

diremos que el día de máxima evaporación en el invierno de 1870 fué 3,6 milímetros; en la primavera del mismo año 9,8, en el verano 12,5 y en el otoño 9,8 y las mínimas evaporaciones respectivas fueron 0,0; 1,2; 2,8; 0,3. Advertimos por último que el invierno comprende, para estos cálculos, Diciembre, Enero y Febrero, la primavera Marzo, Abril y Mayo, el verano Junio, Julio y Agosto y el otoño Setiembre, Octubre y Noviembre.

**MODIFICACION DE ESTOS DATOS.** Ya hemos indicado en diversos sitios que cada cual debe repetir las observaciones sobre un pluviómetro y un vaso evaporatorio en la localidad misma que se trata de estudiar ó inmediato al pantano que se trata de desecar. Modifican en primer lugar dichos datos la capa de rocío ó escarcha que puede haber durante las noches: el primero es la condensación del vapor de agua de la atmósfera durante la noche, por el enfriamiento debido á la irradiación á los espacios planetarios, sobre todo en las serenas y de poco viento; la escarcha es el rocío congelado por el frío sobre las plantas ó sobre el suelo. Influyen por consiguiente en esto la presencia ó ausencia de nubes y la acción y fuerza del viento reinante.

La cantidad de agua condensada en los rocíos, por fuertes que sean en nuestro clima, no equivale á un milímetro de agua de lluvia; en las escarchas no pasa de  $1\frac{1}{2}$ . Los días de escarcha en Madrid son unos 26 al año, de los que unos 20 corresponden al invierno, 5 al otoño y 1 á la primavera.

Influyen también en lo antedicho la configuración del terreno, la naturaleza del mismo y sobre todo la mayor ó menor vegetación de que se halla cubierto, condiciones que sólo pueden apreciarse en cada caso particular. Por otra parte la temperatura misma de la localidad se modifica con estas condiciones é interviene á su vez poderosamente en la evaporación del agua.

La altitud del terreno, esto es, su elevación sobre el nivel del mar, origina una sequedad en la atmósfera tanto mayor cuanto mayor es dicha altitud, y por consiguiente aumenta en este caso la cantidad de agua evaporada, si bien aumenta también á veces la cantidad de agua llovida.

Así se explica la sequedad de la región de Levante y Mediodía de España por su elevada temperatura y la configuración de su terreno, expuesto á corrientes de vientos cálidos y secos que vienen de Africa, mientras que la costa del Oeste de España y Portugal recibe los vientos húmedos del Atlántico y con ellos frecuentes lluvias. La meseta central de la península, que es bastante elevada, es por esto generalmente seca.

Las nieblas modifican asimismo la cantidad de agua evaporada, pues si bien no son otra cosa que la condensación en gotas muy diminutas del vapor que hay en la atmósfera, pudiera suceder que fueran arrastradas por el viento de un lugar á otro, produciendo en tal caso una variación notable en la humedad del aire en el sitio á que llegaran, y por consiguiente de la cantidad de agua evaporada en el suelo correspondiente.

Por último, según los experimentos de Gasparin, comparando el agua evaporada en una vasija y en una tierra empapada inmediata, resulta que ésta es de  $\frac{1}{4}$  á  $\frac{1}{6}$  de aquélla: esta relación es tanto menor, ó sea  $\frac{1}{6}$ , cuando es poca el agua evaporada por causa de mucha humedad en el aire ó baja temperatura.

Las plantas evaporan mucha agua en la transpiración por las hojas y no absorben ninguna por éstas, según veremos en el capítulo VI.

**AGUA FILTRADA EN EL TERRENO.** Continuando el estudio de la condición 3.<sup>a</sup> para un desecamiento debemos examinar ahora todo lo concerniente á la cantidad de agua que se fil-

tra por el suelo. En este punto, con mayor razón aún que en el relativo á la evaporación, debemos insistir en la necesidad de hacer observaciones locales.

