

las
cu
ra:
cal
ple
alt
sin
en
mu
las
cua
me
em
lím
apr
apa
ter
E
peri
indi
en
bir
dem
C
arri
mar

carmín. Hecho esto, se fija sobre la línea vertical correspondiente al 0, la posición de este punto, sobre ó abajo del plano general de comparación, consúltase en seguida cuál es la cota del punto número 1 y se marca su situación como la del 0 con un punto de lápiz, se pasa á continuación al 2 marcándolo igualmente, y así se continúa hasta fijar el último punto nivelado; después no hay más que ligar con una línea continua y muy fina hecha con el lápiz esta serie de puntos ap-

ra tener construido el perfil; y aún es mucho mejor hacer el trazo con tinta para evitar que la línea se borre en algunas partes. A veces se acostumbra reforzar la línea del perfil para hacerla más aparente sobre el fondo del papel con una sombra de sepia; mas para apreciar mejor los detalles, las distancias al plano de comparación y las diferencias de nivel parciales entre los diversos puntos del terreno, es preferible dejar íntegro y limpio el trazo del perfil, siendo también conveniente conservarlo así para estudiar en él las líneas de proyecto. Escríbense en seguida abajo del perfil en columna acostada y con tinta negra las cotas del terreno; es decir, las distancias de sus puntos nivelados al plano de comparación obtenidas por el cálculo, y en otra columna paralela á la primera se consignan las *cotas rojas* que son las distancias de los puntos de las líneas de proyecto al mismo plano de comparación.

COTAS ROJAS.

Veamos ahora cómo se determinan estas cotas, cuyas diferencias con las del terreno deben dar los espesores de terraplén y las profundidades de excavación, para obtener por las obras de terracería planos sensiblemente horizontales ó de pendiente determinada.

Sea que se trate de moderar en caminos carreteros las inclinaciones del terreno para la mayor facilidad del tráfico, ó de trazar líneas horizontales ó de mínima pendiente para las obras de construcción de vías férreas; sea también que las operaciones de una nivelación tengan por objeto la construcción de acueductos, ó de zanjas para riegos, con el fin de llevar el agua del punto más alto al más bajo; en todos estos casos y en otros muchos, ya sobre el perfil construido se pueden trazar las líneas de proyecto en vista de las condiciones del terreno para darlas la pendiente apropiada á los trabajos que se han de ejecutar.

Acceptadas una ó varias líneas atendiendo para ello al objeto con que se proyectan, se trazan en el perfil con tinta roja y se determina su pendiente por metro dividiendo la diferencia de nivel de los puntos extremos de la línea por la distancia horizontal que media entre

ellos y que es la proyección de la línea de proyecto. Conociendo, pues, la diferencia de nivel n entre dos puntos y su distancia horizontal d , la pendiente por metro la dará la siguiente expresión:

$$p = \frac{n}{d}$$

debiéndose tener presente que n y d son los catetos de un triángulo rectángulo. Si se designa por i el ángulo opuesto á n , que es el de inclinación, se tendrá:

$$\text{tang. } i = \frac{n}{d}$$

sustituyendo en esta expresión el valor de p resultará:

$$p = \text{tang. } i$$

lo que nos indica que el declive de una línea es la tangente de su ángulo de inclinación.

Obtenida la pendiente por metro con facilidad se determina la que corresponde á 10, á 100 ó á 1000 metros, bastando, por lo general, apreciar la de 100 metros.

Estudiando el modelo número 1, se verá que para regularizar la forma del terreno, tal como en proyección vertical lo presenta el perfil, se proyectaron dos líneas de suave pendiente, una subiendo y otra bajando. La pendiente de la primera AB , por 100, es de $0^m.66$ y de $0^m.0066$ por metro; la de la segunda BC es de $0^m.4$ por 100 y de $0^m.004$ por metro. Conocida la pendiente por metro, bien puede determinarse la que corresponde á 20 metros, que es la distancia entre las estaciones de mira, y esta cantidad será la que se agregue sucesivamente para obtener las cotas rojas, si la línea de proyecto marca un ascenso, ó se restará si indica un descenso.

