo he aplicado á la práctica.

»La cantidad de agua que sale en un tiempo dado por un orificio abierto en el fondo ó en el costado de un canal, depende esencialmente de la superficie del orificio y de la altura que hay desde su centro hasta el nivel del agua. Así, pues, para conseguir que el gasto sea constante es necesario, ó que el orificio y la carga sean invariables, ó que al paso que aumente ó disminuya la carga, disminuya ó aumente la superficie del orificio en la proporcion convéniente para una exacta compensacion.

»La primera de estas dos soluciones fué la que adoptó el Ingeniero Mont-Richer en el canal de Marsella, y la segunda es la que yo he puesto en práctica en el pequeño trozo construido de las acequias de Madrid.

»El módulo de Marsella, modificado notablemente desde su primitiva construccion, consiste hoy en un orificio circular abierto en el fondo del canal, y en el cual entra con rozamiento suave un tubo metálico de igual diáme-

tro. Este tubo va suspendido de un flotador que le obliga á subir ó bajar tanto como sube ó baja el nivel del agua en el canal, pero manteniéndose invariable la altura de la superficie del agua sobre el borde del tubo. Resulta de esta disposicion que la cantidad que se derrama dentro del tubo por toda su circunferencia es siempre la misma, puesto que depende solamente de la magnitud de esa circunferencia y del grueso ó altura del agua desde ella hasta la superficie.

»Este módulo, cuya teoria parece tan satisfactoria, es sin embargo defectuoso, porque no hay medio de anular el rozamiento del tubo con el borde del orificio del fondo, consiguiendo al mismo tiempo que no haya escape de agua por entre el tubo y el borde del orificio. Las bandas de cuero y goma empleadas en Marsella están lejos de corregir esta imperfeccion; y los repetidos experimentos que hice para remediarla, despues de visitar las obras de aquel canal en el verano de 1858, me convencieron de la imposibilidad de salvar completamente esta dificultad, que producirá siempre irregularidades notables en el suministro del agua, haciendo que este módulo no pueda satisfacer debidamente el objeto propuesto.

»Mayores inconvenientes presentaria todavía en la práctica el módulo sifon, fundado en el mismo principio de la igualdad de carga, propuesto por el Ingeniero de minas Sr. Alcibar y descrito en la *Revista Minera* de 1861.

»La segunda solucion del problema consiste en hacer variar la superficie del orificio de salida del agua, con arreglo á la ley en que varía la velocidad de la salida con las variaciones de carga sobre el orificio.

»Bajo este principio presentó el italiano Lorgua una

solucion ingeniosa, aunque inaplicable en la práctica. Consiste esencialmente en una abertura hecha en una de las paredes de la cámara del módulo, y cerrada con una compuerta que sube y baja en virtud de un flotador, segun sube ó baja el nivel del agua en el canal.

»La figura del orificio, ancho por abajo y estrecho por arriba, está calculada de modo que, á medida que aumenta la carga, disminuya la seccion de salida del agua, de suerte que el gasto sea siempre constante.

»Esta teoría es completamente satisfactoria porque pueden determinarse las curvas laterales del orificio, de manera que estén compensadas todas las causas de error que pueden influir en las variaciones del gasto; pero no es posible que tenga aplicacion práctica, porque el movimiento de la compuerta produciria siempre un rozamiento que ocasionaria irregularidades de mucha consideracion.

»Esta misma dificultad fué causa de que se abandonase el primer sistema de compuertas automóviles adoptado en el Canal de Marsella.

»El módulo exacto excluye toda clase de compuertas. Es necesario anular el rozamiento, y para esto no hay más medio que evitar el contacto, y esto es lo que se ha conseguido en el nuevo módulo que describiré más adelante.

»El Sr. Colombani insertó en el *Giornale dell'Ingegnere Architetto ed Agronomo de Milans*, correspondiente al año de 1860, una Memoria, en la cual, despues de desechar los aparatos imaginados por Possenti, Brunacci y Lorgua, propone tres de su invencion, que indudablemente ofrecerian en la práctica los mismos ó mayores inconvenientes.

»Sus mecanismos son complicados; la maquinaria que

los constituye se entorpecería muy pronto dentro del agua, y dejarían de funcionar ó lo harían muy imperfectamente. Además, su autor no los propone como soluciones exactas, sino más ó ménos aproximadas del problema del gasto constante y uniforme.

»La que yo he hallado es la siguiente:

»Abierto en el fondo $A B$ (fig. 87) de un depósito de agua comunicacion con el canal, un orificio circular CD que pueda dar paso, en aguas bajas, á una cantidad algo mayor que la que en realidad haya de salir por él, se introducirá en el orificio un sólido EF , cuya longitud sea igual próximamente á la máxima altura que pueda tomar el agua en el depósito: este sólido, cuya forma será la que representa la figura, estará suspendido de un flotador, de modo que al variar la altura del agua pueda subir y bajar libremente dentro del orificio, dejando entre su superficie y la circunferencia de este un espacio anular que dará paso al agua, y que será tanto menor cuanto más se eleve la superficie del agua sobre el plano del orificio. Al sólido así suspendido le llamaremos péndola, y el problema que se ha de resolver consiste en dar á esta péndola la forma conveniente para que en todas sus posiciones dejé salir por la superficie anular una cantidad de agua constante y exactamente igual á la que deba suministrar el módulo.

»Veamos el modo de conseguirlo.

»El orificio de salida del agua es la corona comprendida entre la circunferencia de la péndola y la circunferencia del orificio circular del fondo.

»Es bien sabido que las velocidades de salida del líquido con diferentes cargas sobre el orificio, son proporcionales á las raíces cuadradas de las alturas, y que varían además con la latitud geográfica del lugar, que influ-

ye en la intensidad de la fuerza de la gravedad.

»Teniendo en cuenta estos elementos, el valor de la velocidad se representa por la fórmula conocida.

$$v = \sqrt{2gh}$$

siendo g la fuerza de la gravedad en el lugar en que se haga el experimento, y h la altura del nivel del agua sobre el orificio.

»El gasto de agua en metros por l^o que llamaremos Q será igual al producto de la superficie de la corona por la velocidad y por el coeficiente de contracción, que llamaremos m .

$$Q = mS\sqrt{2gh}$$

»Llamando D al diámetro del orificio circular del módulo, y d al diámetro de la péndola en el plano del orificio, la superficie de salida del agua será

$$S = \pi \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right)$$

y por consiguiente

$$Q = m\pi \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) \sqrt{2gh}$$

de donde

$$d^2 = D^2 - \frac{4Q}{m\pi\sqrt{2gh}}$$

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4Q}{m\pi\sqrt{2gh}}} \times \frac{Q}{\sqrt{h}}$$

»Para hacer aplicacion de esta fórmula, necesitamos conocer el valor del coeficiente de contraccion m .

»La contraccion de la vena flúida produce en el valor de Q una disminucion notable, que varia entre ciertos limites con las variaciones de tamaño, forma y situacion de los orificios, y con la altura de la carga. La reduccion del gasto, debida á esta causa, se expresa en la fórmula con el coeficiente fraccionario m , cuyo valor no se ha podido hasta ahora determinar teóricamente; pero se han hecho por diferentes sábios repetidos experimentos para determinarle prácticamente, formando tablas aplicables á los casos que más frecuentemente suelen ocurrir.

»Las que inspiran más confianza son las que redactaron Poncelet y Lesbrós por los años 1826 y 1827; pero las condiciones con que hicieron sus experimentos eran muy diferentes de las que se presentan en nuestro caso particular. Los orificios estaban abiertos en pared vertical, y los de nuestros módulos lo están en el fondo del vaso. Eran rectangulares: la base era en todos de 20 centímetros, y las alturas variaban desde 1 hasta 20 centímetros, mientras los orificios de nuestros módulos son anulares y han de variar entre límites mucho mayores. Los que resultan en los cuatro módulos que hemos dispuesto, reduciéndolos á rectángulos de igual superficie, en los cuales la base sea igual á la circunferencia media rectificada, y la altura á la diferencia entre el radio del orificio y el de la péndola están comprendidos entre

300 milímetros de base por 55 de altura, y

340 milímetros de base por 47 de altura.

»En los experimentos de Poncelet y Lesbrós, los valores de m variaban desde $m = 0,60$ hasta $m = 0,70$; pero

en ningun caso las condiciones con que se obtuvieron son aplicables á nuestro problema.

»Así, pues, para calcular la fórmula que habia de servirnos para determinar la figura y dimensiones de la péndola para cada uno de los módulos, hemos practicado préviamente una série de experimentos para determinar el valor de m con orificios anulares en condiciones análogas á las que han de concurrir en los módulos, y los resultados han variado entre límites muy reducidos, pudiendo tomarse por término medio para el valor de la contraccion: $m = 0,63$.

»Conocido el valor de m , resulta para el término

$$\frac{4}{m \pi \sqrt{2} g}$$

un valor conocido y constante para cada lugar, y que en Madrid, siendo $g = 980.449$ será igual á 0,456.325, y substituyéndole en la fórmula, será

$$d = \sqrt{D^2 - \left(0,456.325 \frac{Q}{\sqrt{h}}\right)}$$

»Por medio de ella, dado el diámetro D del orificio, y el caudal constante Q que deba suministrar el módulo, se determina para cada altura h que tome el agua en el canal, el diámetro d que haya de tener la péndola en la seccion que coincida con el plano del orificio. De esta manera se han calculado las ordenadas de las curvas meridianas de las cuatro péndolas que se han construido hasta ahora, y los resultados prácticos han correspondido á las deducciones del cálculo con una aproximacion sorprendente.

»La siguiente tabla presenta, en resúmen, los cálculos necesarios para determinar la forma de la péndola en cada caso de los cuatro que nos hemos propuesto resolver, á saber:

»El 1.º para un módulo que suministre 5 litros por l", ó sean 18 horámetros.

»El 2.º para un módulo que suministre 15,80 litros por l", ó sean 56,88 horámetros.

»El 3.º para un módulo que suministre 22.222 litros por l", ó sean 80,00 horámetros.

»El 4.º para un módulo que suministre 27,80 litros por l, ó sean 100,00 horámetros.

»En todas las péndolas se han determinado los valores de h correspondientes al vértice de la curva, haciendo $d = 0$ en la ecuacion fundamental.

»Se han calculado las circunferencias de las péndolas, además de los diámetros, porque al tornearias es conveniente valerse de las circunferencias y no de los diámetros, para acercarse más á la exactitud necesaria.

Numeracion de las péndulos.	DATOS.			RESULTADOS.							
	CONSTANTES.		VARIABLE.	AUXILIARES.			FINALES.				
	Q	D	h	\sqrt{h}	$\frac{a Q}{\sqrt{h}}$	$D^2 - \frac{a Q}{\sqrt{h}}$	d.	Circunferencias.			
Met. cúb.	Metros.	Metros.	Metros.	Metros cuadrados.	Metros cuads.	Metros.	Metros.				
1.	0,00500	0,1413	0,034	0,1842	0,01238769	0,00000000	0,0000	0,0000			
			0,037	0,1923	0,01186480	0,00052280	0,0229	0,0718			
			0,09	0,3	0,00760542	0,00478227	0,0691	0,2172			
			0,16	0,4	0,00570406	0,00668363	0,0847	0,2568			
			9,25	0,5	0,00456385	0,00732444	0,0884	0,2779			
			0,36	0,6	0,00380271	0,00853493	0,0926	0,2911			
			0,49	0,7	0,00325946	0,00912823	0,0955	0,3001			
			0,64	0,8	0,00285203	0,00953566	0,0976	0,3068			
			0,81	0,9	0,00253514	0,00985255	0,0992	0,3118			
			1,00	1,0	0,002281625	0,01010606	0,1005	0,3158			
2.	0,01580	0,20	0,03249	0,18025	0,0400000	0,00000000	0,0000	0,0000			
			0,04	0,2	0,0360497	0,00395032	0,0628	0,1973			
			0,09	0,3	0,0240331	0,01596688	0,1264	0,3971			
			0,16	0,4	0,01802485	0,02197315	0,1482	0,4656			
			0,25	0,5	0,01441987	0,02558013	0,1599	0,5023			
			0,36	0,6	0,01201655	0,02793345	0,1673	0,5256			
			0,49	0,7	0,0102999	0,0297001	0,1723	0,5413			
			0,64	0,8	0,00901242	0,03098758	0,1760	0,5529			
			0,81	0,9	0,0080110	0,0319889	0,1785	0,5608			
			1,00	1,0	0,00720993	0,03279007	0,1811	0,5689			
3.	0,02222	0,18	0,0978	0,3127	0,0324000	0,00000000	0,0000	0,0000			
			0,16	0,4	0,02534885	0,00705415	0,0840	0,2639			
			0,25	0,5	0,02027008	0,01212092	0,1101	0,3459			
			0,36	0,6	0,01689920	0,0155006	0,1245	0,3911			
			0,49	0,7	0,01448505	0,01791495	0,1338	0,4203			
			0,64	0,8	0,0126744	0,0197256	0,1404	0,4411			
			0,81	0,9	0,01126615	0,02113385	0,1454	0,4568			
			1,00	1,0	0,01013954	0,02226046	0,1492	0,4687			
			4.	0,02777	0,20	0,10036	0,3168	0,04000000	0,10000000	0,0000	0,0000
						0,12	0,3464	0,0365824	0,0034176	0,0353	0,1138
0,16	0,4	0,03168036				0,0031964	0,0912	0,2865			
0,25	0,5	0,02534429				0,01465571	0,1211	0,3804			
0,36	0,6	0,02112024				0,01887976	0,1374	0,4316			
0,49	0,7	0,01810306				0,02189694	0,1480	0,4649			
0,64	0,8	0,01584018				0,02415932	0,1544	0,4882			
0,81	0,9	0,01408016				0,02591984	0,1604	0,5058			
1,00	1,0	0,01267214				0,02732785	0,1653	0,5, 93			

»Para trazar la curva generatriz de la superficie de la péndola, se tomaron por abscisas los valores de h , y por ordenadas las correspondientes de $\frac{1}{2} d$ (fig. 85). Construidas de este modo y con la mayor exactitud posible las cuatro péndolas, se procedió á los experimentos necesarios para comprobar los resultados.

»En el cáuce del desagüe del depósito del Campo de Guardías se ha dispuesto al efecto una pequeña cámara de nivel constante, desde la cual se deja pasar una corriente uniforme á otra cámara rectangular de 1 metro de anchura, 2,50 de longitud y 1,50 de profundidad. En el fondo de este pequeño depósito se abrió el orificio circular para la salida de las aguas y la colocacion de la péndola, la cual está sostenida por un flotador de forma anular, y puede elevarse ó bajarse á voluntad por medio de un tornillo, hasta que la superficie del agua quede á la altura necesaria sobre la cabeza de la péndola.

»Debajo de este depósito hay una pequeña cámara que permite observar la disposicion de la péndola y los fenómenos de la salida del agua.

»Las aguas que salen del módulo pasan al estanque de aforos, que es otro depósito de 4 metros de longitud, 1,50 de anchura y 1,40 de profundidad, por una tajea con dos pequeñas compuertas que cierran herméticamente, y permiten abrir ó cerrar, segun conviene, la comunicacion del desagüe del módulo con el estanque de aforo.

»Por último, un flotador establecido en este despues de muchos ensayos para darle la disposicion más conveniente; permite determinar con precision el tiempo que el nivel del agua tarda en subir una altura determinada, y por consiguiente la cantidad de agua que suministra el módulo en un tiempo dado.

»De esta manera se han ensayado los cuatro aparatos mencionados, y los resultados obtenidos son los que se demuestran en la siguiente tabla:

MÓDULO N.º 1.			MÓDULO N.º 2.		
5 litros por 1" = 18 ^m .			13,8 litros por 1" = 56,88 ^{lm} .		
Carga.	Gasto.	Tiempo.	Carga.	Gasto.	Tiempo.
Metros.	Litros.	Min. Seg.	Metros.	Litros.	Min. Seg.
0,16	5,01	19' 57"	0,16	15,70	6' 21"
0,25	5,00	20' 00"	0,25	15,60	6' 22"
0,36	5,00	20' 00'	0,36	15,80	6' 20"
0,49	5,01	19' 57"	0,49	15,60	6' 22"
0,64	5,01	19' 57"	0,64	15,90	6' 18"
0,81	4,99	20' 02"	0,81	15,80	6' 20"
1,00	5,00	20' 00"	1,00	13,80	6' 20"

MÓDULO N.º 3.

22,222 litros por 1'' = 80^{litros}hm.

Carga.	Gasto.	Tiempo.
Metros.	Litros.	Min. Seg.
0,16	21,91	4' 34"
0,25	22,01	4' 32"
0,36	22,12	4' 31"
0,49	22,22	4' 30"
0,64	22,22	4' 30"
0,81	22,22	4' 30"
1,00	22,22	4' 30"

MÓDULO N.º 4.

27,8 litros por 1'' = 100^{litros}hm.

Carga.	Gasto.	Tiempo.
Metros.	Litros.	Min. Seg.
0,16	27,42	3' 39"
0,25	27,58	3' 38"
0,36	27,74	3' 37"
0,49	27,74	3' 37"
0,64	27,91	3' 36"
0,81	27,91	3' 36"
1,00	27,91	3' 36"

»En el primer renglon se indica el gasto teórico que, segun el cálculo. debe dar cada uno de los módulos, y á continuacion se ve en las respectivas columnas el gasto efectivo que produce cada uno de ellos, con alturas de agua sobre el orificio que varían desde 1 metro hasta 0,16 metros, es decir, las que podrá haber en el canal desde que esté completamente lleno hasta que se halle casi desocupado.

»Examinando estos resultados, se advierte que el tiempo en que se llena el estanque de aforo con cada uno de los módulos es el mismo bajo las diferentes cargas, pues

las pequñisimas diferencias que se advierten deben atribuirse, más que á la imperfeccion de los aparatos, á los pequeños errores de observacion inevitables en esta clase de experimentos, por grande que sea la escrupulosidad con que se practiquen. Esto se comprueba observando que las pequeñas diferencias que resultan en los tiempos no pasan de cuatro segundos, y son casi las mismas cuando el depósito ha tardado 20' en llenarse que cuando se ha llenado, en lo cual parece indicar que el error está en la apreciacion de los momentos precisos de empezar y de terminar la operacion.

»En todo caso, los errores, si fuesen apreciables por no haberse construido la péndola con la debida exactitud, pueden disminuirse prácticamente cuanto se quiera, engrasándola ó adelgazándola ligeramente en los diámetros en que se note exceso ó defecto en la cantidad de agua. Pero los resultados consignados en la tabla anterior demuestran que, aun sin esas correcciones, el aparato puede considerarse como perfecto, y ofrece un grado de exactitud muy superior á lo que requiere el objeto á que ha de aplicarse.

»Este módulo reúne todas las condiciones que se exigian al proponer el próblema de la exacta distribucion de las aguas de un canal, á saber:

»1.^a Que da en tiempos iguales cantidades iguales de agua, cualesquiera que sean las variaciones de altura del líquido dentro del canal y la velocidad de la corriente.

»2.^a Que es completamente automóvil, graduándose por sí mismo sin que haya necesidad de tocarle.

»3.^a Que el aparato está dispuesto de manera que los usuarios del agua no pueden llegar á él para aumentar ni disminuir la salida.

»4.^a Que su disposicion es sencillisima, lo que le hace fácil de manejar, y no sujeto á desarreglos ni deterioros.

»5.^a Que para su establecimiento basta un pequeño edificio de 4 á 5 metros de superficie, ó un simple pocillo de registro de muy poco coste, y fácil de construir en cualquier punto del canal.

»6.^a Que el aparato es susceptible de toda la exactitud que se desee, la cual depende del esmero con que se construya.»

Tales son esencialmente las condiciones que propone Nadault Buffon en su tratado de *Hidráulica agricola* (tomo I, pág. 446, edicion de 1861), y despues de enumerarlas, dice:

«Todo módulo que sea capaz de satisfacerlas, podrá reputarse como perfecto; pero en realidad esto no existe todavía, y debemos por ahora limitarnos á mirar como se mejor entre los aparatos de esta especie al que realice, si no toda, el mayor número de las espresadas condiciones.»

«Cuando se haya demostrado prácticamente que el nuevo módulo reúne todas estas ventajas, puede esperarse que se ha de generalizar, y que su aplicacion llegará á hacerse obligatoria, á lo ménos para las concesiones de agua que se hagan en lo sucesivo, ya que no para regularizar las existentes por la poderosa resistencia que á ello opondrian todos los que se aprovechau de los actuales abusos.

»En el pequeño trozo de 150 metros de longitud que tenemos construido de la acequia del Sur, se han establecido dos módulos de esta especie, que están funcionando con la más perfecta regularidad hace algunos meses para suministrar el agua de las dos únicas conce-

siones que hasta ahora se han hecho para riegos.