El estado de la superficie del suelo y la composición geológica de sus capas superiores son los elementos más importantes de esta cuestión. En un suelo labrado y cubierto de plantas pequeñas y tiernas la filtración es considerable, porque el agua, preservada del viento y del sol y retenida por las plantas, entre las que se introduce, no puede evaporarse con facilidad ni menos correr por la superficie del terreno. Por el contrario, en un suelo descubierto, compacto y árido, la filtración será mucho menor, á igualdad de las demás condiciones, y la mayor parte del líquido correrá por él para formar los arroyos, ó pasará á la atmósfera en estado de vapor, gracias á las acciones combinadas del viento y del sol. Entre estos dos casos, que podremos tomar como extremos, hay una multitud de otros intermedios, que hacen variar al infinito las relaciones de las cantidades de agua corriente filtrada y evaporada.

No interviene sólo en esto el estado de la superficie, sino que ejercen también capital influencia en la naturaleza del suelo y el sub-suelo y su permeabilidad mayor ó menor. Por estas razones es imposible determinar preliminarmente por una regla general las relaciones entre las cantidades de agua caídas, evaporadas y filtradas. Esta relación varía de un lugar á otro y no puede ser determinada en cada caso particular sino por una larga serie de observaciones. Los resultados siguientes muestran las diferencias que hay á este respecto.

La evaporación en la superficie de las tierras mojadas es mucho menor que la observada en los vasos evaporatorios destinados á estos experimentos. Así Prony admite que la capa de agua evaporada en las lagunas Pontinas, cerca de Roma, no llega á la décima parte de la que cae por lluvia, á pesar de ser la capa evaporada bastante mayor. No tomaremos, pues, en los datos anteriores como cantidad evaporada, toda la capa de agua que en ellos consta.

También debemos observar que para asegurar el buen éxito de los trabajos de la desecación de un pantano, es preciso tener en cuenta la mayor cantidad de agua que pudiera caer en una tempestad al cabo de un corto número de horas, sin extremar por esto los datos, puesto que por grande que sea la tempestad tarda siempre algún tiempo en llegar al pantano el agua de los afluentes ó de las vertientes, y durante dicho tiempo puede ir saliendo por los medios previstos. Así, por ejemplo, aunque en algunas tempestades se ha observado en Roma una altura de  $0^m,12$  para la capa de agua en 12 horas, Prony sólo consideró en el citado proyecto de desecación de las lagunas Pontinas una capa de 0,04 á 0,07.

La absorción del agua por las tierras suele considerarse como superior á la cantidad evaporada. A falta de datos seguros Prony estimó en el citado proyecto que el espesor de la capa de agua absorbida es una tercera parte del de la caída, y esta relación se hizo subir mucho más en la desecación de los pantanos del Mediodía de Francia.

**DATOS SOBRE FILTRACION.** A falta de datos españoles damos los que van á continuación, cuyo valor es meramente relativo, y su objeto único el que sirvan de auxiliar para las observaciones que cada cual debe practicar sobre el terreno que trata de desecar.

Se han hecho observaciones colocando tierras en vasos cilíndricos, y observando la filtración al través de las mismas, al par que se media la cantidad de agua que caía en un pluviómetro de igual tamaño que el vaso de la tierra; otras veces se han variado algún tanto

estas pruebas. Así se ha visto en Inglaterra que la filtración total al cabo del año era la cuarta parte del agua caída, y la evaporación las tres cuartas partes, debiendo advertir que la naturaleza del experimento impedía que el agua pudiera correr libremente, y tenía que ser forzosamente filtrada ó evaporada. En Ginebra se vió en experimentos análogos, que la filtración llegaba á 38½ por 100 y la evaporación á 61½ de la cantidad de agua llovida.

El notable agrónomo Gasparin vió en Francia que la filtración anual era 17½ por 100 y la evaporación 82½ del agua llovida. Podríamos citar otros muchos datos de este género, pero basta con los anteriores para notar la divergencia, la cual será mayor para nuestro país.

Atendiendo ahora, además, á la cantidad de agua que puede correr libremente por el suelo, diremos que los ingenieros franceses han calculado, comparando el caudal de agua que lleva el Sena, con la que cae en la cuenca que alimenta á él y á sus afluentes, que de dicha agua llovida las cinco sétimas partes se pierden por evaporación y filtración, y dos sétimas es el agua que lleva el río al mar.

