

sea las alturas) de algunos puntos notables del perímetro de la pieza, que se hallarian alejados de las curvas, y sobre todo asegurarse que el punto donde se puede establecer el derrame se halla colocado de manera que en efecto permita éste sin obstáculo.

La operacion que se acaba de describir es muy sencilla: no exige ningun cálculo para obtener los lados del terreno y puede confiarse al agente ménos experimentado, con tal que sea aplicado y capaz de hacer una medicion con cadena. Habiendo comprendido bien la marcha de este trabajo, es fácil á un nivelador, acompañado de un porta-mira y de dos jaloneros, hacer el plano y la nivelacion de 5 á 6 hectáreas por día. Las personas algo ejercitadas en los trabajos de nivelacion pueden hacer una superficie mucho mayor. Los dedicados á nivelaciones cobran en Francia 4 á 5 pesetas por este trabajo, comprendiendo en él el dibujo del plano.

No se recomendará nunca bastante la ejecucion del plano nivelado de que se acaba de hablar, ántes de cualquiera otra obra de drenaje ó de riego. No hay ningun proyecto trazado sobre el terreno, como se hace muchas veces, que no pueda ser perfeccionado por un estudio atento de gabinete hecho con un plano nivelado.

Despues de trazado el plano nivelado del terreno que se trata de mejorar, se ha de estudiar el proyecto de los trabajos conforme á las indicaciones siguientes:

TRAZADO DE LOS TUBOS. Un red de drenaje se compone de tubos de diversos calibres, de los que es preciso indicar primero los nombres.

Se llaman pequeños tubos, ó tubos de último orden, los de menor diámetro y que no reciben, por ramificacion, las aguas de ninguna otra línea; los colectores de primer orden, ó tubos principales de primer orden, son aquellos que reciben directamente las aguas de los pequeños; los colectores de segundo orden reciben las aguas de los colectores de primer orden; los de tercer orden reciben las aguas de los tubos de segundo orden y así sucesivamente.

La gravedad es la fuerza que determina la filtracion del agua á través de los canales capilares, naturales ó artificiales del macizo de tierra sobre el que debe obrar un tubo. El trazado de las líneas de zanjas debe por consiguiente favorecer, en cuanto sea posible, la accion de aquella fuerza.

Cuando el suelo es sensiblemente horizontal, la direccion de los tubos es en sí misma muy poco importante; es indiferente que sean paralelos, perpendiculares ú oblicuos á la direccion de los surcos. Su disposicion depende entonces de la posicion de los canales de descarga y de los medios de derrame de que se dispone.

Pero cuando el terreno es inclinado, influyen otras consideraciones en la posicion de los tubos; si la pendiente es muy poca, se comprende que para asegurar el derrame del agua en los tubos es preciso colocarlos siguiendo la línea de *mayor pendiente*, línea que se dirige, como es sabido, perpendicularmente á las horizontales del terreno, definidas anteriormente.

Muchas razones conducen, por lo demas, á adoptar la misma regla para todas las inclinaciones del suelo que no excedan de 0^m.15 á 0^m.20 por metro. El canal colocado en el fondo de una zanja dirigida segun la línea de mayor pendiente se halla, en efecto, simétricamente colocado en razon á la superficie, y hace sentir su accion en un terreno homogéneo, á igual distancia á derecha é izquierda. No sucede así cuando el trazado se aparta de la línea de mayor pendiente; el tubo obra enteramente del lado donde se eleva el terreno, pero su accion se halla más ó ménos reducida del lado donde descende.

Otra observacion, ménos general que la precedente, pero sin embargo de una aplicacion bastante frecuente, indica que conviene dirigir las líneas de los tubos siguiendo la mayor pendiente del terreno que se ha de sanear. Existen, con efecto, en muchos terrenos, venas más permeables que el conjunto de la tierra, y que, sin producir verdaderos manantiales, denotan su presencia por pequeños charcos. Estos lechos acuosos afluyen generalmente á la superficie del suelo siguiendo líneas casi horizontales, cambian su aspecto y le comunican muchas veces las peores cualidades. Por lo tanto sucederá necesariamente que los tubos perpendiculares á la línea de mayor pendiente, por mucho cuidado que se haya tenido en la eleccion de su colocacion, no encontrarán la línea de agua superior, que vendrá, como ántes de los trabajos, á destruir el suelo en cierta extension, ó bien que no la cortarán sino parcialmente. Si por el contrario, los caños se abren siguiendo la línea de mayor pendiente, encontrarán necesariamente todas las venas de agua á un nivel inferior al de los antiguos desagües y recogerán sucesivamente sus productos para conducirlos hácia el canal de desagüe.