»La cámara del módulo (*figs.* 88, 89 y 90) es un pocillo rectangular *a b c d* de 1 metro de anchura por 1,20 de longitud y 1,27 de profundidad, y está cubierta con una trampa de palastro que se cierra con llave. Esta cámara, abierta completamente por el costado *a b* adyacente al canal, deja entrar libremente las aguas sin velocidad sensible, de modo que el flotador del módulo se ve perfectamente inmóvil en medio del pocillo, como si el agua estuviese en perfecto reposo. Las figuras 86 y 87 manifiestan claramente la disposición de la péndola y del flotador; así como la caída del agua á la cámara inferior del módulo, y su paso á la tajea ó brazal de riego. A la entrada del agua en la cámara hay una rejilla de metal *m n*, que impide la introduccion de cuerpos extraños. Esta rejilla evita al mismo tiempo que nadie pueda pasar desde el canal á la cámara del módulo.

»Cuando este haya de dar salida á una cantidad muy considerable de agua podrá producirse una corriente perceptible, y tal vez se ocasionará algun movimiento de oscilacion en el flotador y en la péndola; pero en los experimentos hechos para examinar este caso hemos visto que la agitacion del agua no produce diferencia sensible en el gasto, ocasionando solo en la péndola un desvío del centro del orificio, que hace variar la forma de la superficie anular de salida del agua, pero no su magnitud.

»El mayor módulo que hasta ahora hemos ensayado es el de 100 horámetros, cantidad de agua que basta para regar otras tantas fanegas de tierra. Tal vez se ofrezca en lo sucesivo establecer otros mayores; pero esto no puede presentar dificultad ni inconveniente alguno, pues la teoría del módulo se aplica á cualquier cantidad

de agua que haya de pasar por él. Sin embargo, como la contraccion de la vena flúida podrá sufrir en esos casos alguna alteracion, será conveniente hacer previamente nuevos experimentos para introducir en la fórmula la variacion que pueda ser necesaria.

»En los dos módulos que están ya funcionando, los flotadores son de laton y las péndolas de bronce para evitar los efectos de la oxidacion dentro del agua. El orificio que da salida al agua está abierto en una chapa de bronce de 2 milímetros de grueso.

»Adoptado el módulo que debe dar con exactitud la medida del agua, queda la cuestion de escoger la unidad de medida que debe adoptarse para la distribucion.

»Infinitas son las unidades que se usan para la medida de aguas, como son real de agua en Madrid, muela, fila teja en Valencia, Múrcia y Alicante, y pluma en Cataluña, suscitándose por esta causa varias cuestiones en la distribucion.

»Fundados en estas razones, una comision de Ingenieros estudió por encargo de la Direccion general de Obras públicas un informe, en el que propuso que para medir el caudal de los rios y canales de navegacion, se adoptase por unidad el metro cúbico por segundo; para las aguas de riego el metro cúbico por hora, y para la distribucion de las aguas potables el metro cúbico por dia.»

El Sr. Ribera, Inspector general de caminos, canales y puertos, dice en su excelente *Memoria sobre riegos de los campos de Madrid*:

«En cuanto á las aguas de riegos, en primer lugar conviene adoptar por unidad de tiempo la hora, para acomodarnos á las costumbres generalmente establecidas en los riegos, y tomando por unidad de olámen el

metro cúbico, tendremos una unidad compuesta, que podremos llamar *horámetro*, y escribiremos así: 1 hm. , y que representará una corriente continua que suministrará 1 metro cúbico en cada hora.

»Sus relaciones con las unidades actuales son las siguientes:

$1 \text{ hna.} = 1 \text{ met. cúb. por hora.}$		$1 \text{ m cub. por seg.} = 3600 \text{ hm}$
$= 0,2777 \text{ lit. por segundo.}$		$1 \text{ litro por seg.} = 3,6 \text{ hm}$
$= 7,394 \text{ reales font.}$		$1 \text{ real fontanero} = 0,135 \text{ hm}$

»De este modo las tierras que necesitan solo $\frac{1}{4}$ de litro por segundo y hectárea, consumirán próximamente 1 horámetro por hectárea; las que requieran $\frac{1}{2}$ litro gastarán 2 horámetros; las que 1 litro, de 3 á 4 horámetros, y las que 2 ó 3 litros, de 7 á 11 horámetros.

»Es conveniente que la unidad de medida para el riego sea, como lo es esta, más bien pequeña que grande, para evitar números fraccionarios en cuanto sea posible en las concesiones, que en su mayor parte serán muy moderadas, tanto por la gran subdivisión de las fincas en las afueras de Madrid, como por el precio del agua, que no puede ser tan barato como en otras provincias.

»La cantidad de agua que da esta medida es además muy proporcionada á las costumbres actuales del regadío, puesto que 1 horámetro produce al día 24 metros cúbicos y 168 á la semana; y por consiguiente, con riegos semanales de 5 centímetros de altura, que es la veinteava parte del metro cúbico, podrán regarse 3.360 metros cuadrados, ó muy próximamente una fanega del marco de Madrid, que equivale á 3.424 metros cuadrados, ó sean 44.100 piés superficiales.

»La tanda del riego de 7 en 7 días me parece un tér-

mino medio muy aceptable, entre las tandas de 3 ó 4 días y las de 15 ó 21 que se hallan establecidas en diferentes localidades. Este turno semanal es el que se observa en los riegos del canal de Marsella, y tiene en la práctica ventajas incontestables.

»Determinado el modo de tomar el agua en la acequia y la unidad de medida, parece conveniente explicar el método que debe seguirse para hacer el repartimiento entre los regantes.

»Cada uno de los brazales que han de llevar el agua á las tierras regables conducirá un caudal constante é invariable, graduado por un módulo, y que será la suma de las cantidades pedidas por todos los regantes que hayan de surtirse del brazal. Así pues, suponiendo que el pedido total sea por ejemplo de 200 horámetros, el brazal deberá llevar 200 metros cúbicos por hora.

»Ahora bien, supongamos que el primer usuario del agua, que será el que tenga su tierra más próxima á la acequia, haya adquirido 30 horámetros, que en una semana, que es la tanda del riego, dan 5.040 metros cúbicos, producto de 30 metros por las 168 horas que tiene la semana; pero como esa cantidad de agua hay que dársela al propietario en una sola vez á la semana, es necesario que los 200 horámetros del brazal estén corriendo para su tierra 25 horas y 12 minutos, puesto que 25 horas y 2 décimas multiplicado por 200 da 5.040 que es el número de metros cúbicos que le corresponden.

»Si el dueño de la segunda tierra estuviese suscrito por 60 horámetros, podría disponer de toda el agua del brazal durante 50 horas y 24 minutos, y así sucesivamente; de modo que al cumplirse los 7 días, habrá tomado cada regante el número de horámetros que le corresponden, volviendo á empezarse la tanda el mismo día de la

semana, lunes, martes, etc., que se comenzó la anterior, atendiendo además á la justa alternativa de los riegos de día y los de noche.»

Módulo del canal derivado del rio Henáres, provincia de Guadalajara.

El módulo adoptado en dicho canal, ideado y dispuesto por el entendido Ingeniero Director de las obras Mr. George Higgin, á pesar de la novedad que ofrece, reúne en sí las condiciones que hemos expresado deben tener esta clase de obras reguladoras y satisface á los principios de hidráulica, en las que deben estar basadas.

Vamos á dar una idea de dicho aparato y el modo de funcionar.

Las aguas del canal principal comunican con los secundarios por medio de una exclusiva construida de mampostería (*figs.* 91, 92, 93 y 94). En el muro de frente *B* hay una compuerta representada en las *figs.* 91 y 92. Abierta esta, el agua pasa á la cámara *C* (*fig.* 94), y desde esta á la segunda *D*, en la que se halla fijo el derrame. El agua al pasar del canal alimentador á la primera cámara de la compuerta, efecto de encontrar una seccion más reducida, lo hace con fuerza, produciendo en la cámara *C* un hervidero; el que queda amortiguado al penetrar en la segunda cámara *D*. En efecto, la comunicacion entre las dos cámaras es por medio de un muro *mn*, que tiene ocho pequeños vanos de 0,14 m. de luz cada uno (*fig.* 93), por lo que el agua llega á la referida cámara *D* con muy poca velocidad y sumamente tranquila.

En el muro de derrame *E* (*figs.* 92 y 94), hay un hier-

ro en forma de cuchilla de 2 metros de longitud, sobre la que el agua pasa suavemente, con cuya disposición permite el paso de una lámina de agua de 176 litros por segundo.

La luz de la compuerta es de 0,60 m. por 0,60 m.

La maniobra se ejecuta del modo siguiente: el guarda encargado de los riegos tiene orden de conservar las aguas del canal secundario á una altura determinada, según nota que obra en su poder, y que señala la escala fija que está empotrada en uno de los muros de la cámara *D*. El cero ú origen de la escala se halla al mismo nivel que la cuchilla de derrame; de modo, que el guarda puede regular la altura del agua, abriendo ó cerrando la compuerta, según suba ó baje el caudal alimentador, pudiendo con igual facilidad lo mismo el empleado que los regantes conocer la verdadera dotación de agua que distribuye el canal.

Las compuertas se abren ó cierran por medio de grandes tornillos y llaves colocadas al efecto.

También se han establecido otro módulo más sencillos que el descrito, y que sirve para la distribución de aguas entre los regantes de los canales secundarios á las regueras particulares, cuya disposición representan las figuras 95 y 96. Fundado en los mismos principios que el descrito anteriormente, su modo de funcionar es igual; de modo que el agua del canal secundario pasa á la cámara *A*, y luego á la *B* al través de los vanos del muro *C*, llegando por tanto el agua con perfecto quietismo. La cámara *B* tiene dos vanos, uno que puede considerarse como continuación del canal, y el otro como boca de entrada de las regueras. Ambas están provistas de sus compuertas y vanos, efectuándose la descarga en partes proporcionales.

Si observamos que con el módulo propuesto (*Fig.* 91 á la 94), la cantidad de agua que da es siempre la misma, sea cual fuere el nivel de la del canal, que puede manejarlo una persona sin inteligencia; si atendemos á su fácil inspeccion, á la poca pérdida de agua, el pequeño espacio que ocupa y su exactitud en la apreciacion del canal, todo ello nos demuestra que reúne las condiciones establecidas para esta clase de aparatos.

En los fondos de las cámaras se formarán depósitos de lúgamos y arenas, pero pueden extraerse con comodidad y facilidad. Queda solo por estudiar la economía en su construccion, pues los ejecutados han tenido bastante coste.

Terminaremos esta reseña dando un ligera idea del modo como se reparte el agua entre los regantes.

El terreno regable está dividido en varias zonas de 300 á 350 hectáreas cada una, cuya superficie recibelas aguas por medio de un canal secundario, el que á su vez las toma del canal principal por medio de uno de los módulos descritos, establecido en su origen.

Al principiar la estacion de riego, cada regante manifiesta al jefe del canal la cantidad de agua que necesita para regar sus tierras, época y duracion de los riegos, extension del terreno, etc.; todo arreglado al modelo que se facilita al efecto.

Con los referidos datos puede determinarse el caudal constante que debe conducir cada uno de los canales secundarios, y que será igual á la suma de las cantidades pedidas por los regantes de la zona; así para 300 hectáreas, la dotacion debe ser $300 \times 0,45 = 135$ litros por segundo.

Supongamos que el primer regante, que naturalmente será el más inmediato al módulo, haya adquirido el

agua necesaria para regar seis fanegas de tierra ó sean 386 árcas 37m. Teniendo en cuenta que dicho canal se ha calculado por riego y hectárea en volúmen de 450m.³ de agua, resultará que el referido propietario necesitará 1.739m.³, y si es conveniente dársela toda á la vez, deberá dejarse el agua entrar en sus tierras por el término de 3^h. 34m.; terminado lo cual, puede todo el caudal pasar á los terrenos del segundo propietario, y así sucesivamente; de modo, que en virtud de lo expuesto, y contando que durante nueve meses del año el canal principal tiene una dotacion de 5.000 litros, y en los tres restantes de 3.000, resulta que puede asegurarse un turno cada once dias en el primer caso, y cada diez y nueve en el segundo.

El jefe del canal en presencia de los pedidos, sabe y puede calcular el caudal de agua que se necesita, y la distribuye dando al guarda una nota de la altura que deben tener los módulos, tiempo que deben estar abiertos, segun los riegos y caudal disponible.

Completan el sistema un plano parcelario, en el que consta exactamente la cavidad de cada terreno, nombre del propietario y módulo de que se sirve; un libro talonario de órdenes para dar riegos; una libreta-registro que obra en poder del guarda, en la que se hallan anotadas las disposiciones del jefe, ya sean diarias ó semanales, así como los riegos suministrados, papeletas-órdenes del registro; en fin, datos que creemos útiles para establecer orden, claridad y sencillez para el reparto de las aguas.

El Ingeniero de Caminos Canales y Puertos D. José A. Rebolledo, deseoso de contribuir en lo posible á mejorar las condiciones de establecimiento y explotación de los canales de riego, ha propuesto un módulo muy

ingenioso, cuya descripción se ha publicado en la *Revista de Obras Públicas*, que parece satisfacer, según la teoría en que se haya basado, á las condiciones que hemos expresado, pero que, sin embargo, como no se ha hecho aplicación práctica, no puede asegurarse esté exento de correcciones y modificaciones.

Para terminar, diremos que, según lo dispuesto en la ley sobre el aprovechamiento de aguas, toda concesión debe fijar en metros cúbicos ó en litros por segundo de tiempo la cantidad de aguas, de modo que el metro cúbico ó el litro es la unidad de medida que debe adoptarse para la distribución, teniendo presente cuanto sobre el particular establece la expresada legislación.

PARTE TERCERA.

CAPÍTULO XV.

Precio del agua.—Cánon anual en diferentes canales.

Estudiadas con la debida extension las circunstancias relativas á la construccion de un canal y sus diferentes obras, pasemos á tratar del precio que debe darse al agua, ó sea el cánon que deberán pagar los regantes.

Para fijar dicho dato, debe atenderse á varias circunstancias, por lo que no puede admitirse una solucion fija y absoluta.

El precio del agua varía considerablemente, influyendo en su valor una infinidad de circunstancias; tales son: la procedencia de las aguas, ya sean de rios, canales ó pantanos; su escasez ó abundancia; medios de conduccion naturales ó artificiales; derechos adquiridos por los regantes; clase de cultivo, mayor ó menor dificultad de la construccion de las obras, y por tanto su costo; en fin, datos que varian al infinito, pero que deben tenerse presentes antes de resolver una cuestion que es de la mayor importancia.

En tiempo de la dominacion árabe, época en la que se construyeron varios canales de riego en las vegas de Granada, Murcia, Valencia y Aragon, no se pagaba na-

da por los riegos; solo una tasa para la conservacion y limpia de acequias.

Así continuó hasta en la época de la Edad media, siglos XII y XIII, en la que se dictaron ya algunas disposiciones particulares estableciéndose algunas cargas para los regantes, dando esto origen á las ordenanzas de riegos para el Guadalquivir, Túria, Mejares y las huertas de Murcia y Orihucla. Sucesivamente, y adoptando los principios y bases de aquellas, se han reformado algunas y se han hecho otras, hasta que hoy tenemos una infinidad de reglamentos y ordenanzas, en las que se establecen algunos cánones que pueden servir para dar una idea muy exacta del modo de apreciar el valor del agua, segun las condiciones antes citadas.

Además de los antecedentes expresados que pueden servir de consulta; así como la tabla que damos al fin de este capítulo, es preciso tambien recurrir á la práctica. En efecto, para poder fijar con alguna exactitud el precio que debe darse al agua deberemos antes observar ó averiguar la cantidad que por término medio se emplea en el riego de una hectárea de terreno en la zona que se trata regar, así como el número de riegos, aunque sea aproximado, que necesita la referida superficie de terreno, que por regla general no debe ser menor de tres en los cereales y doce en los demás casos. Creemos que el precio de los riegos, siempre que sea mayor de tres, debe decrecer á medida que se empleen más de ellos en la misma tierra.

Si hay algunos terrenos que se riegan por medio de máquinas que elevan el agua, como por ejemplo la más generalizada, que es la noria, hay que observar, con relacion á la profundidad de los pozos, el coste á que resulta el riego de una hectárea de terreno; verificando

experimentos semejantes en caso de hacerse uso de otras máquinas elevatorias.

Segun hemos dicho en el capítulo VI, en el que se trata de la utilidad de los riegos, las tierras de secano hechas de regadío aumentan en general su valor en venta hasta tres, cuatro, seis y más veces respecto al que tenían, por lo que el cánon debe estar en proporcion á dicho aumento de valor y producto. Además, la facilidad en el trasporte de estos, y por tanto su salida, es otra circunstancia que debe tenerse presente.

Al valor de las obras del canal que hemos indicado debe agregarse el coste de conservacion y vigilancia, administracion, etc., etc.

Todo debe tenerse presente, pero sin perder de vista que con el objeto de extender en toda la latitud posible tan útiles como indispensables obras, cual son los canales de riego, debe ofrecerse á los propietarios ó regantes las mayores ventajas imaginables para estimularlos al uso del riego. Por fin debe partirse del principio que es preferible atraer á los regantes por medio de un precio muy moderado, pues así darán mayor número de riegos, siempre que lo permita el caudal de aguas, que no exponerse á hacerlo odioso por medio de gravámenes y subido cánon.

El cánon debe ser un tanto por volúmen de agua gastada en un tiempo determinado.

Para deducir dicho tanto hay que tener presente cuanto hemos expuesto; la apreciacion del volúmen y tiempo será fácil deducirlo por medio de los módulos y unidad adoptada.

Sin embargo, no por eso debe desde luego aceptarse su precio, pues esto podria dar lugar á perjuicio, y creemos que el fijar definitivamente aquel, solo puede

ser despues de varios tanteos prácticos y comparaciones en casos análogos, sin olvidar que para tan interesante cuestion debe tenerse conocimiento exacto de la cabida de cada una de las tierras que los regantes cultiven.

Por cuanto dejamos dicho queda demostrado la imposibilidad que hay para admitir una solucion determinada; pero dejamos expuestas las bases y condiciones, cuya aplicacion dará por resultado el cánon aceptable, el verdadero precio del agua en cada caso. Nadault de Buffon opina que el precio máximo que debe darse por riego y hectárea es el de 76 rs.

Segun puede deducirse de la tabla que damos en este capítulo, no hay precio alguno que llegue á dicho máximo, y creemos que no seria aceptable sino en circunstancias muy especiales.

Hemos indicado la conveniencia de que se hagan observaciones sobre el coste de los riegos por medio de máquinas elevatorias, para de ellas deducir el precio del agua en una localidad determinada, sin separarse por eso de los principios que hemos establecido.

Rosier dice en su *Curso de Agricultura* que una noria con una mula que trabaja continuamente dos horas y descansa otras dos saca al dia de 4 metros de profundidad 94m^3 de agua, que, dando á los gastos su valor medio, resulta el precio de un metro cúbico de agua 0,16 de real, y por tanto, calculando en 400m^3 de agua la necesaria para su riego, este tendrá de coste por hectarea 64 rs.

Concretemos más la cuestion: en las llanuras de la Mancha tenemos Daimiel y Manzanares, que se hallan rodeados de 8 ó 9.000 pozos para norias, y segun experiencias practicadas se deduce que la profundidad media es de $11,50\text{m}$.

Una caballería regular eleva en una hora 9.504 litros; pero á causa de la mala disposicion de las máquinas usadas en el país, el efecto útil es de 0,52 m. del total, ó sea 5.064 litros por hora.

Para regar una hectárea de terreno con una lámina de agua de 0,04 m. de altura, segun costumbre general del país, se necesitan 400m.³, que se elevarán, segun lo expuesto, en $\frac{400.000}{5.064} = 79$ horas próximamente.

Veamos los gastos por hora, y de ellos deduciremos el precio á que resulta el riego por hectárea.

Para que el riego sea en buenas condiciones, debe elevarse el agua sin interrupcion; por tanto, se necesita por lo ménos dos caballerías, á fin de que se releven de dos en dos horas, un peon por el dia y otro por lanoche; siendo así, tendremos:

Por el tanto por ciento que corresponde al valor	
de dos caballerías al dia.	1,70
Manutencion y arreglo.	14,00
2 peones.	10,00
Conservacion de la máquina (1.000 rs.) 10 por	
100.	0,27
Atalajes, cangilones y gastos.. . . .	0,73
	<hr/>
Coste diario.	26,70

Resulta un gasto por hora de 1,112 que, dividido por 5.064 litros, nos da el coste de un metro cúbico de agua, que es de 0,22 rs., y el riego de una hectárea, ó sean 400m.³, será 88 rs.