En el Ródano esta agua llevada al mar representa 0,58, ó sea bastante más de la mitad de la llovida en la cuenca que le alimenta. Para algunas lagunas francesas se ha visto que la cantidad de agua caída en una tempestad de intensidad media, se reparte, de suerte que las cuatro sétimas se pierden por evaporación y filtración y sólo las tres sétimas pasan á las lagunas en forma de capa de agua. De aquí el admitirse en Francia, según la autorizada operación del ingeniero Mangon, que la cantidad de agua perdida por absorción y evaporación varía de ¼, á ⅓ del agua llovida, y en España, en razón á su mayor temperatura y sequedad en la atmósfera, podemos tomar este último número, pues dichas condiciones parece que deben compensar con exceso el menor cultivo del terreno, y por consiguiente, la menor filtración: en otros términos, las pérdidas por mayor evaporación deben ser superiores á las citadas, en mayor cantidad que las pérdidas por filtración deben ser menores con respecto á sus análogas de Francia.

**AGUA ACUMULADA.** Respecto de la cuarta y última condición preliminar para el estudio de un desecamiento que en su lugar hemos indicado, diremos que el aforo de los manantiales, arroyos y torrentes que vierten sus aguas en un pantano se realizarán por los medios indicados en el capítulo I.

• Sin embargo, la medición del volumen de agua de un torrente, sobre todo después de un día tempestuoso, es bastante difícil, ya porque es preciso esperar el momento propicio, ya también porque el movimiento impetuoso y variable del agua no permite seguir los procedimientos de aforo ya explicado.

Puede seguirse entonces un procedimiento que expondremos sobre un ejemplo. Sea un pantano cuya cuenca tenga 200.000 metros cuadrados de superficie, esto es, 20 hectáreas nada más, sea 0<sup>m</sup>.09 la capa de agua que puede caer en un día de tempestad, la cual se toma, según ya hemos dicho, inferior al verdadero valor observado, número que sin gran error se podrá aceptar en la generalidad de los casos en nuestro país y que ha servido para los pantanos del mediodía de Francia; sea por último ⅓ la relación del agua evaporada y filtrada á la caída.

Tendremos: que la cantidad de agua que habrá que sacar en dicho día de tempestad, es  $\frac{2}{7} \times 200.000 \times 0,09 = 5.142$  metros cúbicos por día. Se necesita conocer ahora el tiempo empleado por el agua que corre por la cuenca para acumularse en masas capaces de producir desperfectos; este tiempo depende de la forma del terreno y de mil diversas

circunstancias. Para las lagunas Pontinas se fijó en 212.000 segundos ó sea unas 59 horas; para las del mediodía de Francia en 691.200 segundos. Suponiendo que se trate de un terreno bastante abrupto y cuyas laderas no tengan mucha vegetación, tomaremos el primer número, si bien para una cuenca tan pequeña debería ser menor, y en tal caso la cantidad de agua que debe sacarse por segundo del pantano es, atendiendo á la lluvia, 243 litros por segundo. Con arreglo á este número, calcularemos el desagüe. Debemos advertir que algunos toman la capa de agua como caída en 12 horas: en tal caso es preciso tenerlo en cuenta, ó bien reducir á la mitad el número de segundos destinados á la concentración de las aguas; con la capa de agua (que hemos fijado en 0<sup>m</sup>.09) puede seguirse literalmente el ejemplo.

**CANAL DE CINTURA.** Cuando se trata de un pantano que es preciso desecar por medio de máquinas, por no ser posible apelar á un canal, hay que separar de la superficie del pantano todas las aguas exteriores que sin esto continuarían afluyendo al mismo y tendrían que ser extraídas por procedimientos costosos.

De aquí la necesidad de un canal llamado de cintura destinado á este objeto y calculado con los elementos que hemos dado en el párrafo anterior. Es casi siempre necesaria la existencia de este canal de cintura. La causa principal de la formación de los pantanos es generalmente la dificultad que tiene el agua para correr, por la poca pendiente del suelo, y conviene por consiguiente aumentar la facilidad de la salida. Además de esto, las pendientes de las cuencas inmediatas al pantano suelen ser mayores á las del fondo de éste ó á las de las tierras colindantes, de suerte que al perder las aguas su velocidad, depositan las materias que traían en suspensión y obstruyen el lecho de los canales de desecación. Por todo esto, y por algunas otras razones, conviene recoger, excepto en circunstancias muy singulares, todas las aguas que afluyen al pantano por la pendiente natural del terreno, y reunir las en un canal de cintura.