DIRECCION DE LOS TUBOS. Sentaremos, pues, como regla general susceptible de muy pocas excepciones, que es preciso dirigir los pequeños tubos siguiendo las líneas de mayor pendiente del terreno. Esta regla es un límite al que es preciso tratar de acercarse todo lo posible, pero no se debe tomar exactamente al pié de la letra.

Es evidente, en efecto, que en la práctica no es posible atender á las menores desigualdades del suelo y seguir con exactitud matemática las líneas de mayor pendiente casi siempre sinuosas é irregulares. Es decir solamente, que conviene trazar los pequeños tubos, á no ser que motivos particulares lo impidan, siguiendo las líneas rectas más aproximadas en lo posible á la direccion media y general de las de mayor pendiente del terreno que se considere.

Precisemos más esta primera indicacion general.

Los pequeños tubos pueden trazarse ordinariamente de una manera muy sencilla. Basta, con efecto, descomponer el campo que se va á sanear en muchas partes planas, y trazar paralelamente unos á otros á la distancia necesaria, siguiendo las líneas de mayor pendiente de estas partes planas, los tubos de tercer orden.

El conocimiento exacto de estas partes llanas es sumamente fácil y breve, examinando los planos nivelados de que hemos hablado en el párrafo anterior. Es evidente que las partes planas en que deben establecerse los grupos de pequeños tubos, son aquellas en que las horizontales del terreno son casi rectilíneas y paralelas entre sí.

Las nivelaciones generales verificadas en todo el campo y sobre las zanjas ó tageas que pueden servir para la corriente de las aguas, darán á conocer, por otra parte, los puntos en que se deberán colocar las bocas de los tubos principales. Este dato, unido á las indicaciones ya obtenidas de la posicion y direccion de los grupos de pequeños tubos, permiten trazar sin gran dificultad las mismas direcciones de los tubos principales. Ocupan generalmente los repliegues ó thalwegs del terreno.

En los puntos de interseccion de los tubos principales de diferentes órdenes, es conveniente colocar miras que permitan observar fácilmente el modo de funcionar de los diferentes grupos de tubos.

Se encontrará más léjos la descripcion de estas miras.

La longitud de los pequeños tubos de último orden, es de 0^m.030 á 0^m.035 de diámetro interior: cuando su separacion no exceda de los límites usuales, no debe, en general,

exceder de 250 á 350 metros, ni es preciso tampoco que tengan esta longitud si la pendiente es muy pequeña.

Este límite está perfectamente comprobado por la práctica, cuando no se trata, por supuesto, de terrenos atravesados por manantiales.

Los pequeños tubos deben desembocar en los principales ó subprincipales, y no directamente en el canal de descarga. Conviene, con efecto, disminuir cuanto sea posible el número de bocas de descarga para simplificar su cuidado y entretenimiento. Se indicará más adelante la manera de construir las bocas de descarga.

Conviene evitar el encuentro de dos líneas de tubos una enfrente de otra en el mismo tubo principal.

UNION DE LOS TUBOS. El encuentro de pequeños tubos y tubos principales, debe tener lugar, como acabamos de decir, en ángulo agudo, pero no muy agudo, porque entonces se prolonga inútilmente la longitud de los tubos que hay que abrir, aproximándolos á lo largo de los colectores. Un ángulo de 60° es el que es preciso tratar de obtener aproximadamente; reduce mucho la longitud de los tubos, asegurando á los ramales líquidos un curso sumamente fácil. El encuentro en ángulo recto, sin embargo, es todavía aceptable; pero en ningun caso se deben trazar los tubos de manera que los ramales de agua se dirijan en sentido contrario. Si en un caso muy excepcional, la disposicion del lugar obligase á dar á los tubos semejante direccion, se desviarán por medio de una curva sus extremidades, con el objeto de encontrar al colector en ángulo agudo en el sentido de la corriente.