Segun hemos expuesto en el capítulo VI, para la cosecha de trigo y cebada son necesarios tres riegos de unos 750m.³ por término medio cada uno, de donde re-

sulta que con las norias usadas en Manzanares, el coste total de los tres riegos será 2250m.^3 de agua, á 0,22 rs. el metro cúbico, dará 495 rs.

Hay norias perfeccionadas con cangilones de doble vertedera, cuyo efecto útil es mayor, pero, segun datos experimentales, el precio del metro cúbico de agua elevado segun las mismas condiciones, es el de 0,16 rs., y el riego de una hectárea, ó sean 400m.^3 de agua, 64 reales.

Con una bomba de tres cuerpos movida por una cabañería, nos ha dado 0,14 rs., y el de la hectárea 56 rs.

Si se emplease una locomóvil, creemos que se obtendría, á poca diferencia, el mismo resultado que en la anterior, por el capital que exige de compra, conservacion, gasto de combustible y otros que solo permiten que sea aceptable cuando la locomóvil se aplica á otros trabajos agrícolas.

Comparando estos resultados prácticos con los precios que tenemos en la tabla, se ve que estos son mucho menores que aquellos, calculados por anualidad, y si á ello se agrega el de verificarse el riego con mejores condiciones, de ello deduciremos la inmensa ventaja que tiene cuando se verifica por medio de un canal.

De todo lo expuesto resulta que la cuestion del precio del agua queda reducida á un problema de anualidades é interés, en el que debe tenerse presente lo consignado en este capítulo, y además las garantías que el gobierno ofrezca.

Tabla que demuestra los precios que se pagan por riego de una hectárea en diferentes países, tanto en España como en el extranjero.

LOCALIDADES.	Cánon anual por hectárea.
España.—Canal de Llobregat.	61 á 204 rs.
Canal Imperial de Aragon; pagan además de los derechos de alfardilla, que son muy variables.	63
Canal de Urgel.	229
Vegas de Málaga.	229
Vegas del Tajo, Tajuña y Henares; el cánon propuesto por los mismos propietarios.	344
Canal del Henares, en la provincia de Guadalajara; precio máximo.	344
Canal del Esla á Leon, segun los cultivos.	78 á 389
Huertas de Valencia; la tasa y el cequiaje importan aproximadamente.	30
Lorca; el término medio.	240
Almansa; calculando tres riegos.	36
Granada: por riego y cequiaje, término medio.	50
Vega del Jalon, en Calatayud; por alfarda.	67
Acequia del Jarama.	43 á 266
En Aranjuez.	85 á 128
Acequia del Tajo ó del Colmenar.	90 á 243
Canal de riego para los campos de Madrid; cánon propuesto.	233
Francia.—En el Mediodía se paga.	90 á 100
Canal de Marsella.	228

En los canales de Bazer (Garona) y del Brillane (Bajos Alpes).	120
Canales de Criñon y Aviñon.	80
Canal de Crapone.	46 á 136
Canal de los Alpinos.	30 á 380
Canal de Carlos Alberto.	100
Canal del Naviglio Grande (Milanesado).	54

Fuerza motriz.—Dando á los canales las pendientes que hemos indicado en el capítulo VII, puede presentarse el caso de descender rápidamente, y entonces se forma un salto por medio de una esclusa, aprovechándose la caída del agua como fuerza motriz para dar movimiento á establecimientos industriales.

El efecto de las máquinas se aprecia por medio del caballo de vapor ficticio ó hipotético, unidad que varía entre algunas naciones, y aun entre mecánicos, pero que la más adoptada y generalizada es la francesa, equivalente á 75 kilogramos levantados á un metro de altura por segundo, cuya unidad dinámica se expresa por 75 kilográmetros.

El Sr. Ribera, en su ya citada Memoria, propone que para el canal de Madrid la unidad dinámica sea el hectolímetro, ó sean 100 metros por segundo, cayendo de un metro de altura, por lo que 100 litros equivalen á 100 kilográmetros.

La equivalencia de esa nueva unidad con el caballo de vapor la deduce diciendo que, graduándose este en 75 kilográmetros, y restándose de los 100 disponibles 25 centésimas por las resistencias pasivas, resultará que para aprovechar la fuerza de un caballo de vapor, se necesitará un hectolímetro de agua.

Para el precio á cánon anual que podrá exigirse sigue el mismo principio que hemos expuesto, respecto del

riego, esto es, averiguar el coste que tiene un caballo de vapor, y de ello resulta que en Madrid es de 4.400, y rebajando la tercera parte da al hectolímetro el precio de 3.000 rs.

En Marsella se pagan 1.045 rs. por los 100 kilogrametros.

En el canal Imperial de Aragon, 100 rs. al año por caballo de vapor: el mismo que asignan en el proyecto de mejora y encauzamiento del rio Jalon, en las vegas de Calatayud.

En algunos establecimientos industriales hemos podido obtener que el gasto minimum de combustible era de 1,50 á 4 kilogramos.

Su precio varia segun las localidades entre 9 y 15 reales el quintal, lo que nos da un término medio de 0,30 reales el kilogramo, que en diez horas de trabajo diario resultan próximamente 3.000 rs. el coste por año de un caballo de vapor.

Por tanto, si tenemos en cuenta que para el riego en la mayor parte de casos se ha reducido su coste á un 50 por 100 haciéndolo por medio de un canal, que el volumen de agua que se emplea como fuerza motriz, vuelve casi todo á él; atendiendo por otra parte al beneficio que reporta el establecimiento de artefactos y el que disfrutan los pueblos con la concurrencia de la industria, creemos que en la mayor parte de casos no debe exigirse mayor cantidad de 1.500 rs. por cada caballo.

Reasumiendo, diremos que lo que creemos más aceptable como precios para los riegos, es un tanto por riego y hectárea.

Y para la fuerza motriz, el precio medio indicado por caballo.

PARTE CUARTA.

CAPITULO XVI.

Empleo de las aguas de riego

Se distinguen cinco métodos principales de riego, que son: por inmersión, por inclinación, por infiltración, por regueras en pendiente y por terrenos dispuestos en arriates.

Sea el que quiera el método adoptado, es preciso que se tenga presente siempre este principio elemental de todo riego bien hecho: «*El agua debe poder llegar á todas partes y no estancarse en ninguna.*»

El método más sencillo y que menos cuidados requiere es el del riego por *sumersion* ó por *inundacion*. Consiste en inundar toda la superficie del terreno, con una capa de agua de mayor ó menor altura, dejándola estancada más ó menos tiempo, segun la estación, de modo que los terrenos la absorban en cantidad suficiente.

Es practicable en los terrenos que tengan poca inclinación, ó que sean casi horizontales. La tierra regable se rodea por medio de un simple caballón ó camellón de tierra ó tepe, de modo que forme receptáculo para el

agua de que se dispone, la que entra por la parte superior.

Cuando el agua ha permanecido en el terreno y se cree que es suficiente, se le desagua por medio de canales de madera con sus correspondientes vanos, situados en el dique más bajo.

Si el terreno presenta cierta inclinación se le prepara por bancos horizontales formando escalones, en cuyo caso, cada bancal recibe del inmediato el agua estancada en los bancales superiores. Si el caudal de agua lo permite, se pueden regar á la vez todos los bancales. Cuando el bancal superior se halla cubierto de una capa suficiente de agua, entonces se cierra el orificio de alimentación que se halla en el diquecito inferior de la tabla ó bancal superior, repitiéndose la misma operación para cada tabla. La superficie de las tablas ó compartimentos no debe exceder de 1.600 á 2.500 metros. Según se ha indicado, este sistema de riego no debe aplicarse más que á los terrenos que presenten pendientes suavísimas, esto es, de 0,02 m. por metro; de lo contrario los camellones estarían tan próximos que serían perjudiciales á los trabajos agrícolas. La capa de agua que debe emplearse puede variar entre 0,06 m. y 0,15 m. según la mayor ó menor permeabilidad del terreno. La altura de los camellones varía de 0,20 m. á 0,30 m. La separación entre sí ó la menor longitud en sentido de la pendiente máxima debe ser de 30 á 40 metros.

En este sistema de riego, así como en los demás, hay necesidad de disponer el terreno de modo que no conserve más humedad permanente que la que le es indispensable, sin cuyas precauciones se trasformaría involuntariamente en terreno pantanoso un prado ó terreno mediano.

Si se desea asegurar completamente el saneamiento del terreno despues de los riegos, basta para ello disponer en cada compartimento dos ó tres órdenes de tubos de drenaje, cuyas embocaduras se pondrán en comunicacion con los orificios evacuadores situados en los camellones de la parte inferior de los bancales. El extremo superior de dichos tubos estará sentado á unos 0,40m. bajo la superficie del terreno y el inferior á 0,50m. lo ménos, de modo que presente una pendiente capaz de asegurar la salida del agua que esté detenida y no pueda absorber el terreno.

Además, hé aquí lo que M. Pareto dice en su *Manual sobre la práctica de los riegos* respecto del método por sumersion.

Por la disposicion de los camellones se presentan dos casos distintos; uno cuando el terreno es próximamente horizontal, ó que tiene una pendiente uniforme; y el otro cuando forma como un pequeño valle.

Si el terreno, por su pendiente, presenta un plano, ya sea horizontal, ya inclinado, se divide el terreno, segun su cabida y el caudal de agua disponible, en cierto número de compartimentos, situados como un tablero del juego de damas. Si el terreno tiene mucha longitud, siguiendo una línea trazada de nivel, se la divide en compartimentos y cada uno de estos en otra hilera.

Si la diferencia de nivel entre el punto más elevado y el más bajo es mayor de 0,40m, el terreno comprendido entre dichos puntos, y en el sentido de la máxima pendiente se divide en varios compartimientos, pudiendo obtener varios órdenes de ellos.

El canal de riego debe seguir la orilla superior de la primera tabla y estar en terraplen, de modo que su fondo sea el terreno natural, permitiendo pueda derra-

mar toda el agua en las tablas de terreno. El perfil transversal de dicho canal varía según las circunstancias y forma del terreno, debiendo siempre tener suficiente pendiente para su desagüe.

Para cada compartimiento se necesitan dos vanos, uno en el canal para tomar el agua y otro en el cajero del canal, que tenga una abertura para darle paso al compartimiento que se desea regar, cuyo vano puede remplazarse por una compuerta ó parada que sin debilitar el cajero produzca el mismo efecto.

Si la pendiente del canal es fuerte y considerable el gasto del agua, será conveniente hacer en el prado é inmediato á la salida del agua un pequeño depósito ó alberca, defendido por faginas ó estacadas con el objeto de que la fuerza del agua no arrase el terreno regable.

Los camellones que limitan los compartimientos, por lo general se hacen según un perfil de pendientes iguales, dándole 1 ó 1 $\frac{1}{2}$ de base por uno de altura, disposición viciosa y que hace perder terreno, siendo muy difícil la siega en los taludes á ménos que se emplee la hoz.

Por esta razón hemos adoptado otro perfil que nos ha dado buen éxito. Consiste en establecer el camellón según lo practicaríamos para una semi-tabla, dándole 10 á 15 de base por 1 metro de altura á su latitud interior; con cuya disposición se pierde la mitad menos de terreno, y el talud se riega mejor. La cresta del camellón debe elevarse de 0,10m á 0,15m sobre la superficie del agua que inunda el campo, y estar casi de nivel en todo el desarrollo de su longitud. De lo que se deduce que cuando el terreno es horizontal, está rodeado por todos lados de un camellón, y que el fondo del canal de conducción debe estar más alto que el terreno regable del

espesor total de la capa de agua que se quiera verter. Esta disposicion se presenta raras veces.

Cuando el terreno se halla en pendiente el camellon debe tener más altura, en la direccion más baja, viniendo á morir casi á nada, en la parte donde el canal de conduccion sigue la orilla del campo.

En general, cuando el terreno presenta dicha disposicion, tiene una forma casi trapezoidal; en la parte superior se halla el canal de conduccion y los otros tres lados cerrados por caballones.

La parte más baja del terreno, que corresponde á la más alta del camellon, está cortada y cerrada ya por un parádero, por cuya abertura debe salir el agua despues del riego, bien sea para verterla en el escorredero, ó para regar otro compartimiento. Si abunda el agua y el desagüe es continuo, se puede hacerla pasar por encima del vano y regar los dos compartimientos á la vez.

Con el objeto de facilitar el derrame de las aguas, casi siempre es preciso establecer pequeños escorrederos que convergen en dicha abertura.

Dichos escorrederos, semejantes á los ya descritos, afectan en lo general la forma de los ródios de una estrella, que convergen todos en dicha abertura, bifurcándose algunas veces. En este caso es cuando se conoce lo ventajoso que es el poder obtener un salto ó diferencia de nivel de 0,15m á 0,20m, entre el fondo de un compartimiento y el punto más alto del que le sigue y que debe recibir su agua; pudiendo así disponer los escorrederos, de modo que su fondo corresponda al terreno regable en el siguiente compartimiento, desaguándose completamente sin esperar que el riego se haya terminado por completo en todas las tablas.

La disposicion de los camellones ó su proyeccion ho-

rizontal difiere mucho cuando la forma del terreno es la de un valle. Su perfil es el mismo, aproximándose más ó ménos por su forma á la de una semi-circunferencia. En el fondo del valle se establece un escorredero, donde vienen á derramar sus aguas otros escorrederos.

Si el terreno tiene dicha disposicion, sucede con frecuencia que se repiten sucesivamente los compartimientos en el mismo valle, y aumentando algunas veces su superficie, en cuyo caso el canal de conduccion se dirige directamente al primer compartimiento, sin bordear sus orillas. Entonces lo que se hace es cruzar todos los compartimientos sucesivos por el canal de conduccion, que sirve tambien de escorredero, pudiendo regar el compartimiento que se desec independientemente de los demás, disposicion útil cuando se quiere cultivar cada compartimiento cierto número de años en pradera, sembrándola despues durante dos ó tres años como tierra de labor. Otras veces, á los dos lados de los compartimientos y por sus orillas corren uno ó dos canales de conduccion, pudiendo regar el que se quicra, pero es preciso establecer un tercer canal en el fondo del valle que reciba el agua de los escorrederos; disposicion utilísima cuando los aluviones arrastran gravas estériles sobre los prados; cuyas aguas torrenciales se detienen en las zanjias de conduccion, ó bien cuando hay manantiales que pueden aprovecharse en el trayecto.

En este sistema el trazado del canal de conduccion ninguna particularidad ofrece; su perfil es el mismo que en los demás sistemas; esto es, con los mismos vanos y zanjias para la escorrente.

Los pequeños escorrederos son tambien parecidos á los ya citados. Cuando el terreno es llano, creemos que es mucho trabajo trazarlos desde luego de nivel, adop-

tando el método de no hacerlo hasta que los camellones estén terminados y se pueda echar el agua en cada compartimiento y desaguarlo. Despues señalaremos los sitios que se agotan con dificultad, ó que conservan el agua estancada, averiguando de este modo si es necesario cruzarlo con un escorredero.

Entonces es cuando se deben trazar las regueras, auxiliándonos por medio del nivel en aquellas partes cuya pendiente no se declare visiblemente. El trazar así los escorrederos nos economiza trabajo, además que de otro modo con frecuencia se tienen que inutilizar regueras para abrir otras nuevas.

Para completar lo que acabamos de exponer presentamos los dibujos de las figuras.

En la figura 97 las líneas ab — bc — cd — bc — ef — fg — gh — fi — hi — ij — dg y gj indican las disecciones de los camellones que deben construirse.

A es el punto de la toma de aguas por medio de un vano. Abierto este, el agua penetra desde luego en la parte triangular abd , luego pasa á los compartimientos $bcfe$ y $cdgfe$ por medio de aberturas practicadas en los camellones entre los puntos bc y cd , entrando del mismo modo en las siguientes tablas.

En fin, el agua que ha servido para el riego se derrama por el escorredero que se halla al extremo de la propiedad.

La figura 98 representa la seccion del terreno dispuesto para ese sistema de riego.

Si las aguas contienen légamo, el método del riego por sumersion ó inundacion no debe aplicarse más que al fin de otoño, ó en invierno, á fin de no manchar las hojas de las plantas.

Cuando se riega por dicho método en tiempo de la

primavera debe tenerse cuidado que el agua sea limpia. Los riegos despues de arrancar las primeras yerbas no deben durar más de dos dias cada uno.

Para conocer si el agua ha permanecido bastante tiempo, basta observar que se presenta en la superficie una espuma blanquecina; despues se la hace desaguar, dejando el campo agotado y bien saneado antes de repetir la operacion.

Este método de riego no debe aplicarse más que en los terrenos más ó ménos permeables, pues sin esta condicion podria ser más perjudicial que útil.

Riego por inclinacion.

El riego por inclinacion, que es el más generalizado y el más económico, se aplica á los terrenos que tienen bastante pendiente. Consiste en una série de regueras trazadas segun las líneas de nivel del terreno, derramándose lateralmente el agua por la tierra en el sentido de la inclinacion. La acequia de distribucion siempre debe situarse en la parte más alta del terreno regable. Dicha acequia principal, alimentada por un manantial, ó por la derivacion hecha á un rio, alimenta á su vez diferentes regueras horizontales, cerrando inmediatamente debajo de ellas el caz alimentado, lo que se verifica con una mota de césped, ó con una pala de madera ó de hierro. El agua vertida por cada reguera horizontal corre por la superficie del terreno inclinado; la parte de ella que no absorben las tierras, las plantas ó la evaporacion cae en la reguera siguiente, la cual la vierte á su vez en el terreno inferior juntamente con el agua que recibe directamente de la acequia principal.

Para la disposicion y trazado de las regueras citaremos algunos párrafos del libro de Mr. Pareto:

«El canal de conduccion puede hallarse en la parte superior del terreno regable, en cuyo caso la pendiente es casi uniforme, ó bien rodearlo, y entonces el terreno afecta la forma de un valle. En el primer caso la reguera principal es horizontal y forma la primera reguera á nivel; en el segundo dicha acequia se halla en pendientes, y no sirve más que para alimentar las regueras secundarias. La primera disposicion se presenta pocas veces y en lo posible debe evitarse, á ménos de tenerla en el extremo del canal de conduccion, porque, como debe dar todo el agua, no es conveniente hacerla horizontal. Algunas veces se traza horizontal el canal y derrama el agua por su márgen inferior, que está perfectamente de nivel. Para aplicar esta disposicion es preciso que el prado que se va á regar no tenga mucha extension, porque como el canal de conduccion no da agua más que por uno de sus extremos, no puede hacérsela desbordar en una gran longitud si está perfectamente de nivel, y en la práctica casi siempre se le da una ligera pendiente longitudinal; debiéndola trazar desde luego horizontal, arreglándola en seguida para el agua, de modo que esta se desborde con uniformidad por todas partes.

»La longitud que en este caso se da al canal de nivel varía segun la naturaleza del terreno, debiendo ser mayor en los terrenos impermeables ó arcillosos que en los permeables; esto es, que disminuye en proporcion inversa de la permeabilidad del terreno.

»Creemos que la longitud máxima será de 130 á 150 metros, cuya disposicion es inaplicable cuando el terreno es arenoso ó muy permeable. Si el terreno regable tiene mayor longitud, se la divide en dos, tres ó más

partes, dando una pendiente al fondo del canal, estableciendo su margen de nivel y dejando una caída en el límite de dos partes consecutivas.

»Por medio de vanos se podrá remansar el agua en cada seccion ó canalizo, regando el total ó parte, segun el caudal de agua que se dispone. En el primer caso se dejarán los vanos entreabiertos de modo que se remanse en cada acequia la cantidad necesaria para regar, dejando derramar la restante en el canalizo inferior. Bastan algunos tanteos para abrir los vasos á la altura que se desee.

»Cuando la acequia rodea el terreno, siempre tiene una pendiente más ó ménos pronunciada. La pendiente debe ser bastante fuerte, á fin de que el agua corra fácilmente y no haya pérdidas por filtracion; y por otra parte, conviene que sea lo más suave posible, á fin de que cada canalizo pueda alimentar un gran número de regueras de nivel, pues que tambien debe dividirse el canal de conduccion en canalizos por medio de pequeños vanos.

»Las regueras secundarias ó de nivel deben estar, segun expresa su nombre, horizontales, por lo que se comprende que casi nunca estarán en línea recta, sino que rodearán el terreno segun las curvas de nivel formadas por secciones horizontales. Es una consecuencia de nuestro método, que consiste en disminuir lo posible los terraplenes.