El trazado de éste depende de la disposición local. Se debe procurar dirigirle de modo que se utilicen los lechos existentes y reducir en todo lo posible el gasto, sin perjudicar al buen resultado de los trabajos. El trazado determina generalmente las pendientes de estos canales, las cuales deben ser las mayores posible para evitar los depósitos, sin exceder por esto de los límites necesarios para la buena conservación, según dijimos en el capítulo II, ni los niveles impuestos por las necesidades de los riegos ó de otros servicios.

Una vez determinada la pendiente y longitud del canal de cintura, será posible calcular su sección, no bien se conozca el volumen de agua que ha de llevar por segundo. Este se compone de dos sumandos, uno el ya determinado anteriormente sobre un ejemplo, para calcular el agua llovida en un día de tempestad, y otro el de los manantiales ordinarios y casi constantes que afluyen al pantano, los cuales se aforarán por los procedimientos ya descritos. La suma será el caudal total que debe llevar el canal de cintura.

La forma generalmente adoptada para estos canales en su sección es la de un trapecio. Cuando hay una diferencia muy notable, como ocurrirá frecuentemente en España entre el gasto del estiaje y el debido á las crecidas ó á las lluvias tempestuosas, se abre en la parte superior el lecho preparado para el estiaje, de suerte que el perfil trasversal se componga de dos trapecios superpuestos. El exceso de la base inferior del trapecio grande sobre la base superior del pequeño forma una ó dos banquetas adonde no llega el agua sino en los momentos de las crecidas; durante el estiaje las aguas, encerradas en un lecho estrecho, conservan la velocidad necesaria para prevenir los depósitos. Si se teme la acción de grandes

crecidas extraordinarias se puede establecer á derecha é izquierda del canal, y á una distancia conveniente, pequeños diques longitudinales que formen un segundo lecho mayor, destinado á contener los desbordamientos accidentales.

**DIVERSOS MODOS DE DESECAMIENTO.** Una vez construido el canal de cintura, que es aplicable en la mayoría de los casos, es preciso acometer la obra principal, á saber, sacar el agua estancada, para lo cual pueden adoptarse varios procedimientos.

El más general consiste en disponer un canal que dé salida á las aguas detenidas y á las que puedan caer en el terreno que ocupaba el pantano, puesto que las recogidas por las laderas afluentes saldrán por el canal de cintura.

A veces basta arreglar bien el curso de un rio para evitar los pantanos que éste produce.

Otro procedimiento es el empleo de pozos de absorcion, cuando el terreno se preste á ello, destinados á recoger dichas aguas.

Por último, puede usarse el medio de levantar artificialmente el terreno, lo cual se ejecuta á su vez por tres medios distintos: el primero es un saneamiento con grandes y profundas zanjas cuya tierra recubre el resto; el segundo es echar en la corriente de agua tierra para que ésta se vaya depositando en el fondo del pantano y el tercero es aprovechar el légamo que llevan las aguas turbias naturales para conseguir el mismo fin.

Examinaremos sucesivamente estos procedimientos, dejando para el último el desecamiento con ayuda de máquinas que saquen mecánicamente el agua depositada.

**DESECAMIENTO POR CANAL.** Este primer caso puede dividirse en otros dos, segun que la corriente del agua en este canal haya de ser permanente ó intermitente: esto último tiene lugar en las marismas cuyos canales desembocan en el Océano ó en las rias adonde alcanzan las mareas y para trozos de terrenos que encontrándose sobre el nivel de la baja mar están por debajo del de la pleamar.

Si la corriente debe ser casi permanente, ya para las aguas que nacen en el pantano que provienen de fuentes naturales, ya para las de lluvias bastante regulares, se establece un canal central dirigido segun el *eje principal* de la corriente. Llámase así el lugar en que tienden á reunirse las aguas que caen ó nacen en toda la extension del pantano, eje que se determina por medio de la nivelacion.

Si bien conviene, como hemos dicho, emplear un canal de cintura que reuna las aguas de la cuenca, debe en muchos casos dejarse una comunicacion de éste con el pantano, á fin de poder introducir en éste una masa notable de agua de lluvia en alguna ocasion, por ejemplo, en tiempo de una gran sequía que no permitiera dar salida á las aguas del pantano y se descompusieran éstas produciendo miasmas perjudiciales para la salud. Esto podria suceder cuando por la configuracion del terreno no sea posible desecar por completo el pantano y se haya reducido éste á una cuenca mínima. Tambien conviene esto cuando el terreno saneado se queda seco en exceso y urge apelar á las aguas del canal de cintura.