Es necesario establecer un tubo principal de 0^m.,05 á 0^m.,06 de diámetro interior para recibir el producto de los pequeños tubos de 2 á 3 hectáreas, y reunir muchos de estos tubos principales en un tubo maestro, que hace entonces veces de cañería y conduce las aguas al canal de descarga.

Se ha dicho ya que es preciso trazar los tubos en línea recta. Efectivamente, en los ángulos es donde se producen más fácilmente las obstrucciones; pero es evidente que no siempre se puede observar esta regla en el trazado de los colectores. Deben emplearse en este caso curvas de 5 á 6 metros de radio por lo ménos; si la disposicion del sitio no permite trazar una curva tan prolongada, es conveniente reemplazarla por una mira.

Los pequeños tubos se trazan, en general, en grupos de líneas paralelas, pero en algunos casos particulares se pueden disponer ventajosamente de otro modo. Así, por ejemplo, si la parte más elevada de una pieza es más seca que la baja y presenta al propio tiempo una forma cóncava, se pueden muy bien separar más los tubos en la parte superior del campo que en su parte inferior; á ménos de tener mucha experiencia, conviene ser muy parco en el empleo de estos trazados excepcionales.

Además de los tubos de último orden designados por grupos de líneas paralelas segun la mayor pendiente general del terreno, existen muchas veces en las piezas de tierra, pequeños tubos aislados, dirigidos en distinto sentido con relacion á la pendiente: éstos son los *tubos de circunvalacion*.

Estos tubos siguen en general el perímetro de las partes saneadas; su objeto es detener las aguas que provienen de filtraciones superiores. Se colocan sobre todo en las partes altas de las piezas de tierra dominadas por terrenos más elevados, de los cuales se puede temer que vengan aguas abundantes.

Los tubos de circunvalacion no deben tener mucha longitud. Es conveniente, por regla general, hacerlos comunicar cada 40 ó 50 lo más, con un tubo ordinario. Los pequeños

tubos comprendidos entre los que reciben las aguas del tubo de circunvalacion, se detienen á una distancia de éste, igual, con corta diferencia, á la mitad de su separacion.

Las raíces de ciertos árboles tienden á introducirse en los tubos, y no tardan en desarrollar en ellos sus filamentos abundantes que se oponen al curso de las aguas. Volveremos á hablar de estos accidentes y de los medios de prevenirlos, y nos limitaremos á observar aquí lo más conveniente cuando se está en libertad de escoger un trazado, y es mantener los tubos á 15 ó 20 metros de los árboles de madera blanca. No insistiremos más sobre las indicaciones generales relativas al trazado de los tubos. Algunos ejemplos de trabajos ejecutados fijarán mejor las ideas respecto á esto, que las más extensas explicaciones abstractas.

EJEMPLOS DEL TRAZADO. La figura 7 indica la disposicion del drenaje de una superficie de bastante extension. La forma tan accidentada de la superficie, indicada por las curvas de nivel trazadas de metro en metro en la figura, explica las disposiciones un tanto complicadas de la red de saneamiento de este terreno. Los números puestos sobre las curvas horizontales indican su altura sobre el nivel del mar. Se han suprimido una de cada dos para simplificar el dibujo. Los círculos pequeños trazados en la interseccion de los tubos principales indican la situacion de las miras. En fin, las bocas de descarga están figuradas por las medias lunas designadas á la extremidad de los tubos principales.

Como último ejemplo citaremos el drenaje de un antiguo estanque, cuyo fondo, acribillado de manantiales, no presentaba, por decirlo así, ninguna pendiente. Se comenzó por profundizar la tacea que habia en el eje del estanque y por rebajar el nivel del piso de la reguera que pasaba por el eje del estanque. Entonces se pudieron trazar los tubos principales y secundarios y ejecutar el drenaje de los manantiales. El saneamiento ha sido completo, y un terreno de sesenta hectáreas completamente húmedo y absolutamente improductivo se ha convertido en un terreno de primera clase. Los tubos todos vertian en el conducto que se puso en la reguera.

PROFUNDIDAD DE LOS TUBOS. La profundidad y la separacion de los tubos son dos cantidades correlativas, que dependen de la naturaleza del suelo y de una porcion de circunstancias, cuya apreciacion es muy delicada, y preciso es decirlo, poco conocida aún. Nos limitaremos, pues, á indicar las reglas consagradas por la experiencia para los casos ordinarios de la práctica.