»La condicion que deben tener dichas regueras es que repartan el agua con uniformidad sobre toda la superficie del campo, sean cualesquiera las pendientes que ofrezca. Si no existiera más que la acequia principal, la reparticion del agua se haria desde luego de una manera uniforme, pero despues el agua se encharcaria en los

pliegues insensibles del terreno, formando regueras que degradarian algunos puntos del terreno, dejando otros en seco. Pero una segunda acequia recoge á su vez las aguas, dejando que se derramen uniformemente, y así sucesivamente.

»De aquí se deduce que la distancia que separa las regueras de nivel debe atenderse, pues importa mucho para la regularidad del riego. Sin embargo, no se pueden dar reglas fijas para su determinacion, pues esta consiste en su mayor parte en la habilidad del regante, porque depende de la naturaleza del terreno y de su pendiente. Lo primero, porque cuanto más permeable sea el terreno más próximas deberán estar las regueras. Algunas veces el agua que puede dar no basta más que para regar dos ó tres fajas de campo, comprendidas entre las acequias de nivel, en cuyo caso es preciso pasar directamente el agua á la tercera ó cuarta acequia despues que el terreno superior esté suficientemente regado; luego veremos cómo tiene lugar esta operacion.

»Como hemos dicho, la distancia depende de las pendientes, porque cuanto más fuertes sean, el agua tendrá más tendencia á formar pequeños charcos, en cuyo caso las regueras deben reunirla con más frecuencia, á fin de regularizar su derrame. Además, el mismo trazado de las regueras de nivel hace que su distancia sea muy variable, puesto que dos pueden estar muy próximas en un punto donde sea grande la pendiente del terreno, y en otro donde sea ménos sensible alejarse. En este caso, si la distancia es muy pronunciada, se intercala otra reguera, que se corta en la parte donde disminuye la distancia de las dos primeras.

»Por regla general, creemos conveniente que en los terrenos llanos é impermeables la mayor distancia no

debe exceder de 40 metros, así como la menor no debe disminuir de dos.

»Cuando el canal de conducción sirve de reguera horizontal se riega todo el terreno, pero cuando está en pendiente se encuentran en la primera faja de terreno partes que no han recibido el agua, para lograrlo hay que recurrir á otro método. Las regueras horizontales suministran el agua á los campos, pero es preciso poderlos evacuar cuando se quiera, cuando se concluya el riego, sin que el agua que contienen se estanque y sea causa de que se produzcan juncos y otras plantas perjudiciales que deterioran la naturaleza de los forrajes.

Las acequias de escurrodero llenan este servicio, las que trazadas en una dirección normal á las regueras horizontales, en los puntos reentrantes de aquellas, ó sea donde el terreno forma depresiones.

La distancia de estas regueras es también muy variable, según la naturaleza y conformación del terreno; pero, á la inversa de las regueras horizontales, deben estar más juntas cuanto mayor sea el grado de impermeabilidad del terreno y que tenga sus pendientes más suaves, pues entonces es precisamente la ocasión en que se necesita el saneamiento del terreno.

Estos escurroderos parten algunos de ellos de la acequia de conducción, lo que permite dar al agua á una reguera horizontal por varios puntos á la vez; siendo muy útil cuando tiene cierta longitud, pues de otro modo el derrame no podía ser uniforme.

La segunda reguera y las que le siguen reciben el agua que corre por el terreno en toda su longitud; pero no así la reguera horizontal, que la recibe directamente. La condición de poder dar directamente el agua á una reguera horizontal determinada limita la distancia á

que pueden establecerse los pequeños escurrederos, en cuyo caso sirven tambien de regueros de distribucion. Despues de varias experiencias creemos conveniente y aceptable la distancia máxima de 80 metros. Algunas veces hay precision de intercalar alguna reguera que sirva de escurredero; pero casi nunca se prolongan hasta la parte superior del regadío; lo que sucede cuando se construye inmediato á un pequeño valle ó pliegue del terreno, ó si parte del terreno se agota con dificultad. En fin, aun puede ser conveniente la intercalacion de nuevas regueras entre las primeras, por la conformacion del terreno que representa sensiblemente una superficie cónica y convexa, alejándose considerablemente una de otra.

Los pequeños escurrederos que acabamos de describir no se trazan en línea recta, y sí plegándose á las partes más bajas del terreno; por lo que no es raro ver dos que se reunan ó se bifurquen, siguiendo la disposicion de aquel. Si sus ondulaciones están muy próximas, no deben escasearse los escurrederos, porque es necesario á fin de que el riego tenga buen éxito. Dichos escurrederos desaguan en una zanja principal ó escurredero de primer orden, trazado con gran precision en la parte más baja del regadío, no diferenciándose su trazado de los que acabamos de describir sino en que es mayor. A veces sirve de gran escurredero un rio ó una rambla que recibe las aguas de las demás, convirtiéndose á su vez en canal de conduccion para el riego de otros terrenos de nivel inferior, cuya disposicion se encuentra con frecuencia en los regadíos de alguna extension, en los que es muy útil, puesto que con él se economiza la tercera parte del gasto de agua.

Los pequeños vanos, de los que acabamos de tratar,

y que se trasportan de un lado á otro para hacer que el agua se derrame por encima de la márgen de las regueras, pueden construirse con mucha sencillez y poco gasto. La figura 99 representa un vano de dicha clase.

Este sistema de riego es susceptible de mejorarse disponiendo entre las regueras, y en el sentido de la máxima pendiente del terreno hileras de drenaje, sentados á corta profundidad 0,40m. á 0,50m. lo ménos. El agua que se derrama por la márgen inferior de cada reguera, se infiltra en el terreno, hasta la profundidad donde están los tubos, que conducen el agua en la siguiente reguera. No insistiremos para demostrar el buen efecto que produciria el riego por inclinacion, en un terreno preparado como acabamos de indicar.

El modo de regar por inclinacion es ventajosísimo bajo el punto de vista de su sencillez y economía, siendo aplicable casi á todos los cultivos.

Riego por infiltración.

El riego por infiltracion no se aplica más que á las praderas, pero presenta cierto interés al cultivo de las tierras laborables.

Es muy útil á los jardines de gran superficie y á las hortalizas.

Dicho método consiste en la introduccion de cierta cantidad de agua en las regueras horizontales, con objeto de humedecer parte del terreno más ó ménos ancho en la parte baja de cada reguera. La zona de terreno es tanto más extensa cuanto mayor sea su permeabilidad. De lo que se deduce que la separacion de las regueras debe calcularse segun el grado de permeabilidad del terreno. La experiencia ha demostrado que el riego por

infiltracion da buenos resultados en los terrenos inclinados y de una permeabilidad media, disponiendo las regueras á distancias desde 3 á 6 metros, regándolas por lo ménos con 100 á 120m.³ de agua por hectárea. Si la tierra es compacta y su superficie tiene poca inclinacion, se ha probado que este método es defectuoso.

El riego por imbibicion difiere del de por inclinacion en el sentido que las regueras deben estar más próximas; pero no conviene emplear más que rara vez y en los casos en que sea pequeño el caudal de agua disponible.

Sin embargo, como antes hemos dicho, cuando se trata del riego de terrenos de hortaliza ó de aquellos en los que se cultiva la zanahoria, remolacha, maiz, etc., etc., casi no se puede aplicar otro método.

Los principios expuestos anteriormente para la disposicion y el trazado de las regueras de riego por inclinacion son aplicables al de infiltracion, por lo que nada debemos añadir.

Riego por medio de regueras en pendiente ó en forma de espiga.

Este sistema consiste en emplear una série de regueras pequeñas de distribucion, abiertas, siguiendo las líneas de máxima pendiente del terreno regable. A lo largo de cada una de estas regueras se hacen otras menores llamadas de riego, dispuestas como las barbas de una pluma y á cierta distancia entre sí, decreciendo sucesivamente sus secciones.

Los terrenos en que debe aplicarse este sistema deben ser algo ondulados.

Las regueras de distribucion *a* (*fig.* 100) se abren en la

cima de las partes convexas ó culminantes siguiendo la pendiente del terreno.

Las regueras de riego *b* se ramifican á lo largo de la distribución, segun representa la figura.

En las depresiones del terreno [y en la línea del talweg se abren las regueras que sirven de escurredero *c*. Estas, al contrario de las de distribución, sus secciones aumentan de arriba á abajo.

En este sistema de riego hay un gran inconveniente, y es que el agua no se reparte con uniformidad, por lo cual parece no debe aplicarse más que á los terrenos que presenten una pendiente 0,02m. á 0,08m. por metro.

Pasando de este límite no es aplicable, porque la distribución del agua es muy defectuosa y el riego se hace de un modo muy incompleto.

Riego en los terrenos dispuestos en arriates.

El riego por regueras de camellones ó de doble arriate es indudablemente el mejor método de riego, en el sentido que permite una partición igual de aguas sobre el terreno, asegurando al mismo tiempo y terminando aquel un completo saneamiento del terreno.

Por él se consigue que el principio de que *el agua debe llegar á todas partes y no estancarse en ninguna*, se aplique y obtenga completo resultado.

El inconveniente que tiene es el que, exigiendo casi siempre trabajos de terraplen, su coste es mayor que en ningun otro sistema de los ya descritos.

Este método consiste en disponer el terreno en arriates, que no son otra cosa que una especie de lomas ó camellones de gran base y de escasa altura, planos de tierra más ó ménos largos, presentando dos vertientes como

la cubierta de un edificio. La direccion de los arriates se halla en el sentido de la pendiente general del terreno. En la cúspide de cada loma se abre una reguera, cuya direccion en lo posible debe ser siempre perpendicular á la del canal de alimentacion; su seccion va siempre decreciendo del origen al fin. En la interseccion inferior ó fondo de los planos inclinados se abre una zanja de desagües, cuya seccion aumenta en sentido inverso. La práctica ha dado á conocer que es conveniente dar á estas últimas dimensiones mayores que á las regueras de riego con el objeto de asegurar el completo desagüe de los arriates. Tambien conviene dejar cierta diferencia entre las pendientes longitudinales de las varias regueras. La pendiente de las regueras de riego debe variar de 0,0005m. á 0,0008m., mientras que la de los escorredores debe llegar de 0,0010m. á 0,0016m.

La forma, las dimensiones y las disposiciones de los arriates varían dentro de ciertos límites segun los países en que se ejecutan.

Las figuras 101, 102 y 103 harán comprender las disposiciones más generalmente adoptadas para el establecimiento de los arriates en Bélgica, donde ha sido objeto de estudio por parte de los Ingenieros agrónomos. El terreno se divide en trozos de 67,30m. de ancho y longitud, que varía segun la extension de las regueras principales de riego y de las zanjas de desagüe. En medio de cada trozo y en direccion de su longitud se establece la reguera de distribucion *a*, destinada á alimentar las regueras de riego y las zanjas de desagüe *b*.

La reguera de distribucion *a* empalma con una de las principales de riego. La zanja de desagüe *c* faldea los arriates por la parte del eje, recibe las aguas recogidas por las pequeñas zanjas de desagüe *d*, practica-

das en la interseccion de los planos inclinados e que forman los arriates.

La reguera a comunica con el canal de alimentacion e por medio de un tubo de madera de 0,20 m. de luz, *figura* 104. El lecho de la reguera a presenta una inclinacion de 0,002 m.; su anchura es de 0,70 m. La cresta de esta reguera se halla á 0,20 m. más allá del lecho en su origen. Los ribazos están inclinados á 3 de base por 2 de altura. Cuando la pendiente natural del terreno excede á la que se ha señalado á la reguera de distribucion a , se compensa la diferencia de estas dos pendientes distribuyendo la longitud de dicha reguera en saetines más ó ménos extensos, separados por pequeñas caidas de agua. Los arriates tienen 25 metros de longitud por 5 de ancho; están formados por la reunion de dos planos inclinados en sentido contrario, que presentan una pendiente de 0,20 m. repartida en un ancho de 2,50 m.

Las zanjas de desagüe d están en lo posible perpendiculares á la reguera de distribucion a . El ancho de las regueras b , en su nacimiento es de 0,25 m. Su lecho horizontal ó inclinado de 0,0005 m., se halla más bajo que la cresta de la reguera a 0,10 m., siendo la profundidad 0,05 m.

Las zanjas de desagüe d paralelas á las regueras de saneamiento tienen las crestas horizontales y están 0,20 m. más bajas que las de las regueras b . El ancho de las zanjas de desagüe es de 0,15 m. en su nacimiento y de 0,30 m. en el punto en que encuentran el caz de evacuacion c ; su profundidad en este último punto es de 0,25 m., y se reduce á 0,10 m. en el extremo opuesto.

Los caces de los escorrederos c tienen una inclinacion de 0,003 m. por lo ménos; su ancho en el fondo es de 0,60 m., y su profundidad 0,40 m.

Los caminos de cultivo *f* tienen 4 metros de ancho y una pendiente transversal de 0,25m.; están regados por una reguera *b'* de 0,30m. de ancho y 0,10m. de profundidad, que comunica con la reguera alimentadora por medio de un canal *k* de 0,10m. de luz.

Los diques *h* tienen 1,50m. de ancho y 0,30m. de altura sobre la parte superior del camino *f*. En estos contrafuertes se plantan árboles que servirán de separación entre las diferentes series de arriates y formarán con su conjunto un sistema de abrigos.

El sistema de regueras y arriates que acabamos de describir se ejecuta del modo siguiente:

La primera operación que debe hacerse cuando se va á disponer un terreno para el riego consiste en fijar á los obreros en plano y en altura la posición de los puntos principales de las regueras, los obreros las ejecutan en seguida trazando su perfil con motas de césped ó de broza que tengan 0,15m. de lado por 0,04m. de grueso. Concluido este primer trabajo, se procede á cavar, profundizando, cuando ménos, 0,60m., y á la vez se da al terreno el relieve que exige. Por lo regular se deja en la superficie del terreno cavado la capa de tierra que habia en ella primitivamente.

Los arriates que se emplean en el departamento francés de los Vosges (*fig.* 105) difieren un poco de los anteriores. Por lo general son más cortos; los planos inclinados tienen algunas veces 6 metros, pero por lo regular solo llegan á 4 metros de largo con un ancho igual á un múltiplo de 2 metros, porque en los Vosges la guadaña alcanza á segar la yerba en toda aquella extensión. Las regueras de las cumbres de los arriates *aa* tienen 0,30m. de ancho y 0,10m. de profundidad en su extremo; su declive no es sensible. El de los planos incli-

nados es, cuando ménos, de 0,02_m. Las regueras principales y las de desagüe se pagan á 10 céntimos el metro cúbico.

En la campiña belga, donde se han ejecutado grandes trabajos de irrigacion, despues de muchos ensayos parece se han adoptado las dimensiones siguientes:

Longitud máxima del arriate.	40,00 _m .
Ancho de cada ala ó plano.	6 á 8 _m .
Pendiente trasversal por metro de. . .	0,03 _m . á 0,05 _m .

El método de riego por arriates es el más perfecto y eficaz que se conoce; por lo que aconsejamos que siempre que el terreno lo permita se le prefiera á otro cualquiera.

Riegos por repelicion.

En los métodos que preceden se ha supuesto que el agua no pasaba más que una vez por el terreno, y que la que no era absorbida volvía inmediatamente á los canales de desagüe. En los métodos de riego por corrientes de agua se ha visto, sin embargo, que el agua excesiva podía bajar de un cuadro á otro, pero más ó ménos mezclada siempre con la que procedía directamente de los caces de alimentacion. Cuando escasea el agua hay precision de emplearla con gran economía y de hacer que vuelva á pasar por el terreno la que no queda absorbida inmediatamente. Esto es lo que se llama riego por puesto en plano inclinado sobre un terreno que presenta cierto declive general. (*Fig. 106.*)

El agua que llega sobre el caz alimentador AA correrá hasta los planos inclinados por medio de las regueras horizontales *aa bb*. La que sobre en el primer comparti-

miento será recogida por las zanjas de desagüe *cc*, que la llevarán á las regueras del tercer compartimiento. Del mismo modo el agua que sobre en el segundo se derramará en el cuarto, la del tercero correrá hasta el quinto, y así sucesivamente. En el ejemplo que exponemos es preciso que el declive general del terreno sea tal que las zanjas de desagüe de un compartimiento estén al mismo nivel ó un poco más altas que las regueras del segundo compartimiento inmediato inferior, y el largo de cada uno de ellos debe estar calculado con arreglo al sistema. Si el declive del terreno fuera tan débil que hubiese de darse demasiada longitud á un compartimiento, sería preciso hacer pasar el agua de una série, no á la segunda inmediata, sino á la tercera, y aun quizás á la cuarta. En este caso se debería conducir el agua del canal directamente hasta la tercera série, ó aun hasta la cuarta, á fin de que la quinta pudiese regarse con el agua sobrante de la primera, y así sucesivamente.

Supongamos ahora que se trate de séries de ariates, figura 107. Segun lo indica la figura AA, representa el caz alimentador, que riega directamente el primer cuadro y por ACC el segundo. BB regueras de la primera division, que riegan la tercera, y así sucesivamente las dos primeras séries de caballones reciben directamente el agua del canal de alimentacion AA. El agua que sale de la primera série riega la tercera, la de la segunda es conducida á la cuarta y así sucesivamente. Para que esta disposicion sea admisible, es preciso que el producto del declive del terreno por metro, multiplicado por la longitud de una série de caballones, sea igual ó todavía inferior á la diferencia de nivel de las acequias alimentadoras y de los escorrederos de cada série. Si el declive del terreno fuera ménos, se haria preciso llevar

las aguas sobrantes de una série á otra más lejana que la segunda inmediata.

Sea el que quiera el sistema de riego adoptado, el método de ejecución de los trabajos y los estudios previos que exigen, son siempre con corta diferencia los mismos; tales son: 1.º, los trabajos preparatorios para la explanación del terreno, su limpia de yerbas y piedras y conocimiento de su permeabilidad; 2.º, establecimiento de [los escurrederos, operación de desecamiento de terrenos; 3.º, disposición de las regueras por medio de la nivelación según el método adoptado.

Para apreciar la entidad de dichos trabajos, su mano de obra, coste y perfecta disposición, conviene siempre que toda empresa de riego, proceda á hacer una nivelación de la superficie que se va á regar reproducida en plano.

Los instrumentos necesarios para practicar los trabajos de cada sistema son muy sencillos, y tienen grande analogía con los que se emplean en los trabajos rurales, los que se hallan descritos en las principales obras de agricultura.

Es indudable que los riegos ocasionan mayores gastos y que estos están en relación directa del mejor sistema; pero la seguridad y repetición de los productos lo compensan con usura.

RESÚMEN

de las leyes, decretos, reales órdenes y reglamentos relativos al aprovechamiento de aguas desde el principio del reinado de doña Isabel II hasta nuestros días.

Año 1834.

Abril 5.—Disponiendo que ningun particular ni corporacion pueda distraer en su origen ni en su curso las aguas de manantiales ó rios que de tiempo antiguo rieguen otros terrenos más bajos.—T. I, suplemento á la Revista de Obras públicas, pág. 7.

Idem 25.—R. C. concediendo á la compañía de Gasso Sacrista y Mercader la facultad de construir el canal de riego y navegacion de los rios Essera y Cinca.—T. I, pág. 9.

1835.

Enero 25.—R. O. autorizando á los gobernadores civiles para que en casos de urgente necesidad dispongan las reparaciones de las obras de canales.—T. I, pág. 23.

Abril 24.—R. O. disponiendo lo conveniente á fin de facilitar la construccion de pozos artesianos.—T. I, pág. 26.

1836.

Abril 17.—R. D. que contiene la ley sobre enajenacion forzosa de la propiedad particular.—T. I, pág. 74.

Noviembre 22.—R. O. determinando qué autoridades han de en-

tender en la conservacion y régimen de Obras públicas, como caminos, canales, molinos, etc.—T. I, pág. 77.

1838.

Enero 31.—R. O. encargando el cumplimiento del R. D. que confirma la cédula de concesion del canal de Tamarite.—T. I, pág. 83.

1839.

Julio 20.—R. O. relativa á la conservacion de Obras públicas, policía ydistribucion de aguas para riego.—T. I, pág. 89.

1841.

Marzo 23.—Orden de la Regencia provisional resolviendo la prosecucion del canal Imperial de Aragon.—T. I, pág. 127.

Abril 29.—Orden declarando propiedad de los mineros las aguas encontradas al tiempo de hacer los trabajos de las minas.—T. I, pág. 140.

Junio 10.—Ley que autoriza al gobernador á transigir con la empresa del canal de Castilla.—T. I, pág. 142.

1842.

Febrero 24.—Ley que autoriza al gobierno para conceder la propiedad del trozo ya abierto del canal de Guadarrama.—T. I, pág. 186.

Agosto 3.—Disponiendo que por los Ingenieros se practique un reconocimiento en el Guadalquivir en la parte que media entre Córdoba y Sevilla.—T. I, pág. 209.

1843.