El canal principal de desecamiento está alimentado por un conjunto de zanjas que se comunican unas con otras y forman una red suficiente para asegurar la fácil salida de las aguas estancadas y cuyo trazado depende de la configuracion del terreno.

Las dimensiones del canal principal se determinan, así como las del de cintura, por las mismas fórmulas y procedimientos seguidos en un canal de riego.

Es preciso que pueda bastar para las crecidas, pero al mismo tiempo que su lecho menor sea bastante estrecho para que las aguas corran bien en los estiajes, sin detenerse ni

estancarse. Por esto conviene darle una forma análoga á la que dijimos respecto de los canales de cintura, á saber: un lecho grande para las crecidas, otro pequeño para los estiajes y una doble línea de diques en los puntos en que las crecidas extraordinarias podrian producir inconvenientes.

Conviene tambien establecer siempre, á lo largo del canal principal, fosos de defensa destinados á recibir las aguas turbias que provienen de terrenos inmediatos y dejarlas depositar en ellos, para llevarlas por el canal luego que se hayan reposado las materias en suspension, para lo cual se deja salir el agua por un vertedero.

Cuando la pendiente del suelo á lo largo del canal excede del límite conveniente para la velocidad del agua, segun dijimos en el capítulo II, se establecen de distancia en distancia saltos que aseguren una pendiente moderada en los puntos intermedios: si, lo cual es muy raro, se destinará este canal á la navegacion, los saltos por vertederos se sustituirán con esclusas.

Las obras de estos canales son generalmente muy sencillas. En ellos se evitan casi por completo los terraplenes y desmontes, buscando siempre los pliegues del terreno más á propósito. Los puentes y pasos son sencillísimos. Se procura dejar de sitio en sitio, presas movibles ú otros aparatos destinados á contener las aguas en las épocas de sequía para que la falta de éstas no produzca los efectos contrarios al exceso de las mismas, que son las que se trata de corregir por medio del canal.

**DESECAMIENTO POR SIFÓN.** Gran número de terrenos pantanosos deben su origen á las presas de las fábricas establecidas en los rios, las que producen un remanso muy grande, si el rio es de poca pendiente. En este caso es difícil hacer bajar el nivel del remanso y hay que apelar á un desecamiento que si bien generalmente es muy difícil, no presenta este carácter en ciertos casos. En estos basta abrir paralelamente, y á cierta distancia del límite del remanso, un foso con cuya tierra se forma un vallado, que á veces por sus dimensiones es un verdadero dique. Se hace comunicar este foso por un gran tubo con el lecho del rio aguas abajo de la presa, formando un verdadero sifón: en tal caso el agua recogida en el foso, que es la del terreno, pues el dique está contra el remanso, pasa por el sifón al lecho del rio. Si el terreno es poco permeable, se consigue así fácilmente el objeto, pero si no, no basta el dique para impedir el paso de grandes masas de agua que exigirian sifones considerables y que originarian reclamaciones por parte del dueño del motor hidráulico.

**DESECAMIENTO POR LIMPIA.** Conforme indicamos anteriormente, muchos pantanos se deben sólo á la falta de corriente regular en una vía fluvial, lo cual produce estancamientos en sus orillas. Esto sucede en los rios de poca pendiente y de curso tortuoso. Los terrenos inundados son precisamente los más fértiles y conviene utilizarlos, no sólo por el provecho que esto ocasiona, sino tambien porque se regulariza el curso del rio con ventaja indiscutible para todos los ribereños.

Con este objeto se establecen zanjas en el terreno pantanoso, que comunican con una mayor, la cual vierte al rio y se eleva en las orillas de este un vallado para impedir los malos efectos de las crecidas. Pero esto no es suficiente, puesto que la detencion del agua en el lecho mismo del rio originaria tambien la detencion en las zanjas. Es preciso, por consiguiente, limpiar perfectamente el lecho del rio y evitar en lo posible sus recodos y revueltas.

Los trabajos de limpia de un rio pequeño se compensan frecuentemente con el légamo que se saca de ellos y que aprovechan los ribereños como abono. Conviene en todo caso,