La profundidad más conveniente que debe darse á los tubos para que arrastren toda el agua sobrante y rebajen al mismo tiempo lo suficiente el plano del agua estancada para que no pueda llegar á las raíces y aún á la superficie del suelo por la accion de la capilaridad, está comprendida entre 0^m.,90 y 1^m.,30, la que basta en los casos ordinarios para conseguir este doble objeto.

En principio se adopta para los pequeños tubos una profundidad de 1^m.,20, pero ha de tenerse presente que esta regla, como las precedentes, no es general. Evidentemente no es preciso aplicarla al centímetro y tener presentes las pequeñas desigualdades del terreno, haciendo seguir al fondo de la zanja, una línea paralela á todas las ondulaciones de la superficie. Se verá, por el contrario, que la pendiente del tubo debe ser uniforme, lo que implica necesariamente, en general, profundidades variables. La de 1^m.,20 es, pues, un término medio en la longitud de cada tubo, de la que conviene apartarse lo ménos posible y de la que no se aparta nadie sensiblemente en los terrenos regulares é igualados por un largo cultivo.

Los tubos maestros han de estar algunos centímetros más profundos que los pequeños tubos. Esta diferencia es igual á la de los diámetros de los tubos empleados, de forma que las aristas superiores de todos los tubos estén, en su punto de union, en un mismo plano. La disposicion de las localidades, obliga algunas veces á aumentar mucho la profundidad de ciertos tubos para franquear una parte alta y llegar á los puntos de desagüe. Un estudio muy detenido permite casi siempre eludir estas dificultades excepcionales, que sin embargo no deben detenernos cuando se presentan. Es posible, en estas circunstancias, tener que colocar tubos colectores á una profundidad que alcance á 2^m,50 y hasta 3 metros; á ménos de no tener que ejecutar trabajos muy importantes por la extension de la superficie á que se aplican, no se debe exceder de esta profundidad. Cuando sea indispensable hacerlo, conviene recurrir á la experiencia de un constructor de profesion, porque entonces las precauciones que hay que tomar para la excavacion y establecimiento de conducto no son de la competencia de obreros ordinarios.

Sucede todavía las más veces, que nos vemos obligados á reducir las profundidades de los tubos á causa de la falta de descenso de las aguas al canal de descarga. En este caso es preciso tratar por todos los medios posibles de rebajar el plano del agua y esforzarse en aplicar á la más pequeña porcion de superficie que se pueda las profundidades reducidas.

En los terrenos casi horizontales no se puede dar á los tubos la pendiente necesaria sino aminorando su profundidad de abajo á arriba, y se ve uno obligado todavía, en este caso, á hacer descender la profundidad en el origen de los tubos á ménos de la cifra 1^m,20. Se la aumenta, por el contrario, un poco por la parte inferior, si la salida es fácil.

VARIACION DE LA PROFUNDIDAD. Ciertas circunstancias particulares que conviene ahora enumerar pueden todavía obligar á la adopcion de una profundidad diferente de la que acabamos de indicar como la de un drenaje bien hecho. En un suelo poroso, sobre sub-suelo impermeable, conviene colocar el tubo en ésta, pues en suelos permeables conviene la mayor profundidad.

Sucede algunas veces que en los suelos arcillosos, que existen á cierta distancia de la superficie, hay una capa acuífera compuesta de materiales porosos. Si esta capa no está más que á 1^m,50 ó 1^m,80 de la superficie, podrá convertirse en un excelente auxiliar del drenaje. Efectivamente, colocando junto á esta capa tubos más apretados que de ordinario, formará un vasto desaguadero de las aguas de toda la superficie.

En el drenaje de turberas poco profundas es preciso siempre hacer llegar las zanjas hasta el terreno sólido, porque la turba forma muy mala fundacion para los tubos de drenaje. En las turberas es preciso además tener cuidado siempre de colocar los tubos á mayor profundidad de la que se quiera establecer de una manera definitiva, porque los terrenos de esta especie experimentan por la desecacion una compresion considerable, que llega muchas veces hasta un $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{6}$ de su espesor primitivo.