Mayo 29.—R. O. mandando celebrar nuevo contrato para la empresa del canal de Tamarite.—T. I, pág. 232.

1844.

Agosto 15.—R. O. declarando que la aprobacion del proyecto de las Obras públicas lleva consigo la declaracion de utilidad pública que exige la ley de 17 de Julio de 1836.—T. I, pág. 403.

1845.

Enero 22.—R. O. disponiendo que un Ingeniero haga los reconocimientos y estudios necesarios para informar acerca de la posibilidad de establecer los riegos en las vegas del Duero, y especialmente en las de las provincias de Soria y Burgos.—T. II, pág. 62.

1846.

Marzo 14.—R. O. estableciendo las reglas á que ha de sujetarse el aprovechamiento de las aguas de los rios.—T. II, página 267.

Noviembre 2.—R. O. disponiendo que la R. O. de 27 de Mayo de 1846 sobre deslinde de las carreteras generales, se aplique á los canales del Estado.—T. II, pág. 363.

1848.

Enero 14.—R. O. dictando disposiciones referentes á los riegos de Lorca.—T. III, pág. 108.

Idem 15.—R. O. derogando la de 29 de Abril de 1841, que concedia á los mineros la propiedad de las aguas alumbradas en sus minas.—T. III, pág. 117.

Junio 8.—R. O. disponiendo que los Ingenieros jefes auxilien á los jefes políticos para que remitan noticias de las obras de riego que deban aprovecharse.—T. III, pág. 243.

Idem 10.—R. O. disolviendo la empresa de Lorca y dictando disposiciones para la creacion de una nueva.

Idem 15.—R. O. devolviendo la acequia de Tauste á los pueblos de Tauste y otros.—T. III, pág. 249.

1849.

- Marzo 15.*—R. O. mandando no se ponga estorbo á los tribunales de riego en el ejercicio de su jurisdiccion.—T. IV, pág. 41.
- Idem 17.*—R. O. adoptando medidas para la direccion y gobierno del sindicato de riegos de Lorca.—T. IV, pág. 42.
- Abril 15.*—R. O. acordando reconocimientos para la prolongacion del canal de Castilla desde Medina á Zamora.—T. IV, página 62.
- Junio 3.*—R. O. estableciendo los sindicatos convenientes para los riegos del canal de Aragon, y dictando varias disposiciones.—T. IV, pág. 87.
- Idem 24.*—Ley dictando reglas sobre canales, acequias, brazales, acueductos y demás obras de riego.—T. IV, pág. 100.
- Agosto 10.*—R. O. aclarando la de 14 de Marzo de 1846 sobre aplicacion de aguas públicas á empresas de interés privado.—T. IV, pág. 141.

1850.

- Noviembre 29.*—R. O. aclaratoria de la ley de 24 de Julio de 1849 sobre exencion de tributos á los nuevos riegos y artefactos.—T. IV, pág. 370.

1852.

- Diciembre 20.*—R. O. dictando reglas para la instruccion de los expedientes sobre concesion de aprovechamiento de aguas.

1853.

- Enero 11.*—R. O. aprobando el reglamento para el sindicato general de riegos del Túria.—T. I, pág. 5.
- Abril 27.*—R. O. limitando al 3 por 100 del capital el valor de la fianza exigida á los Sres. Girona hermanos, Clave y compañía, como garantía de la ejecucion de las obras del canal de riego de Urgel.—T. I, pág. 61.

April 27.—R. O. aprobando las ordenanzas de la acequia mayor de Murviedro.—T. I, pág. 62.

Mayo 1.º—Orden de la Direccion de Agricultura previniendo que para establecer molinos ú otros artefactos flotantes sobre los rios, se ha de instruir el expediente que fija la R. O. de 14 de Marzo de 1846.—T. I, pág. 77.

Jun 24.—R. O. mandando poner término á la costumbre abusiva que existe en la provincia de Salamanca, por la cual los particulares pueden aprovechar las aguas del rio Cuerpo de Hombre con solo marcar con ciertas piedras la parte del que intenten utilizar, lo cual constituye su derecho.—T. I, pág. 78.

Jun 25.—R. D. declarando de utilidad pública el canal de Guadalimar para los efectos de la ley de expropiacion forzosa y fijacion del máximum de cánon que ha de cobrarse por el riego.—T. I, pág. 79.

Julio 16.—R. O. disponiendo se estudie el aprovechamiento de los manantiales de la sierra de Alcaraz, y se propongan los medios de que las tomas de agua de la acequia de Murcia se arreglen de modo que perciban solo la cantidad de agua que necesiten.—T. I, pág. 86.

Julio 2.—R. O. sobre las cualidades que deben adornar á los sindicatos encargados de la administracion comun de riegos.—T. I, pág. 90.

Jun 27.—R. D. dictando el reglamento para la ejecucion de la ley de 17 de Julio de 1836 sobre enajenacion forzosa por causa de utilidad pública.—T. I, pág. 96.

1854.

Enero 13.—R. O. mandando que á los expedientes solicitando aprovechamiento de aguas se acompañen duplicados todos los documentos del proyecto.—C. R. O. P., pág. 38.

Noviembre 12.—R. O. declarando derogada la de 5 de Abril de 1834 sobre omnimodo y exclusivo aprovechamiento de las aguas de los rios, y ordenando á D. Ginex Valcárcel re-

mita varios datos para continuar la sustanciacion del expediente sobre concesion de nuevos riegos que ha solicitado.—T. II, pág. 180.

1855.

- Marzo 3.*—R. O. declarando que la cuestion promovida entre ciertos regantes de la acequia de Mestalla y los dueños de los molinos no corresponde dirimirla á la administracion, sino á los tribunales civiles.—T. III, pág. 64.
- Idem 23.*—R. O. declarando no haber lugar al establecimiento del tandeo general de las aguas del Túria, y disponiendo que en tiempo de escasez debidamente calificada por el sindicato, se distribuyan dichas aguas en la misma proporcion con que se aprovechan en tiempo de abundancia.—T. III, pág. 66.
- Idem 29.*—R. O. resolviendo que corresponde al Estado, y no á los sindicatos, autorizar los aprovechamientos de aguas de las acequias del canal Imperial de Aragon, sin perjuicio de dar para las concesiones á los propios sindicatos, y de que quede en beneficio de los mismos el cánon que se impusiese.—T. III, pág. 67.
- Abril 20.*—R. O. determinando las circunstancias que han de concurrir en los planos que se acompañen á los expedientes sobre aprovechamiento de aguas.—T. III, pág. 114.
- Mayo 16.*—R. O. resolviendo que el negociado de distribucion y aprovechamiento de aguas pase á la Direccion general de Obras públicas.—T. III, pág. 141.
- Octubre 14.*—Real concesion á favor de D. Miguel Ravella, vecino de Barcelona, para construir á sus expensas, y con arreglo á los planos aprobados, el canal de riego denominado Princesa de Asturias, en la provincia de Huesca.—T. III, página 284.
- Diciembre 12.*—R. D. otorgando á D. Eusebio Soler la concesion definitiva para construir á sus expensas el canal de riego

de la derecha del Llobregat en la provincia de Barcelona.—
T. III, pág. 354.

1856.

enero 20.—R. O. desestimando una instancia de las Juntas reunidas de las acequias de Cuart, Benacher y Taitanar en solicitud de que se declare que la facultad de conceder nuevos riegos en el término de Manises y en el restante territorio de su comprension compete exclusivamente á dichas Juntas.—T. IV.

enero 26.—R. O. dando reglas para regularizar el uso y aprovechamiento de las aguas del canal Imperial de Aragon.—
T. IV, pág. 92.

abril 30.—Ley autorizando al gobierno para hacer á la empresa del canal de riego de Urgel el anticipo reintegrable que se indica.—T. IV, pág. 174.

octubre 24.—R. O. autorizando á D. Isidro Rueda para que construya un canal de riego que fertilice las llanuras del término de Ponferrada y Toral de Merayo.—T. IV, página 425.

enero 31.—R. O. autorizando al ayuntamiento de Orense para ejecutar las obras de derivacion del rio Loña, á fin de conducir sus aguas á la capital y regar su término.—T. IV, página 429.

1857.

enero 23.—R. O. sobre fianza que debe imponer la empresa del canal de Tamarite.—T. V, pág. 18.

enero 11.—R. O. declarando que no ha lugar á la disolucion del sindicato de riegos del Túria, solicitada por algunos pueblos de la provincia de Valencia, sin perjuicio de proceder á la reforma de sus ordenanzas.—T. V, pág. 45.

R. O. reformando el párrafo segundo del art. 7.º de la R. O. de 26 de Marzo de 1856 relativa al uso y aprovecha-

- miento de las aguas del canal Imperial de Aragon.—T. V, pág. 45.
- Abril* 15.—R. O. aprobando varias cláusulas adicionales al reglamento de 3 de Junio de 1849, de los sindicatos de riego del canal Imperial de Aragon.—T. V, pág. 96.
- Idem* 25.—R. D. aprobando el reglamento adjunto para el régimen y servicio del canal Imperial de Aragon.—T. V, página 108.
- Julio* 28.—R. O. aprobando el proyecto para encauzar en el término de Villanueva de San Alancio, provincia de Valladolid, los rios Sequillo y Villalesivierno.
- Octubre* 14.—R. O. declarando á D. Ginés Valcárcel con derecho al aprovechamiento para el riego de las aguas del rio Mudo.—T. V, pág. 197.
- Noviembre* 4.—R. O. declarando de utilidad pública la obra de rectificacion del rio Daró en la provincia de Gerona.—T. V, pág. 337.
- Idem* 18.—R. O. autorizando á D. Isidoro Combarieu, y socios, para construir un canal de riego en el término de Baeza, provincia de Jaen, tomando las aguas del rio Guadalquivir.—T. V, pág. 348.
- Diciembre* 12.—Ley sobre constitucion de compañías concesionarias de ferro-carriles, canales y otras obras públicas.—Tomo V, pág. 376.
- Idem* 30.—R. O. fijando en 1.615 litros por segundo de tiempo la dotacion de agua que ha de usar con destino al riego el canal de la izquierda del Llobregat, titulado de la Infanta.—T. V, pág. 425.

1858.

- Abril* 7.—Orden nombrando una comision que se ocupe de la formacion de un formulario para redactar los proyectos relativos á las obras de rios y aprovechamiento de aguas de todas clases.
- Idem* 8.—R. O. autorizando al señor marqués del Duero para que

aproveche en el riego las aguas pluviales que corren por el barranco de Tahodio, jurisdiccion de Santa Cruz de Tenerife.

Octubre 11.—R. O. autorizando á D. Francisco Rubiex y otros propietarios de la provincia de Lérida para que construyan un canal de riego que, tomando las aguas del rio Segre, fertilice los campos de Gerjo y San Llorens de Mongay.—T. VI, pág. 240.

Noviembre 16.—R. O. haciendo aclaraciones sobre la tarifa aprobada en 3 de Setiembre último para la venta del agua del canal Imperial de Aragon.—T. VI, pág. 384.

1859.

Febrero 2.—R. O. aprobando el nuevo reglamento para el sindicato de los riegos de Lorca.—T. VII, pág. 14.

Abril 5.—R. O. dictando disposiciones á fin de que nadie emprenda obras de ningun género para aprovechamiento de aguas sin la competente autorizacion del gobierno.—T. VII, página 103.

Mayo 6.—R. D. autorizando á D. Matías Gomez de Villaboa para construir un canal de riego derivado del rio Esla, que fertilice los terrenos de los pueblos que se mencionan en las provincias de Leon y Zamora.—T. VII, pág. 104.

Junio 27.—R. D. creando una comision que redacte un proyecto de ley general para el aprovechamiento de aguas.—T. VII, pág. 133.

Julio 12.—R. D. concediendo autorizacion á D. José Pinillos y D. José Acebo para construir un canal de riego que, derivado del rio Henares, fertilice la campiña titulada de Alcalá en las provincias de Madrid y Guadalajara.—T. VII, pág. 141.
R. O. fijando en 1.000 litros por segundo la dotacion de agua de la acequia de Manresa.—T. VII, pág. 147.

Agosto 27.—R. O. disponiendo que los aforos que han de verificarse en el rio Henares, con motivo de la concesion del canal de riego derivado del mismo, hecha á D. José Pinillos y don José Acebo, tengan lugar dentro de los cauces del Soto de Aldovea y de la acequia de Balez.—T. VII, pág. 175.

- Junio 12.*—Ley disponiendo el aumento de seis millones de reales en el anticipo reintegrable de 40 millones y medio concedido á la empresa del canal de Urgel por la de 25 de Abril de 1856.—T. VII, pág. 194.
- Julio 2.*—R. O. autorizando á D. Félix Gomez, vecino de Colmenar Viejo, para que aproveche las aguas del arroyo de los Camorchones en el riego de los terrenos que posee en el término del referido pueblo.—T. VII, pág. 270.
- Agosto 10.*—R. O. dictando disposiciones para que desaparezcan los focos de infeccion que se supone produce el estancamiento de aguas del rio Segura en las provincias de Alicante y Murcia.—T. VII, pág. 385.
- Octubre 1.º.*—R. O. declarando que D. José Perez debe acudir á los dueños de la acequia llamada Molinar para obtener el permiso que con el objeto de aprovechar las aguas de la misma solicita del gobernador de Teruel.—T. VII, pág. 476.
- » R. O. autorizando á D. Jaime Calvo y Trinchería para que aproveche las aguas de la riera de Llierca en el riego del terreno que posee junto al puente del mismo nombre, término de Tortellá.—T. VII, pág. 476.
- Idem 27.*—R. O. autorizando á D. Miguel Massot para que aproveche las aguas del arroyo de Suya en el riego de un terreno que posee en el término del pueblo del mismo nombre, provincia de Gerona.—T. VII, pág. 544.
- Noviembre 5.*—Reglamento para el gobierno y administracion de la acequia de Manresa.—T. VII, pág. 565.
- Idem 23.*—R. O. autorizando á D. Narciso de la Cueva para que aproveche las aguas del rio Guadarrama en el riego de la parte del Soto del Retamar, que posee en el término de las Rozas, provincia de Madrid.—T. VII, pág. 590.
- Diciembre 4.*—R. O. haciendo varias aclaraciones á la de 14 de Marzo de 1846 sobre autorizaciones para aprovechamiento de aguas públicas.—T. VII, pág. 596.
- » R. O. declarando que la autorizacion que exige la de 14 de Mayo de 1846 para el aprovechamiento de aguas públicas como fuerza motriz de algun establecimiento in-

dustrial, solo se necesita cuando las aguas se han de derivar inmediatamente de algun rio ú otra corriente natural.—T. VII, pág. 596.

Diciembre 5.—R. O. aprobando el reglamento para la adjudicacion de las obras del sindicato de riegos de Lorca.—T. VII, pág. 614

Idem 9.—R. O. autorizando al ayuntamiento del pueblo de Arcos de Medinaceli para que tome del rio Jalon el agua necesaria para el riego de 401 hectáreas de terreno, situadas á la izquierda de dicho rio, en la provincia de Soria.—T. VII, pág. 618.

1860.

Febrero 6.—R. O. autorizando al sindicato de riegos de Lorca para que ejecute las obras necesarias con objeto de conducir á dicha ciudad las aguas de la fuente de la Zarzadilla.—T. VIII, pág. 51.

Marzo 28.—R. O. autorizando la constitucion de la sociedad titulada Canal de Urgel, y aprobando sus estatutos y reglamento.—T. VIII, pág. 118.

Abril 29.—R. D. fijando las bases que han de regir en lo sucesivo para el desarrollo de un buen sistema de aprovechamiento de aguas.—T. VIII, pág. 178.

Mayo 21.—R. O. autorizando la creacion de un sindicato para el régimen y gobierno del riego de la acequia llamada Presa Vieja, en la provincia de Leon, y aprobando su reglamento.—T. VIII, pág. 194.

Julio 6.—R. O. dictando varias reglas para regularizar los estudios á que se refiere el art. 26 de del R. D. de 20 de Agosto último, en que se prescribe el reconocimiento general de las aguas estancadas y corrientes.—T. VIII, pág. 231.

Idem 14.—Ley autorizando á las empresas concesionarias de Obras públicas para emitir obligaciones hasta el importe de la suma total del capital realizado.—T. VIII, pág. 237.

Idem 25.—R. O. dictando varias disposiciones relativas á la ley anterior.—T. VIII, pág. 255.

Agosto 31.—R. O. haciendo varias aclaraciones sobre la misma ley.—T. VIII, pág. 349.

Noviembre 12.—R. O. autorizando la creacion de un sindicato para el régimen y gobierno del riego del rio Hecerva, en la provincia de Zaragoza, y aprobando su reglamento.—T. VIII, pág. 389.

1861.

Enero 30.—R. D. declarando de utilidad pública las obras de desecacion y saneamiento de los terrenos ocupados por las lagunas Alta grande y Salada, contiguas á la villa Pedrera.—T. IX, pág. 63.

» R. O. declarando de utilidad pública las obras necesarias para la continuacion del canal titulado de la Condomina en la provincia de Murcia.—T. IX, pág. 63.

Febrero 28.—R. O. declarando que basta el permiso de la autoridad provincial para la reparacion y reconstruccion de las presas antiguas, siempre que se limite á la reposicion de las antes existentes.—T. IX, pág. 167.

Marzo 4.—R. O. autorizando la creacion de un sindicato para el régimen y gobierno del riego de la acequia llamada Presa Blanca, en la provincia de Leon y aprobando su reglamento.—T. IX, pág. 170.

Abril 7.—R. D. autorizando á D. Pedro Antonio Gonzalez y Compañía para construir un canal de riego derivado del rio Tajo, que fertilice las vegas de Estremera, Fuentidueña, Villarejé y Manrique, en la provincia de Madrid.—T. IX, pág. 190.

Mayo 3.—R. D. concediendo autorizacion á D. Miguel Sans y Serra para desecar las lagunas Pudol, Paradells y Baseya, en la provincia de Gerona.—T. IX, pág. 228.

Idem. 16.—R. O. aceptando la proposicion hecha por D. Jacinto Guyon para reconstruir el pantano de Lorca.—T. IX, página 233.

Diciembre 2.—R. O. aprobando la trasferencia de la concesion del canal de riego del Esla, hecha por D. Mariano Gomez de Vi-

Haboa á favor de D. Eugenio García Gutierrez.—T. IX, página 374.

1862.

- Enero* 3.—Autorizando al marqués de Ayerbe para que aproveche las aguas de la riera de Mongent para uso de riego.—T. X, pág. 7.
- Idem* 16.—R. O. autorizando á los propietarios rayantes del término de Alcolea, provincia de Almería, para que aprovechen las aguas que se encuentran en las inmediaciones y por bajo del cauce del río Paterna, en el punto llamado de Guarros.—T. X, pág. 18.
- Febrero* 20.—R. O. autorizando á D. Miguel Gonzalez Auriol para que aproveche las aguas que se pierden por filtraciones en el cauce del río Dilar.—T. X, pág. 49.
- Marzo* 11.—R. O. autorizando á D. Pedro Cisa para que construya en el término de San Pedro de Premiá, provincia de Barcelona, una mina absorbiendo las aguas que se encuentren, las cuales utilizará el concesionario en el riego de las tierras que posee en término de San Cristóbal de Premiá.—T. X, pág. 52.
- Idem* 19.—R. O. autorizando á los Sres. Calvo Ordax y Compañía para que ejecuten las obras necesarias para la reparación de la presa de la acequia llamada de Pomar, con objeto de tomar por aquella las aguas del río Cinca.—T. X, página 54.
- Abril* 30.—R. O. autorizando á D. Pedro Vélez y otros vecinos de Tergo, en la provincia de Logroño, para que se le permita abrir un cauce dentro de las tierras que poseen en término de Teroncillo.—T. X, pág. 70.
- Junio* 10.—R. O. autorizando á la sociedad titulada Palau, Gracia y Compañía para que aproveche en el riego las aguas subterráneas de las rieras denominadas de Alfart y San Llop, en la provincia de Barcelona.—T. X, pág. 109.
- Idem* 18.—R. O. autorizando al conde de Torre-Muzquiz para que tome del río Ebro la cantidad de agua necesaria para esta-

blecer un depósito permanente, de donde la extraerá por medio de una máquina ó noria para el riego de una heredad que posee en el término de Recajo, provincia de Navarra.—T. X, pág. 414.

Julio 2.—R. O. autorizando al marqués del Duero para que construya dos presas, una sobre el río Guadaira y otra sobre el Gualmanza, y aproveche todas las aguas para el riego de 4.700 fanegas de tierra.—T. X, pág. 415:

» Ley concediendo á la Empresa concesionaria del Canal de Urgel un anticipo reintegrable de veinte millones.—T. X, pág. 445.