Refiriéndonos al modelo número 1, si la pendiente por metro de la línea AB es de $0^m.0066$, por 20 metros será $0^m.13$. La cota roja correspondiente al 0, es también de 100 metros como la del terreno, pero la del punto 1 será de $100^m.13$; la del 2, $100^m.26$; la del 3, $100^m.29$

y así sucesivamente agregando $0^m.13$ á la anterior hasta la estación 17, término de la línea. Siendo la pendiente de la BC de $0^m.004$ por metro, por 20 metros será de $0^m.08$, cantidad que se restará de la última cota roja, y de las siguientes, puesto que siendo la línea en descenso las distancias de sus puntos al plano de comparación van disminuyendo. Así, pues, la cota roja de la estación 18 será:

$$102^m.21 - 0,08 = 102^m.13;$$

la de la 19, $102^m.13 - 0,08 = 102^m.05$; la de la 20,
 $102^m.05 - 0,08 = 101^m.97$ y así se continúan las cotas hasta la estación 28, cuya cota roja es de $101^m.33$.

Calculadas así las cotas del proyecto, las diferencias entre ellas y las del terreno darán los espesores del terraplén y las profundidades de excavación; es decir, que de 20 en 20 metros estas diferencias indicarán en qué cantidad se ha de elevar el terreno ó se ha de profundizar, para tener una superficie regular, horizontal, ó de pendiente constante, sea que se trate de caminos carreteros, ferrocarriles, canales, acueductos de mampostería, ó lecho de zanjas para riegos.

Agregado va á continuación el modelo de un perfil con todos los datos que debe contener, y el registro de la nivelación con las observaciones del campo, á fin de que los principiantes se ejerciten en los cálculos de ella y llenen las columnas con los valores que á cada uno corresponden:

REGISTRO NUMERO 2.

ESTACIONES.	Lecturas de enlase.	Lecturas para comparar.	Altura del instrumento.	Cotas del terreno.	Pendiente por 100.	Cotas rojas.	Espesor de terraplenes.	Profundidad de excavaciones.	TERRACERIAS.		OBSERVACIONES.
									Terraplenes. Metros cúb.	Excavaciones. Metros cúb.	
0	0.61										Distancia entre las estaciones de mira, 20 metros. Plano general de comparación, 20 ^m abajo del 0, punto inicial de la nivelación.
1		1.44									
2		2.81									
3		3.59									
4	0,05	4,46									
5		0,95									
6		1,67									
7		2,22									
8		2,63									
9	0,64	2,71									
+10 ^m		3,39									
10	4,06	5,29									
1	3,74	0,06									
2	4,38	0,36									
+15 ^m		1,64									
3	1,63	0,31									
4		2,05									
5		2,18									
6		2,15									
7		2,48									
8	0,87	2,88									
9		1,47									
20		2,27									
1		3,15									
2	1,92	3,87									
3		2,59									
4		3,17									
5		3,50									
					Pendiente: 0,9 por 100 en 580 metros.						
6	2,51	3,82									
7		4,20									
8		2,01									
9		1,56									
30		2,24									
1	2,01	3,19									
2		3,23									
3		4,72									
4	2,58	3,92									
5		2,59									
6		2,55									
7		1,98									
8		3,02									
9		2,23									
40	1,45	1,75									
1		1,56									
2		1,93									
3		2,60									
4	0,31	3,56									
5		1,13									
6		1,72									
7		2,56									
8	1,74	3,14									
9		1,50									
50		1,69									
1		1,35									
2		0,99									
3	0,96	1,15									
4	1,28	2,43									
+7 ^m		2,88									
5		3,54									
+10 ^m		2,90									
6	4,48	0,98									
7		2,45									
+15 ^m		0,30									

En las depresiones más fuertes del terreno que indica el perfil y que se marcan en él como terraplenes, bien se comprenderá que según la índole de la obra de que se trate, el ingeniero podrá proyectar, puentes de varios arcos, acueductos de mampostería, alcantarillas para la descarga de las aguas, etc., para lo cual siempre será conveniente la construcción de esas partes del perfil en más amplia escala para el mejor estudio y discusión de las obras que se proyecten.

PERFILES TRANSVERSALES.

La nivelación transversal ó por perfiles al través, se ejecuta al mismo tiempo que la longitudinal que se lleva sobre el trayecto fijado previamente.

Hay casos en que esta nivelación al través es indispensable practicarla, pero hay otros en que no es enteramente necesaria. Así, por ejemplo, si se trata de rectificar las pendientes de un camino, de un canal, ó si en lo general la dirección del proyecto está determinada de antemano, bastará ejecutar la nivelación longitudinal, y construir el perfil según el eje para hacerse bien cargo de la forma del terreno, contándose así sobre el papel con los elementos necesarios para estudiar el proyecto definitivo.