Por lo demas, ántes de emprender una operacion de drenaje se debe abrir siempre, en cada campo, una ó dos *zanjas de ensayo*, colocadas á profundidades sucesivamente mayores, hasta 2 metros al ménos.

Se estudian atentamente estas zanjas durante algun tiempo, á fin de conocer la estratificacion del suelo, la manera con que el agua se reúne en cada parte, etc. Para hacer más fáciles las operaciones conviene hacerlas por la mañana muy temprano, ántes que el calor del dia haya hecho evaporar el agua de las superficies. Conviene tambien mientras dura este experimento cubrir con esteras ó haces de leña una parte de la abertura, para impedir

una desecacion demasiado rápida. El estudio detenido de las zanjas, permite reconocer fácilmente cuándo existen las venas porosas en las que el agua se reúne en mayor abundancia.

Cuando se puede dejar abierta la zanja durante un invierno, se prueba fácilmente, en la primavera ó al principio del verano, la existencia de bancos absolutamente impermeables. En estos puntos, la tierra no ha cambiado de aspecto; no se percibe en ella, ni áun con el lente, ninguna hendidura producida por la contraccion de la materia. Estos terrenos son sumamente raros, y no se han observado sino en pocas circunstancias. Pero cuando se los encuentra es evidente que no se deben colocar debajo de estas capas los tubos de drenaje, que perderian la mayor parte de su utilidad.

Cuando se quiere estudiar en detalle la constitucion de un terreno que se trata de sanear, sin multiplicar á pesar de esto más de lo necesario las zanjas y los hoyos de ensayo nos podemos servir con ventaja de una pequeña sonda de mano, llamada sonda de Palissy, que permite extraer muestras del sub-suelo hasta una profundidad de 4 metros: para juzgar bien de la naturaleza de las muestras que la sonda produce y que están siempre comprimidas, es preciso emplearla primero en una zanja á fin de obtener términos exactos de comparacion. Es preciso además cierta costumbre para juzgar bien de un terreno por medio de la sonda, y no se debe servir de ella sino con una prudente reserva.

Con un poco de experiencia y de talento de observacion se deducen fácilmente de los estudios preliminares que acabamos de indicar la profundidad más conveniente que debe adoptarse en cada caso particular. Pero, debemos repetirlo, este es el punto más difícil de un proyecto, y si es cierto que tiene siempre buen éxito adoptando la profundidad normal de 1^m,20, lo es igualmente que un obrero experimentado consigue, casi siempre, realizar economías haciendo variar con acierto las profundidades de las zanjas en los terrenos de constitucion poco homogénea, en vista del exámen detenido de su estratificacion. No recomendaremos bastante estas observaciones minuciosas de las capas superficiales del suelo á las personas que quieren adquirir cierta superioridad en la práctica del drenaje.

PENDIENTE DE LOS TUBOS. Se da á los tubos, en general, la misma pendiente del terreno. La facilidad con que corre el agua en los tubos de barro cocido permite darles una pendiente longitudinal mucho menor que la que se necesita en las zanjas rellenas de piedra. Una pendiente de 2 milímetros y hasta de 1 milímetro por metro basta en rigor para las líneas de tubos, y no debe ser inferior á 5 ó 6 milímetros en las demas clases de cañerías.

Por otra parte debe evitarse dar á los tubos una pendiente bastante considerable para que la velocidad del agua pueda destruir los materiales empleados en la construccion de las cañerías. Una pendiente de 4 á 5 por 100 es un límite superior al que no es conveniente llegar por regla general. Cuando la pendiente del terreno llega ó excede de este número, se divide cada conducto en una série de líneas de menor declive, enlazadas por saltos. En este caso y en algunos otros es preciso hacer comunicar entre sí dos líneas de cañerías establecidas á diferente nivel. El enlace puede establecerse por medio de tubos con la inclinacion de 45° y fijos sólidamente por pequeños macizos de mampostería.

Cuando sea posible deben distribuirse las pendientes de los tubos de manera que aumenten de una manera continua, marchando de arriba á abajo. Es importante, en efecto, que la velocidad del agua se acelere constantemente, ó al ménos que no se disminuya en su carrera, para que las materias sólidas arrastradas accidentalmente en una parte del tubo no puedan ir á depositarse más lejos y producir, á la larga, un obstáculo á la corriente del agua.