1863.

Enero 10.—R. O. aprobando la cesion hecha por D. Eugenio G. Gutierrez en favor de la Sociedad Ibérica de riego titulada del Principe de Asturias.—T. XI, pág. 26.

Idem 28.—R. D. aprobando la cesion hecha por los Sres. Pinilla y Azebo en favor de la Sociedad Ibérica de riegos, del canal derivado del río Henares.—T. XI, pág. 42.

Febrero 14.—R. O. adoptando varias disposiciones para conocer con mayor exactitud los límites de las subidas de aguas en todas las inundaciones.—T. XI, pág. 53.

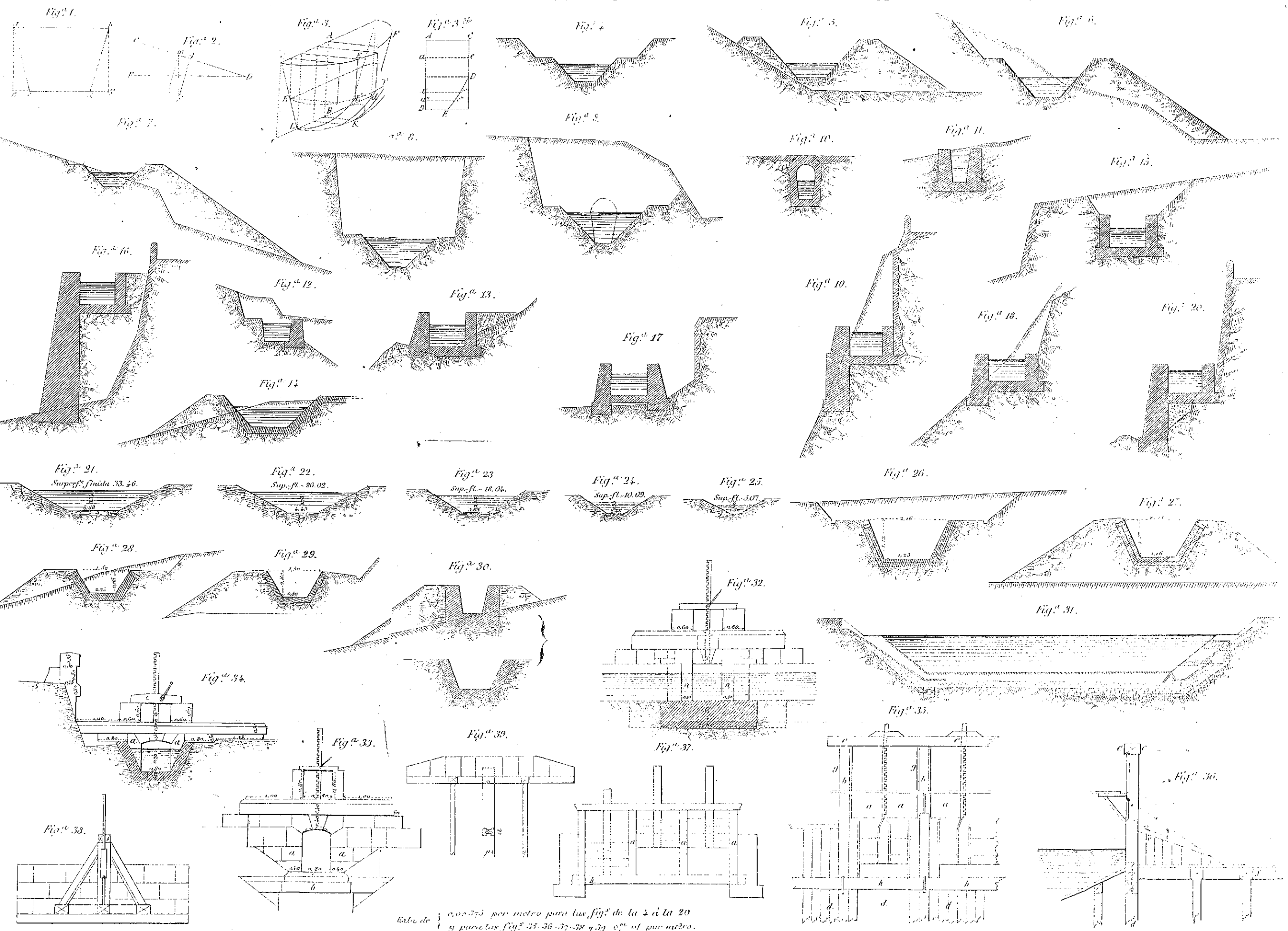
Marzo 11.—R. O. autorizando á D. S. Bosx y Compañía para que tomen del Tretar 250 litros por segundo, con el objeto de regar varias tierras que poseen.

Abril 13.—R. O. autorizando á D. Felipe S. Farro para que aproveche las aguas del río Minilva en el riego de la vega del mismo nombre, provincia de Málaga.—T. XI, pág. 105.

Junio 6.—R. O. autorizando á D. Miguel M. Fuentes para que tome del río Tajo 75 litros de agua por segundo, con destino al riego de la dehesa que posee en Santa Cruz de la Zarza.—T. XI, pág. 447.

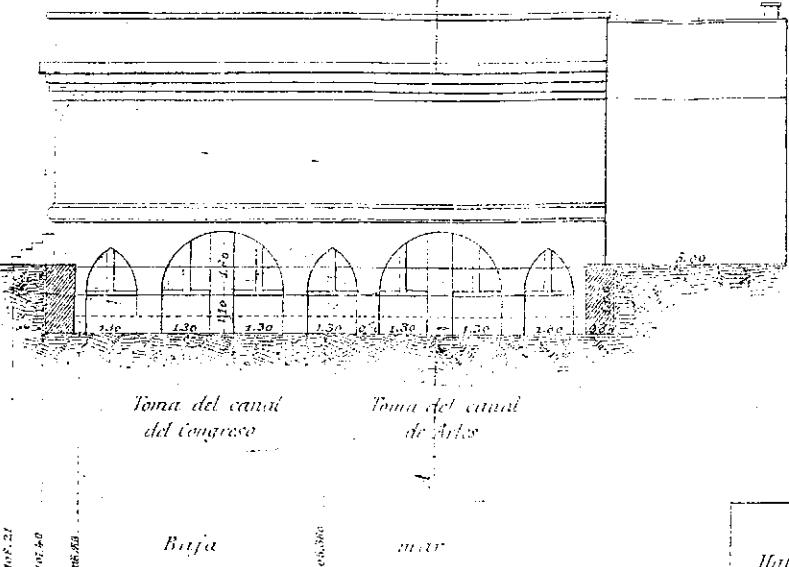
1864.

Enero 6.—R. O. disponiendo que la Junta consultiva de Caminos, Canales y Puertos se ocupe con urgencia en redactar un

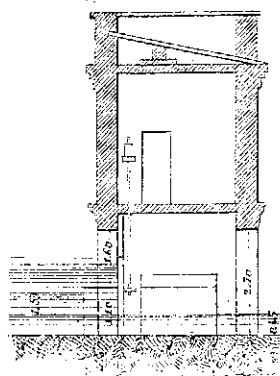


Esta de $\frac{1}{2}$ 0.0275 por metro para las fig.^{as} de la 4 a la 20
 y para las fig.^{as} 25-36-37-38 y 29 0.01 por metro.

Fig^a 41.
Alzado

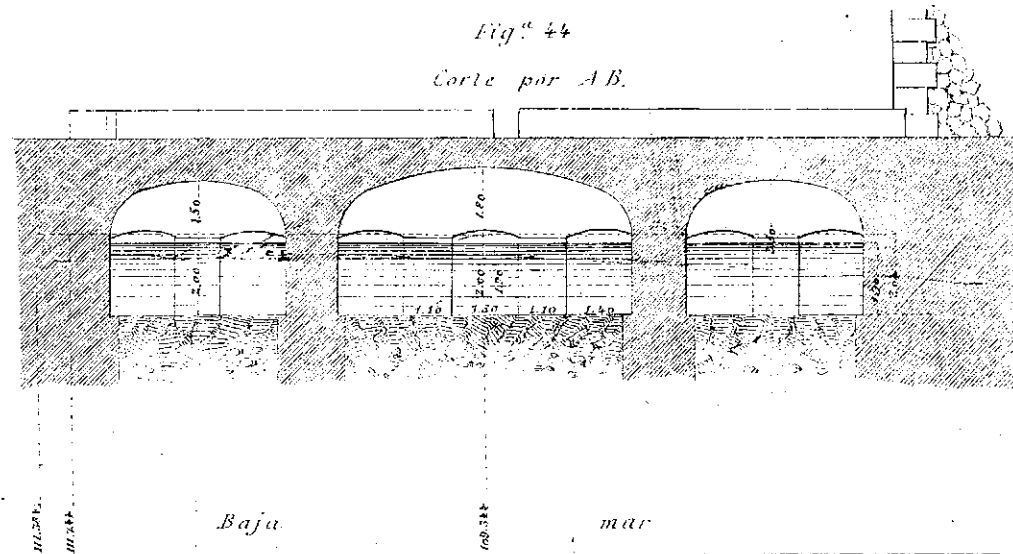


Fig^a 42

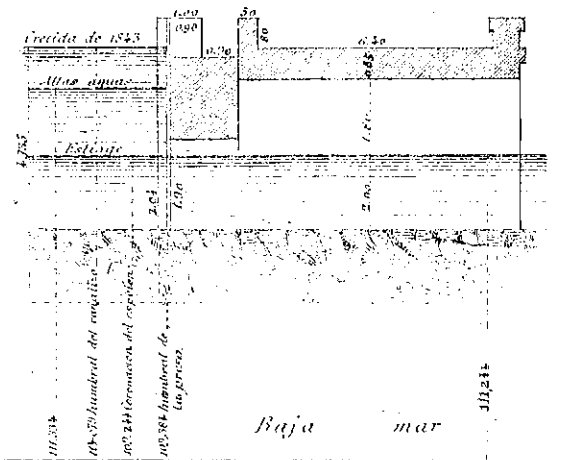


Fig^a 44

Corte por A.B.

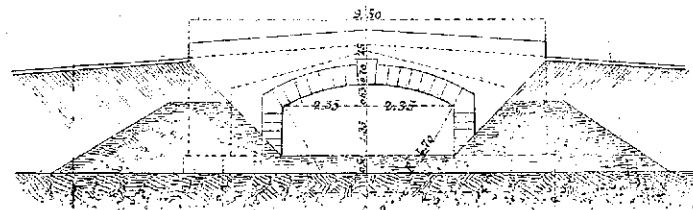


Fig^a 45.
Corte por C.D.



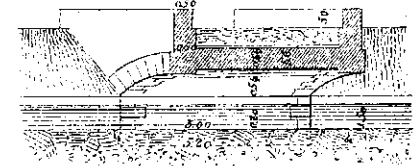
Fig^a 46.

Alzado de un ponton de sillería p^a paso superior de carrileras



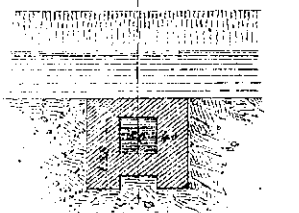
Fig^a 48.

Corte de un ponton en coyaige



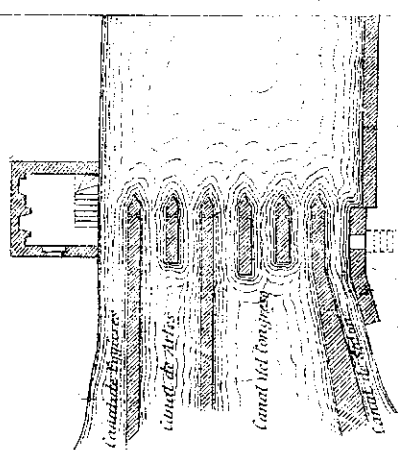
Fig^a 49

Corte transversal del Sifon



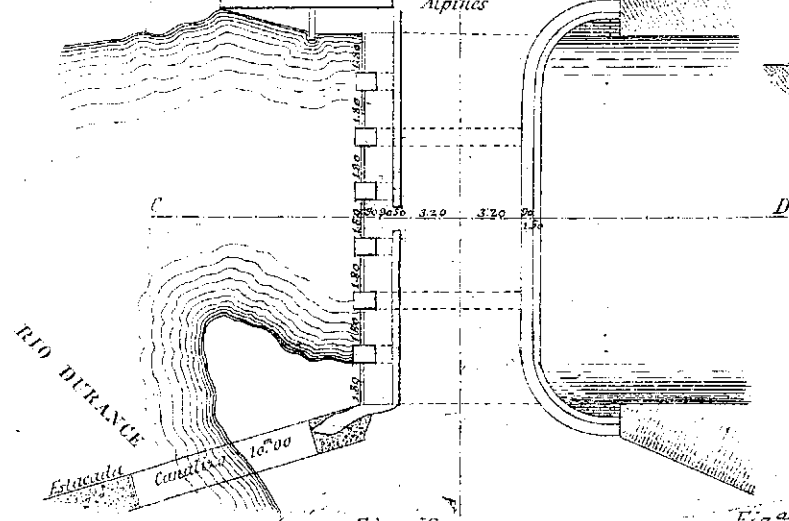
Fig^a 40

Planta del depósito de laminaron



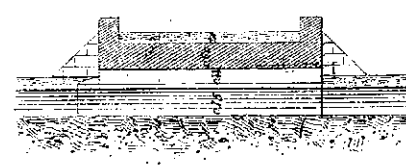
Fig^a 43

Toma de aguas del Canal senriul de Alpines



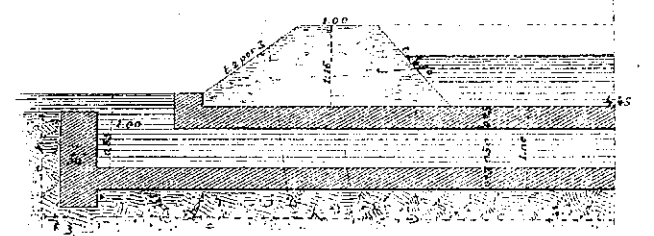
Fig^a 47.

Corte por el eje



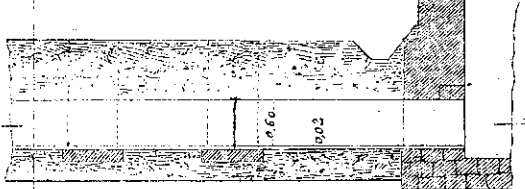
Fig^a 50.

Corte longitudinal del Sifon



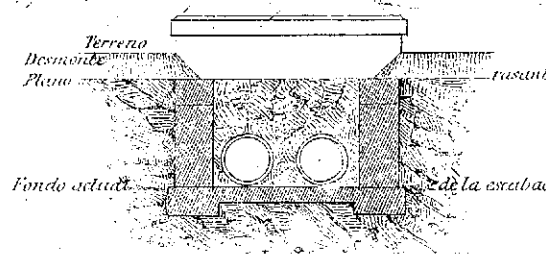
Fig^a 51.

Sección transversal á la vía



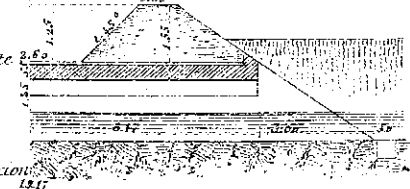
Fig^a 52

Sección transversal por EF.



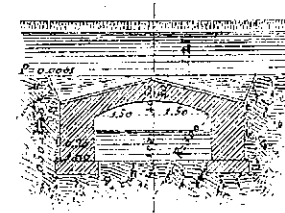
Fig^a 53

Alcantarilla
Corte longitudinal



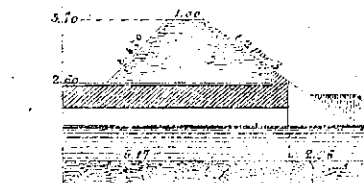
Fig^a 54.

Corte transversal



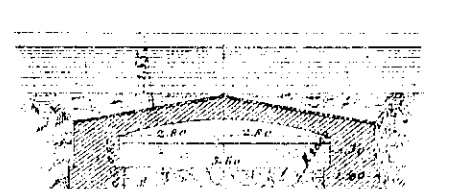
Fig^a 55

Ponton naeducto
Corte longitudinal



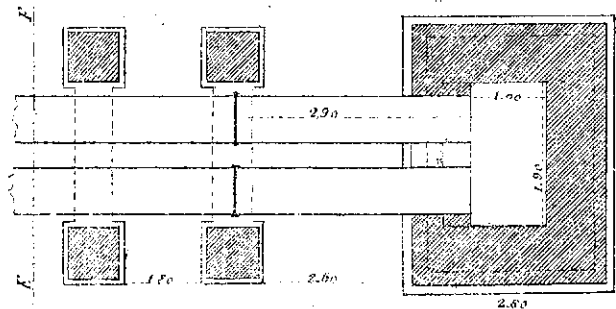
Fig^a 56.

Corte transversal



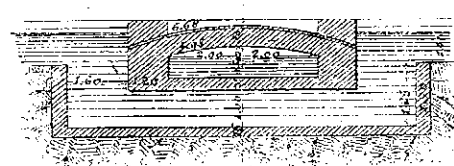
Fig^a 51^{bis}

Sección por el plano horizontal G.H.



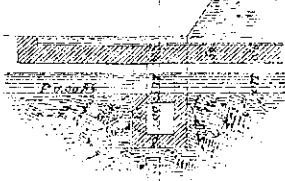
Fig^a 57.

Corte transversal del sifon



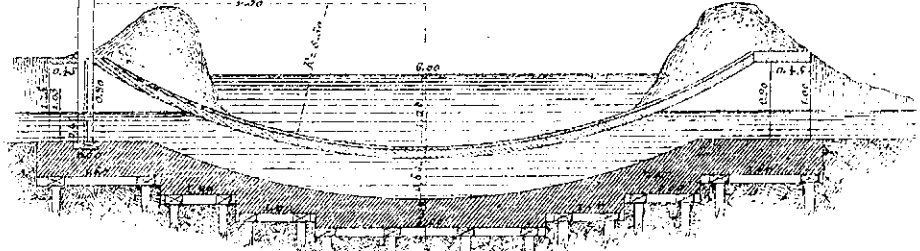
Fig^a 58

Corte longitudinal



Fig^a 59.

Corte longitudinal



Fig^a 60.

Corte transversal

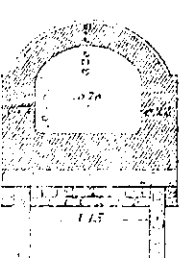
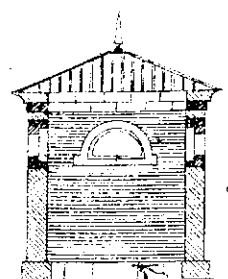


Fig.^a 62.

Sifon del acueducto



de Villa - Seccion

Fig.^a 61.

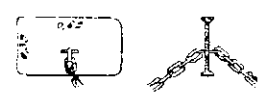


Fig.^a 64.
Tunel Espeluy

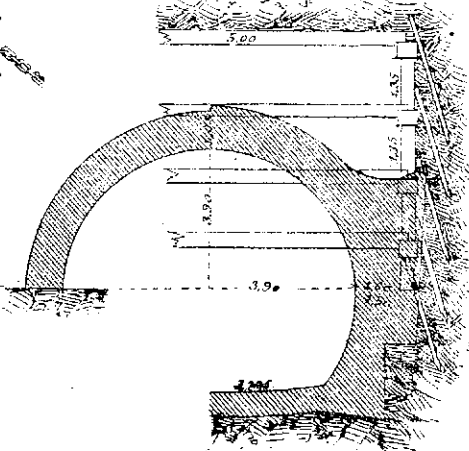


Fig.^a 67.

Fig.^a 65.
Tunel Espeluy

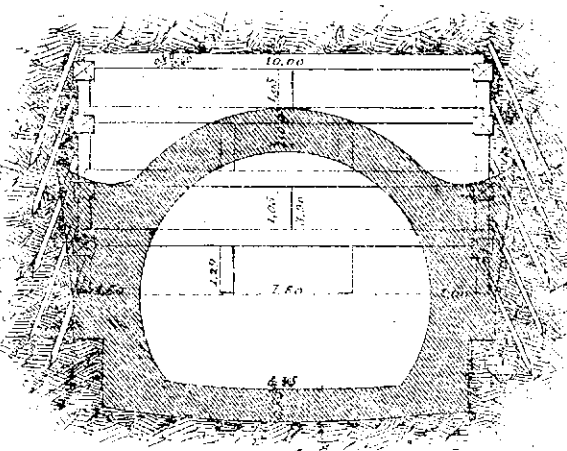


Fig.^a 66.
Entubacion Tono. Espeluy

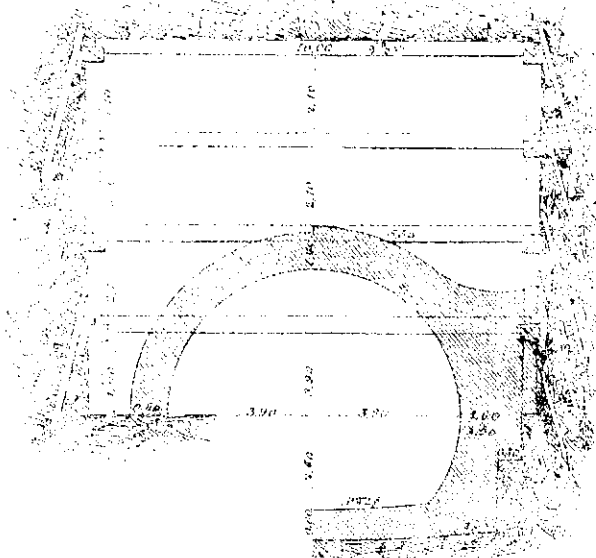


Fig.^a 69.