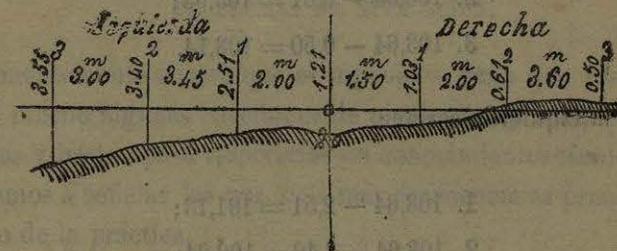
El nombre de *transversal* implica en sí mismo la definición de este género de nivelación, puesto que encuentra ó corta la longitudinal según la dirección de la perpendicular.

La nivelación transversal tiene por principal objeto dar á conocer el relieve de una zona más ó menos ancha del terreno, obteniéndose así más amplitud en el trazado del proyecto, del que se podrán calcular con mayor seguridad los puntos de paso del eje sobre una extensión más ó menos grande.

La nivelación por perfiles transversales se ejecuta con facilidad, porque generalmente tiene corta extensión, pero al practicarla debe seguirse una marcha metódica á fin de no confundirse con la situación de los puntos nivelados, que se marcan, según las variaciones del suelo, á un lado y á otro del perfil longitudinal y en una extensión correspondiente á la importancia del proyecto.

Cierto número de estos puntos se sitúan á la derecha y á la izquierda del eje de la nivelación longitudinal, y si se ejecuta la transversal de la derecha hacia la izquierda, ó viceversa, deberá seguir la misma marcha para los demás perfiles transversales, relacionándolas con las estaciones y las lecturas de mira correspondientes á la nivelación longitudinal.

Aplicando el procedimiento al sistema americano, y refiriéndonos para ello al registro número 1 de nivelación que figura en estas instrucciones, supongamos que la configuración del terreno exige el tomar un perfil transversal en la estación 20. Hecha la lectura de mira para comparar en este punto que fué de 1^m.21 se traza sobre el mismo punto una perpendicular al eje de la nivelación, y se marcan sobre ella con estacas, á derecha é izquierda, las principales depresiones y prominencias del terreno, en un espacio que varía según la importancia y objeto que tenga la nivelación longitudinal. Los puntos señalados por las estacas, conviene consignarlas en el mismo registro, en la columna de observaciones, con los mismos números á derecha y á izquierda del punto correspondiente á la estación 20, como se ve en el siguiente modelo:



Hácense en seguida las lecturas de mira estacionando el estadal en los puntos 1, 2 y 3 de la derecha y después sobre los puntos 1, 2 y 3 de la izquierda, anotando al pie ó al lado de cada uno el valor de su lectura respectiva, como se ve en el ejemplo propuesto.

Las distancias entre las estacas que marcan el perfil transversal,

pueden ser variables debido á los quiebres del terreno, y han de medirse y consignarse en el croquis que se forme de cada perfil, para fijar sobre el papel la situación de los puntos y hacer la construcción de ellos. Teniendo, pues, estas distancias parciales, y las diferencias que resulten de las lecturas de la derecha y de la izquierda con la del centro, se tendrán los datos suficientes para construir el perfil transversal.

Puédese, si se quiere, referir los puntos de cada perfil transversal al plano general de comparación del perfil longitudinal, obteniéndose así una zona de terreno á derecha é izquierda del eje suficientemente acotada. Para esto bastará considerar las lecturas de mira de los puntos de cada perfil transversal como lecturas para comparar y restarlas ordenadamente, primero las de la derecha y después las de la izquierda de la altura del instrumento correspondiente. Vemos, por ejemplo, en el registro número 1 que la lectura de mira de la estación 20 fué de 1^m.21 la que restada de 103,64 dió 102,43 para la cota de ese punto sobre el plano de comparación. Restando de esa misma altura las lecturas de mira correspondientes á los puntos de la derecha, tendríamos sucesivamente.

$$1. 103,64 - 1,03 = 102,61;$$

$$2. 103,64 - 0,61 = 103,03;$$

$$3. 103,64 - 0,50 = 103,14.$$

Las de la izquierda serían:

$$1. 103,64 - 2,51 = 101,13;$$

$$2. 103,64 - 3,40 = 100,24;$$

$$3. 103,64 - 3,55 = 100,09.$$

Además de las observaciones que se consignen en la cartera y de los croquis que en ella se formen en la columna respectiva, puede formarse el registro de las nivelaciones transversales conforme al siguiente modelo:

Perfil transversal en la estación 20.