Fig.^a 63. Planta

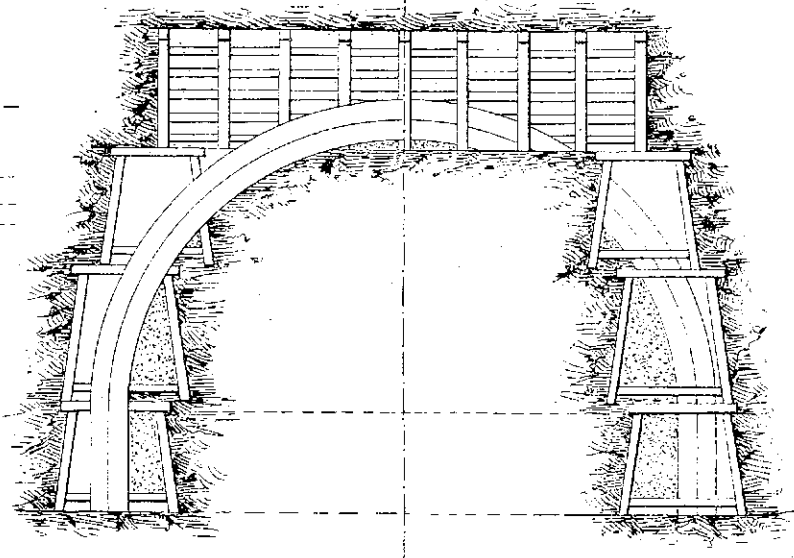
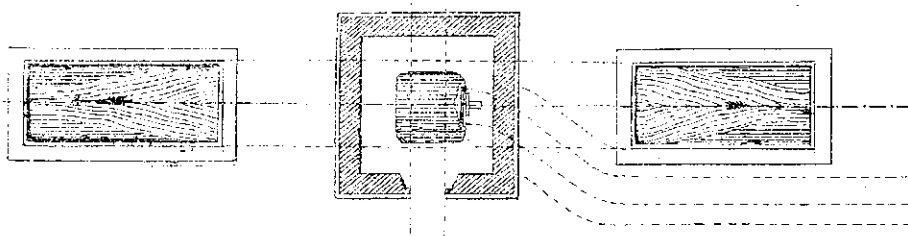
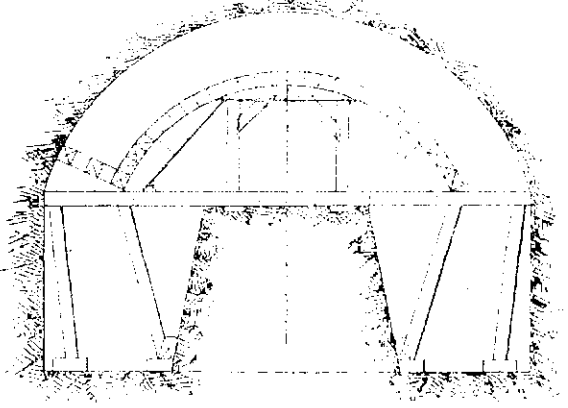
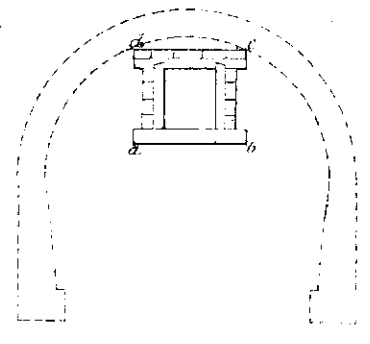


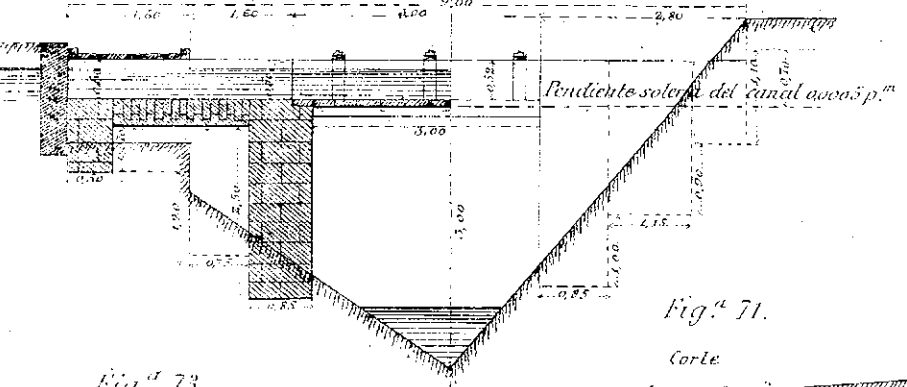
Fig.^a 68.



Seccion longitudinal

Fig.^a 70.

Alzado aguas abajo



Rendiente solo de del canal aguas p.^a

Fig.^a 71.

Corle

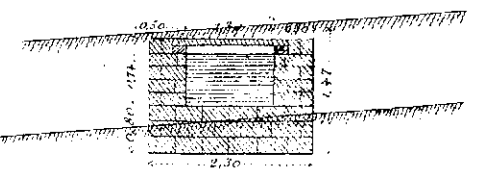


Fig.^a 73.

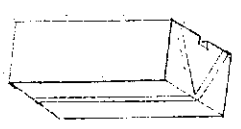
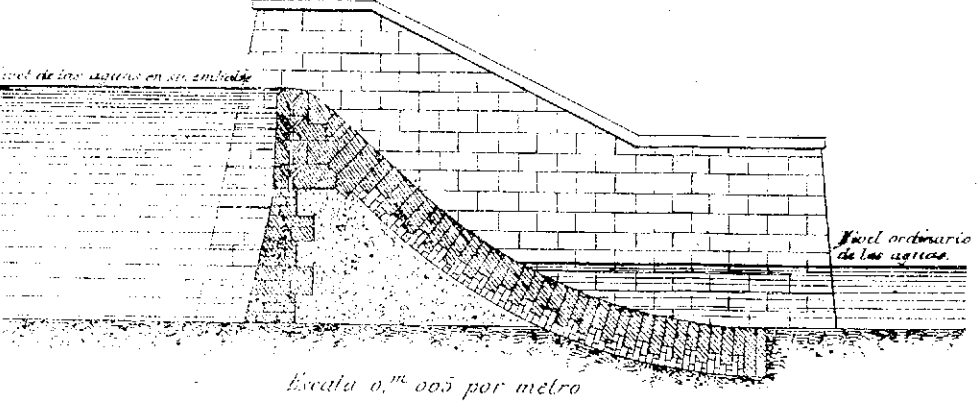


Fig.^a 72.



Escala 0.^m 005 por metro

Nivel ordinario de las aguas.

Fig.^a 77.

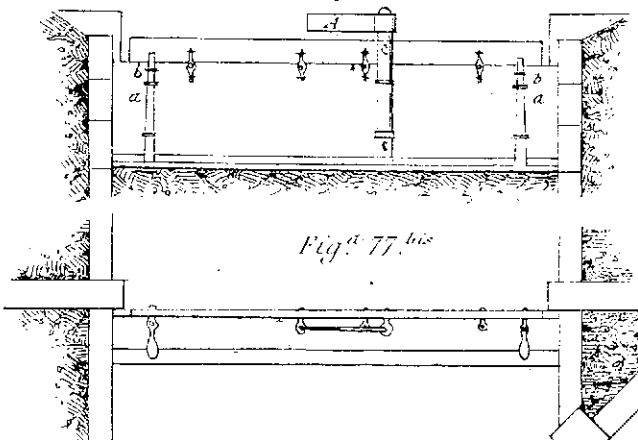


Fig.^a 77. bis

Fig.^a 76.

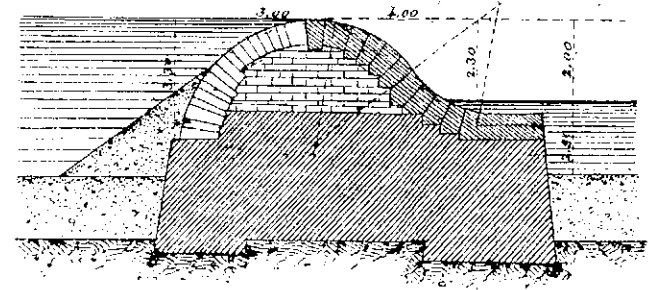


Fig.^a 74.

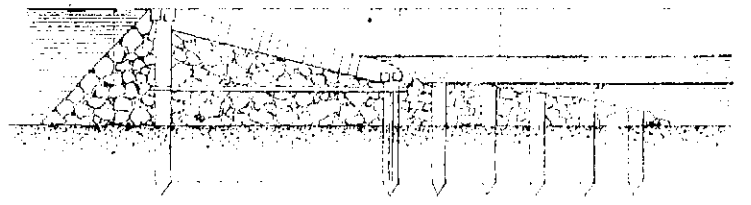


Fig.^a 75.

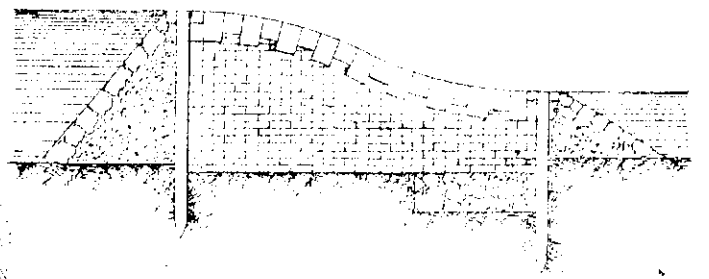


Fig. 78.

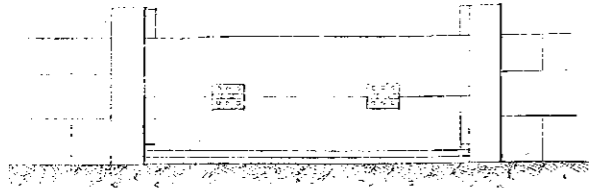


Fig. 79.

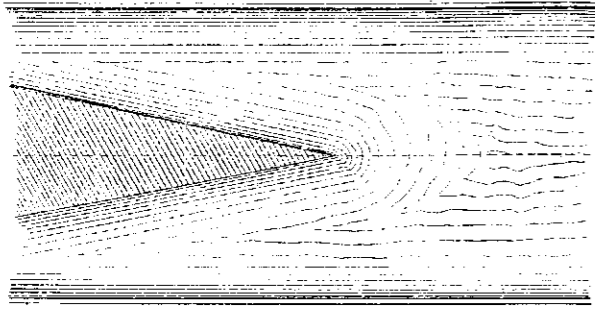


Fig. 80.

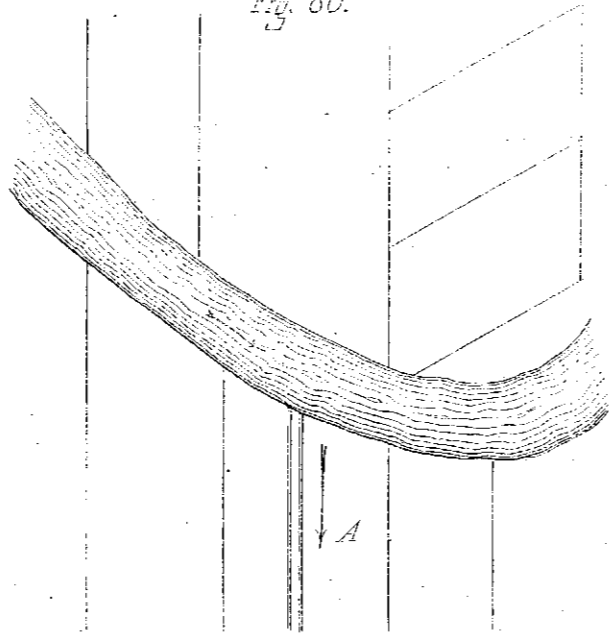


Fig. 81.

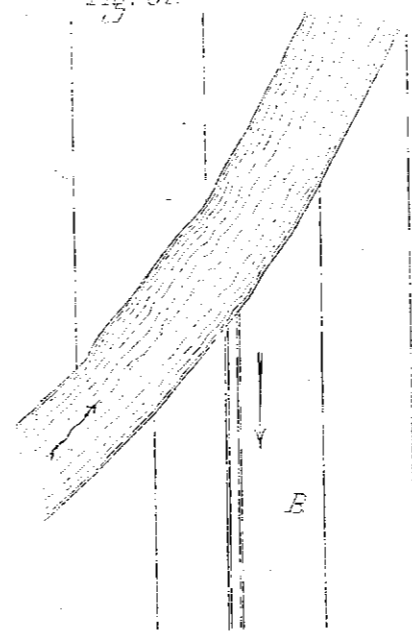


Fig. 82.

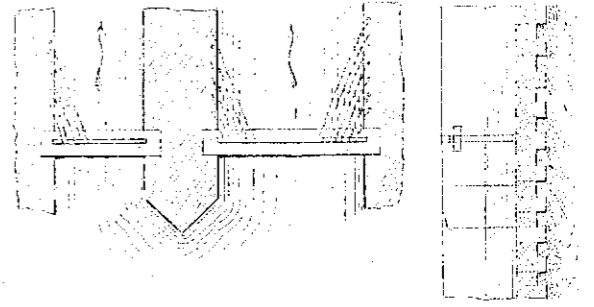


Fig. 83.

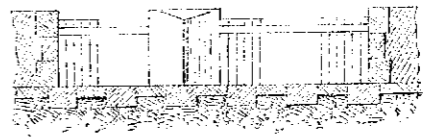


Fig. 84.

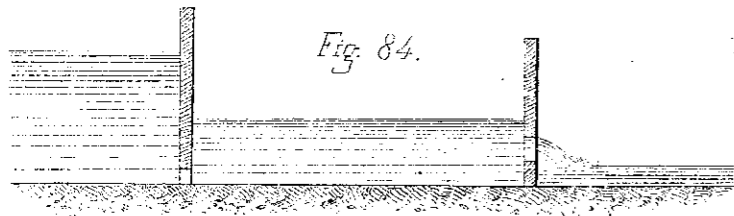


Fig. 85.

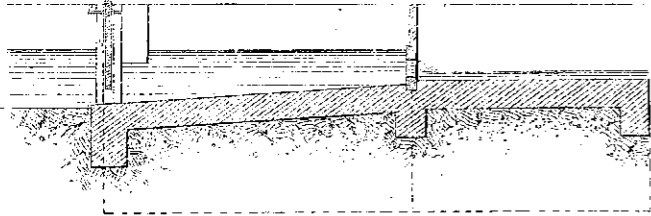
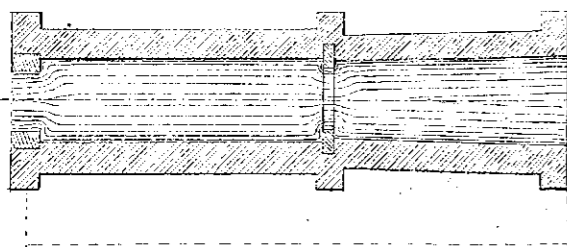


Fig. 86.



MODULO PARA LA DISTRIBUCION DE LAS AGUAS DE RIEGO.

Fig. 87.

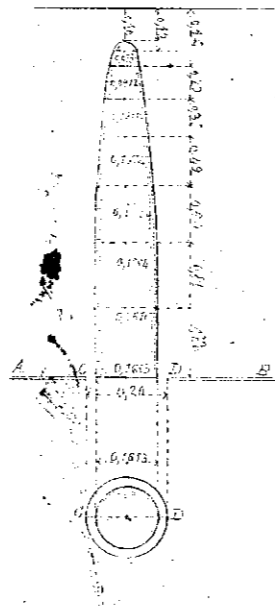


Fig. 88.

Seccion A.B.

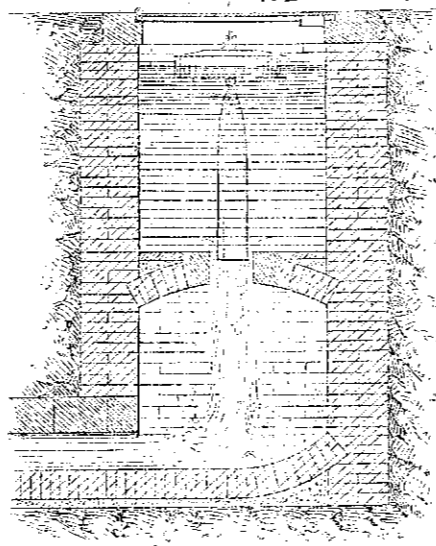


Fig. 89.

Seccion C.D.

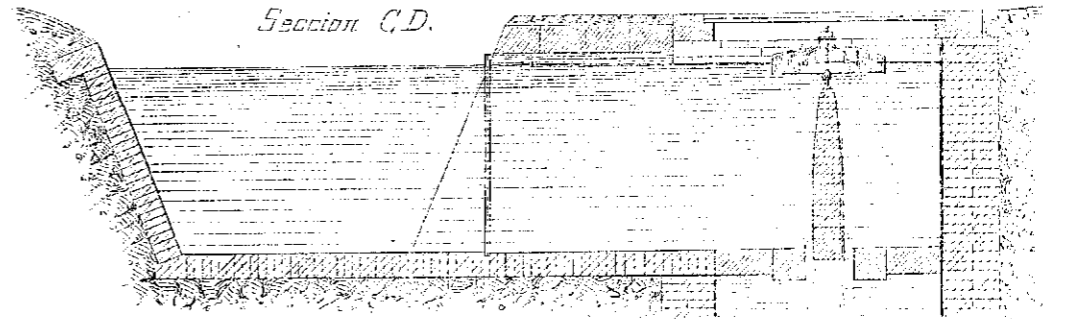


Fig. 90.

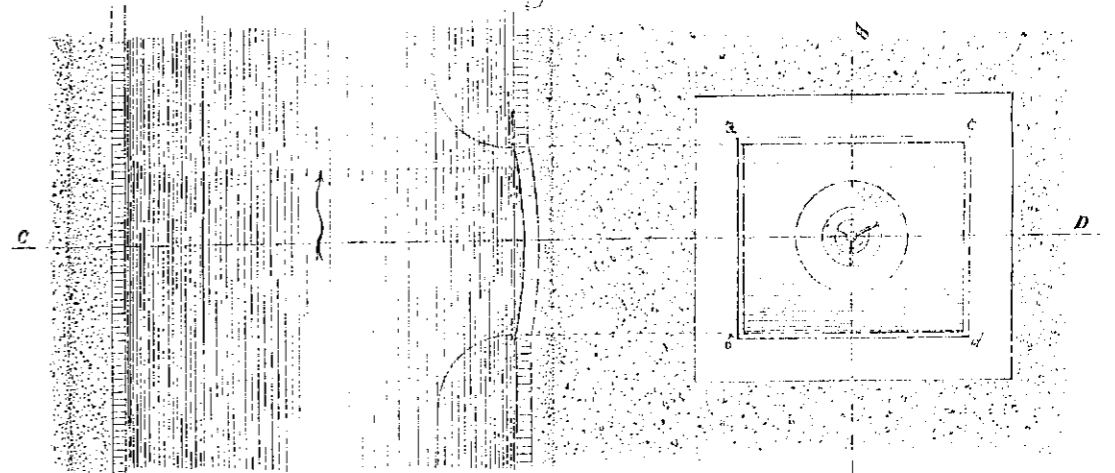
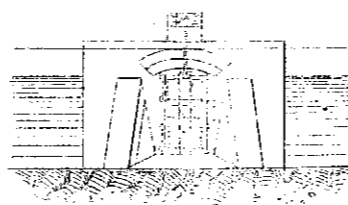


Fig. 91.



Escala de las Fig^s 82, 83 y 91
1 por 500

- programa general que sirva de pauta para el estudio hidrológico de las cuencas de todos los ríos de la Península.—T. XII, pág. 23.
- Abril 6.*—R. D. autorizando á D. Juan B. Alonso y Compañía para construir bajo el título de Canal del Príncipe de Asturias D. Alfonso, dos canales de riego derivados de las lagunas de Ruidera.—T. XII, pág. 121.
- Mayo 1.º*—R. D. autorizando á la Sociedad *Union Castellana* para construir un canal derivado del río Duero.—T. XII, pág. 150.
- Idem 31.*—R. O. declarando de utilidad pública las obras del canal de Guadalhorce, destinado á fertilizar la vega de Málaga.—T. XII, pág. 175.
- Octubre 5.*—R. D. autorizando la construcción de un canal de riego derivado del río Jarama.—T. XII, pág. 316.

1865.

- Mayo 28.*—R. O. autorizando la construcción de un canal derivado del río Aragón, que fertilice unas 50.000 hectáreas de terreno, situadas en el territorio denominado de las Cinco Villas de Aragón, con sujeción al proyecto y condiciones que se establecen.—T. XIII, pág. 243.
- Julio 4.*—Ley autorizando al marqués de Perales y otros para constituir una sociedad anónima por acciones, con objeto de construir dos canales de los ríos Esla y Henares.—T. XIII, pág. 304.
- Idem 11.*—Ley relativa á la aplicación de cien millones de reales para el fomento de riegos.—T. XIII, pag. 303.
- Idem 29.*—R. O. creando diez Divisiones hidrológicas con las denominaciones que se expresa.—T. XIII, pág. 336.
- Diciembre 18.*—R. O. estableciendo nuevas reglas para la instrucción de los expedientes que se refieran al ramo de aguas públicas y respecto á la vigilancia de las obras que ejecuten los concesionarios.—T. XIII, pág. 517.

1866.

- Enero 14.*—Circular previniendo á las corporaciones y funcionarios que emiten dictámen en los expedientes de aprovechamiento de aguas públicas, la forma en que deben verificarlo.—T. XIV, pág. 5.
- Marzo 17.*—R. O. autorizando á la Junta de aguas de Villanueva de Castellon para construir una presa en el rio Júcar.—T. XIV, pág. 88.
- Junio 4.*—R. D. autorizando la constitucion de la sociedad anónima titulada Compañía Ibérica de riego.—T. XIV, pág. 122.
- Julio 11.*—Ley concediendo un anticipo á la empresa del canal de Urgel.—T. XIV, pág. 138.
- Agosto 3.*—Ley relativa al dominio y aprovechamiento de aguas.—T. XIV, pág. 141.
- Setiembre 3.*—R. D. modificando los términos de la concesion del canal de Tamarite de Litera.—T. XIV, pág. 208.
- Octubre 28.*—R. O. modificando la forma en que debe hacerse el pago del uso del agua del Canal Imperial de Aragon, que se concede á los particulares.—T. XIV, pág. 253.

1867.

- Enero 31.*—R. O. confirmando la de 19 de Febrero de 1866 en cuanto se determinó ser ajena del presupuesto del Estado la conservacion del canal de María Cristina.—T. XV, página 26.
- Febrero 7.*—R. O. mandando se proceda á practicar los estudios definitivos para reparar los trechos en que se interrumpe el Canal Imperial de Aragon y prolongarle hasta Quinto.—T. XV, pág. 28.
- Abril 30.*—R. O. disponiendo los derechos que deben abonar los concesionarios de aguas del Canal de Isabel II que las utilizan para el riego.—T. XV, pág. 78.

- Junio 4.*—Circular disponiendo la forma en que deben abonarse las indemnizaciones del personal de Obras públicas ocupado en la vigilancia de obras para el aprovechamiento de aguas.—T. XV, pág. 86.
- Julio 11.*—R. O. dictando varias disposiciones acerca del aprovechamiento de aguas en las provincias ultramarinas.—T. XV, pág. 110.

1868.

- Febrero 28.*—R. O. concediendo á D. Poncio Muñoz autorizacion para aprovechar las aguas subterráneas del torrente de Montells y de la riera de Cardedu, con arreglo á las condiciones que se expresan.—T. XVI, pág. 62.
- Marzo 8.*—R. O. concediendo á D. Faustino Fernandez autorizacion para desecar las marismas del rio Aboño.—T. XVI, página 73.
- Abril 15.*—R. D. declarando de utilidad pública las obras de desecacion de la laguna Antela y encauzamiento de una parte del rio Limia y concediendo autorizacion para ejecutarlas.—T. XVI, pág. 106.
- Julio 1.º*—Autorizando á D. Fermin Abella para construir un canal de riego llamado de Talavera, provincia de Toledo.—T. XVI, pág. 242.
- Idem 30.*—Declarando la navegacion del Guadalquivir como servicio preferente al de riegos que pudieran establecerse con aguas derivadas del mismo ó sus afluentes.—T. XVI, página 281.
- Agosto 21.*—R. O. concediendo á D. Juan de Rivera 54 reales fontaneros de agua del Canal de Isabel II con destino al riego de un terreno de su propiedad.—T. XVI, pág. 285.
- Noviembre 13.*—O. declarando caducada la concesion para construir un canal de riego derivado del rio Jarama, otorgada en 1864 á D. G. Portington.—T. XVI, pág. 368.
- Idem 14.*—Decreto estableciendo bases generales para la nueva legislacion de Obras públicas.—T. XVI, pág. 368.

1869.

- Febrero 20.*—Ley referente á la concesion y construccion de canales de riego.
- Abril 11.*—Circ. dictando disposiciones para facilitar la instruccion de los expedientes que se promuevan para derivar aguas públicas con destino á usos particulares ó de empresas.
- Idem 16.*—O. dejando sin efecto la de 30 de Julio último respecto á la suspensión de los expedientes promovidos para construir canales de riego derivados del Guadalquivir, cuya tramitacion continuará segun se expresa.
- Agosto 12.*—Decreto sobre expropiaciones.
- Noviembre 14.*—O. aprobando el reglamento para el aprovechamiento de aguas del canal Imperial de Aragon.

1870.

- Febrero 8.*—Ley ratificando la autorizacion concedida por R. D. de 28 de Mayo de 1863 para construir un canal de riego con sus pantanos complementarios, derivado del rio Aragon, para fertilizar 50.000 hectáreas de terrenos en el territorio de las Cinco Villas.
- Idem 20.*—Ley sobre canales y pantanos de riego.
- Junio 30.*—Ley confirmando la concesion para construir el canal de riego de Cinco Villas, con sus canales complementarios, conforme á las leyes de 7 y 20 de Febrero de este año.
- Julio 26.*—Se resuelve que lo dispuesto en el art. 13 de la Constitucion no obsta para que los tribunales y jurados de aguas sigan corrigiendo las infracciones de las ordenanzas por que se rigen las respectivas comunidades.
- Diciembre 20.*—Reglamento para la aplicacion de la ley de 20 de Febrero, referente á canales y pantanos de riego.

INDICE.

PARTE PRIMERA.

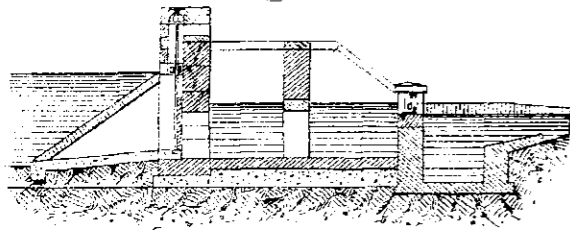
	Págs.
INTRODUCCION.	7
CAPÍTULO PRIMERO.—Ventajas generales de los riegos.	9
CAPÍTULO II.—Diferentes modos de establecer los canales de riego.	16
CAPÍTULO III.—Idea general de los terrenos.	19
CAPÍTULO IV.—Clasificación de los terrenos.	22
CAPÍTULO V.—Configuración general de los terrenos.	29
CAPÍTULO VI.—Cantidad de agua empleada en los riegos.	31
CAPÍTULO VII.—Trazado y establecimiento de los canales.— Estudios sobre el terreno.—Pendientes y secciones.— Determinación de la sección.	40

PARTE SEGUNDA.

CAPÍTULO VIII.—Principales obras de fábrica aplicables á los canales de riego. — Fundaciones. — Ataguías — Muros. — Badenes. — Revestimientos. — Almenaras. — Compuertas. — Depósitos, etc.	75
Tomas de agua de los canales principales. — Puentes. — Alcantarillas. — Puentes-acueductos. — Puentes-sifones.	80
CAPÍTULO IX.—Continuación de las obras de fábrica. — Túneles. — Reglas especiales relativas á su establecimiento. — Método de ejecución. — Sujeciones diversas, agotamientos, gastos comparativos. — Aplicación de estos principios á los canales de riego. — Tipos varios.	98
Túnel de Monclar en el canal de Urgel.	115
Nota de los precios que han tenido algunos túneles.	124

CAPÍTULO X.—Puentes-acueductos.—Consideraciones principales relativas á las obras de grandes dimensiones.—Detalles de varios puentes-acueductos.—Estudio comparativo de un puente-acueducto ó de un sistema de sifones de fundicion.	125
CAPÍTULO XI.—Diques y presas.—Encauces y defensas de los rios.—Sistemas de presas.—Eleccion de su emplazamiento.—Direccion de las presas con vertientes.—Su construccion y forma.—Fórmulas para el cálculo de sus espesores.	139
Descripciones de las presas de los canales de Lozoya, de Urgel y del Henares.	156
Estado comparativo de las principales dimensiones y circunstancias de las presas de retencion más notables que se han construido en España.	170
Continuacion de las presas.—Presas movibles.—Diferentes sistemas, su descripcion y maniobra.	171
CAPÍTULO XII.—De las presas.—Presas automovibles.—Presas volantes.—Observaciones sobre este sistema.—Sistema de alzas que giran sobre un eje.—Extreñimiento de las presas movibles.—Presas temporales é inestables.	178
CAPÍTULO XIII.—De los depósitos.—Su utilidad.—Estudios y construcciones de los grandes depósitos.—Principales depósitos de riego construidos en los tiempos modernos. Continuacion de los depósitos.—Su utilidad para los riegos que se efectúan por medio de manantiales y con escasos volúmenes de agua.	186
CAPÍTULO XIV.—Lagos, estanques y pantanos.—Proyectos varios.	199
CAPÍTULO XV.—De la distribucion de las aguas.—Partidores.—Hidrómetros y módulos.	210
Módulos de los canales de Madrid y Henares.	220
CAPÍTULO XVI.—Precio del agua.—Cánon anual en diferentes canales.	236
CAPÍTULO XVII.—Empleo de las aguas de riego.	259
Resúmen de las leyes, decretos y reglamentos relativos al aprovechamiento de aguas desde 1834 hasta 1870.	268
	291

Fig.^a 92.



Corte longitudinal
Fig.^a 94.

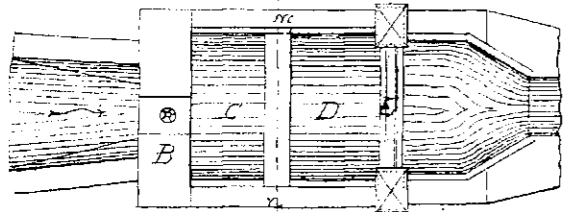
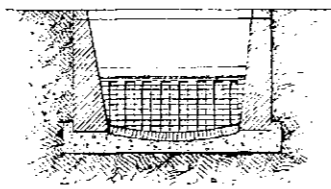


Fig.^a 93.



Corte trasversal por m.n.

Fig.^a 99.

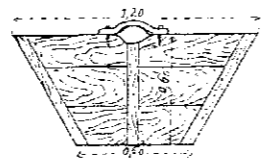


Fig.^a 95.

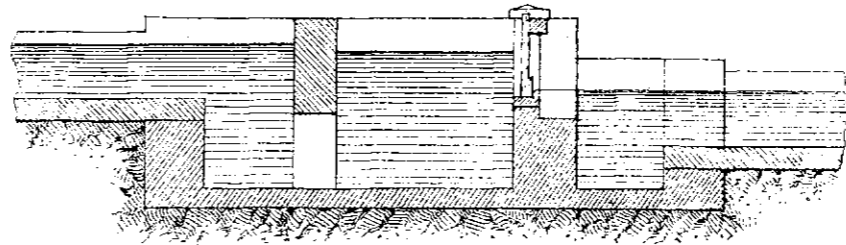


Fig.^a 96.

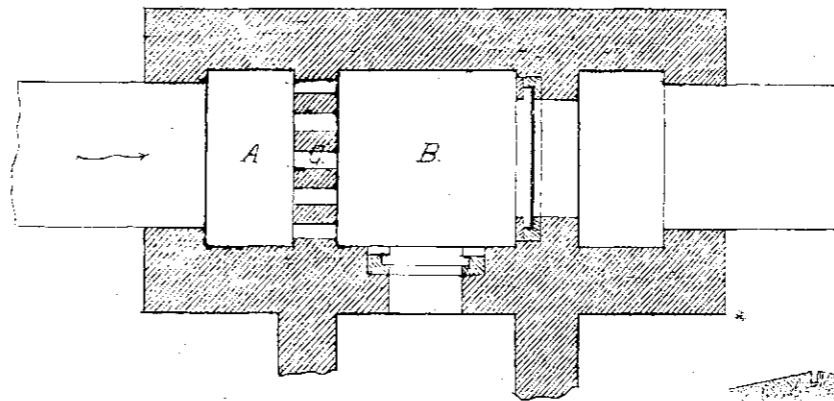


Fig.^a 100.

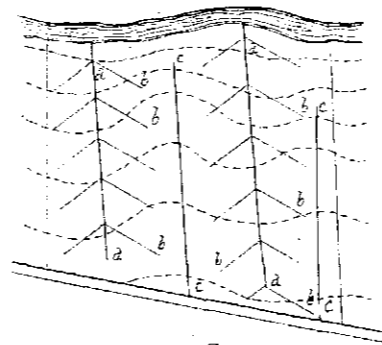


Fig.^a 107.

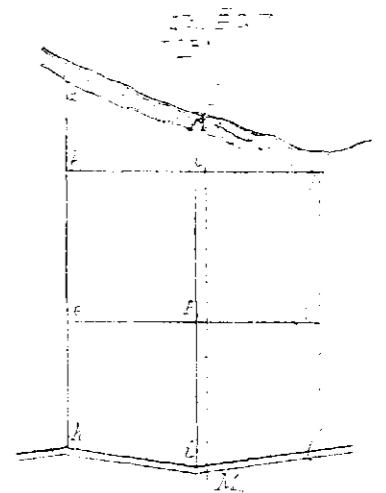
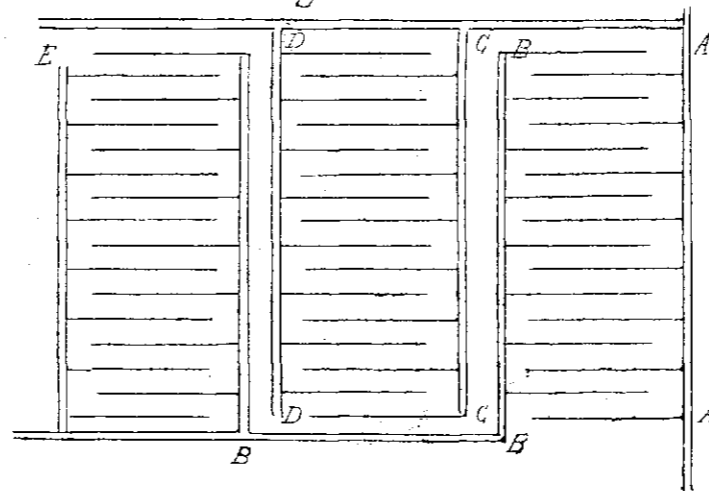
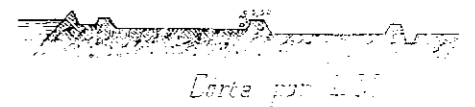


Fig.^a 98.



Corte por m.n.

Fig.^a 105.

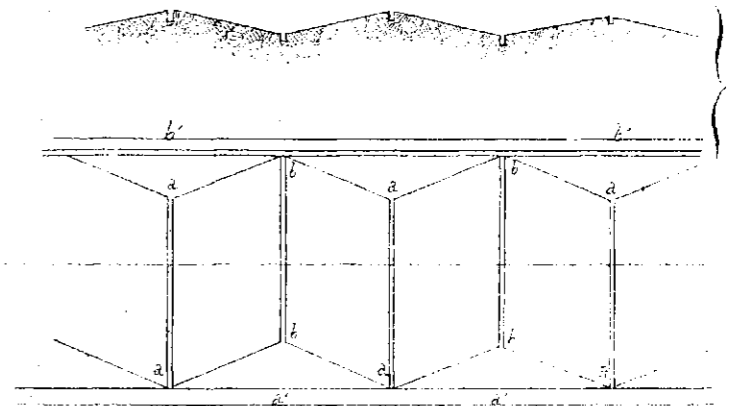


Fig.^a 101.

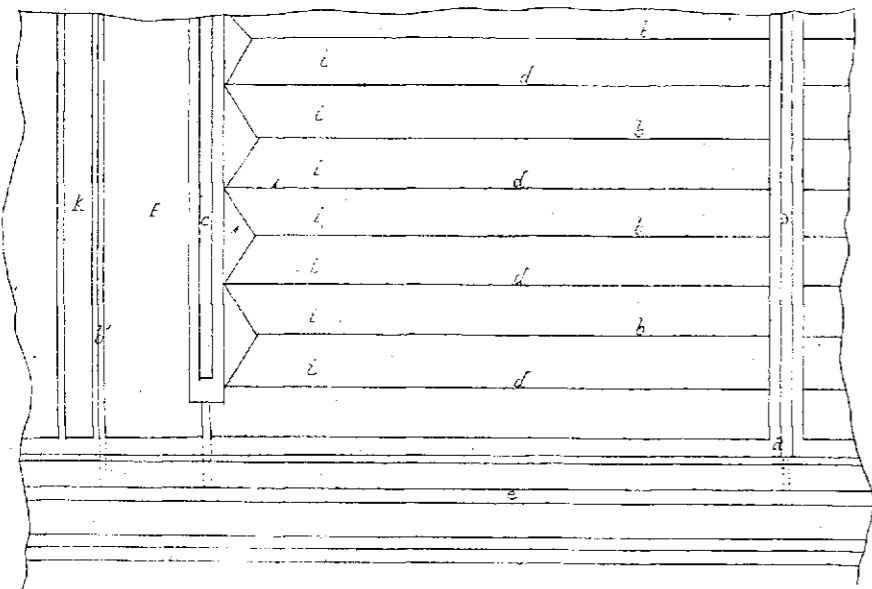


Fig.^a 102.



Fig.^a 103.



Fig.^a 104.

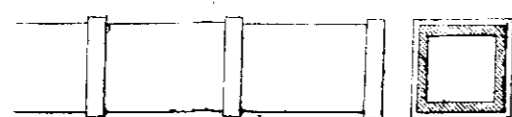
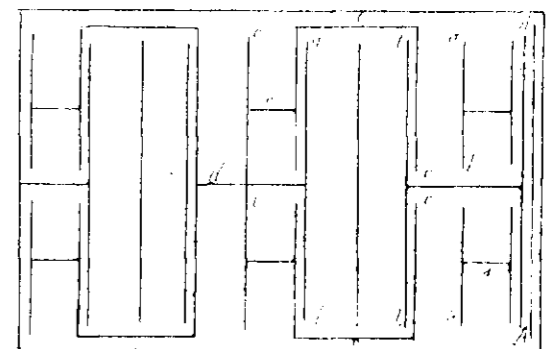


Fig.^a 106.



CORRECCIONES.

Página.	Línea.	Dice,	Debe decir.
49	24	muy suave	sea suave
44	19	corrodero	escorredero
45	4	viejo	riego
56	15	$\sqrt{d b^2 + b b^2}$	$\sqrt{d b'^2 + b b'^2}$
		$\frac{c L}{c G}$	$\frac{c L}{c C}$
59	3	G	C
70	24	$s = l h + n_s h^2$	$s = l h + n h^2$
75	2	Capítulo primero	Capítulo octavo
103	7	las esperanzas	la experiencia
124	14	abril	abrir
125	1	Capítulo III	Capítulo X
136	6	cuantidades	cantidades
139	1	Capítulo IV	Capítulo XI
152	22	fig. 77	fig. 72
153	9	fig. 77	fig. 74
160	16	943,4	43,49
169	9	Fucar	Jucar
181	6	fig. 78	fig. 77 bis
187	4	Saubert	Jaubert
205	3	irregable	regable
239	27	Milans	Milan
257	21	cavidad	cabida
259	2	XV	XVI
268	2	XVI	XVII