ESTACIONES.	DISTANCIAS.	LECTURAS DE MIRA.	ALTURA DEL INSTRUMENTO.	COTAS DEL TERRENO.
Derecha.	3	0,50	103,64	103,14
	2	3 ^m .60		103,03
	1	2 .00		102,61
	20	1 .50		102,43
Izquierda.	1	2,51	103,64	101,13
	2	3 .45		100,24
	3	3 .00		100,09

Para construir los perfiles transversales en el papel se elige una escala de ordenadas ó alturas diez veces mayor que la de abscisas ú horizontales. Esa escala es por lo común de $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$ ó de $\frac{1}{500}$, que corresponden á las escalas de horizontales de $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$, $\frac{1}{5000}$.

PROBLEMAS DE NIVELACIÓN.

Frecuentemente ocurre que el ingeniero tiene que resolver en el campo mismo algunas cuestiones de nivelación; y aunque en sí sean sencillas y basten para resolverlas los conocimientos técnicos que posea, vamos á señalar las que con más frecuencia se presentan en el terreno de la práctica.

PRIMER PROBLEMA.—*Puntos de altura.* Para la ejecución de ciertas obras de arte, ya sean de hidráulica ó de otro género de construcciones, necesitase frecuentemente fijar la altura de ciertos puntos.

Para esto basta ejecutar una nivelación entre estos puntos y marcas conocidas. Si la distancia entre estas y aquéllos no es superior al alcance del nivel de que se disponga, se instala éste con las precauciones acostumbradas y se hacen sucesivamente lecturas de mira

sobre la marca y el lugar que debe ocupar el punto de altura. De la diferencia de nivel se infiere la acotación de este último y su elevación ó descenso respecto á la línea de tierra. Si la distancia fuese considerable para una nivelación simple, se ejecutaría una nivelación compuesta siguiendo los procedimientos que quedan prescritos.

SEGUNDO PROBLEMA.—*Medir una pendiente ó una rampa.* Cuando se trate de saber si el agua de un manantial puede ser conducida á una hacienda ó á una población, será suficiente practicar una nivelación simple, ó compuesta entre los dos puntos extremos.

De la diferencia de nivel que se encuentre, se inferirá si es posible ó no conducir el agua al punto indicado. La pendiente por metro se obtendrá dividiendo la diferencia de nivel por la distancia horizontal del camino recorrido, debiéndose elegir el más corto siempre que sea posible.

Si la pendiente resultase considerable se la disminuiría dándole mayor desarrollo al trayecto que debiera seguir la corriente de agua. Debemos agregar que en terrenos accidentados, casi siempre hay necesidad de ese mayor desarrollo para economizar el gasto de obras de arte.

Si se tratase de derivar la corriente de un río para riegos, la instalación de una fábrica, ó surtir de agua á una población, se procedería de idéntica manera, practicando una nivelación entre el punto de derivación y aquel á donde debería llegar el agua.

Por último, si se trata de conocer la pendiente de un camino, de un acueducto ó de una zanja, se ejecutará también una nivelación simple ó compuesta, y la diferencia de nivel que se obtenga dividida por la distancia horizontal que medie entre los dos puntos, inicial y terminal de la nivelación, dará la pendiente por metro.

TERCER PROBLEMA.—*Trazar una línea á nivel.* Este problema tiene grande importancia en hidráulica.

Constrúyense, por lo común, á cero, ó lo que es lo mismo, con lechos ó fondos horizontales, los grandes canales de navegación, ciertos caños de riego y algunas cañerías conductoras de agua.

Para obtener la locación de la línea á nivel se estaciona el instrumento en un lugar que diste poco del punto de partida ó de llegada

del caño de riego ó del canal, y en ese punto se coloca el estadal, sobre el cual se hace una lectura de mira que se anota en la carterera. Sin mover el nivel de su estación se pasea el estadal por el terreno, teniéndolo el porta-mira perfectamente vertical y se dirigen sobre él visuales hasta que haya una que dé una lectura de mira igual á la primera que se anotó. En este caso el nuevo punto en que se encuentre puesto el estadal, estará á nivel con el que sea origen de la nivelación.

Haremos de paso una observación, y es, que por lo general existen siempre dos puntos á nivel á derecha y á izquierda del origen, y de estos se elegirá el que convenga á la dirección que se haya de seguir.

Para la segunda estación, se lleva el nivel hacia adelante, y después de instalarlo, sin mover el estadal del lugar en que se encuentre, se hace una nueva lectura de mira, que servirá como en la operación anterior, para hallar el punto á nivel siguiente, y así se continuará en todo el trayecto de la nivelación.

Estando á nivel los puntos así determinados sobre el suelo se excavará el caño ó el canal á una profundidad uniforme del origen al fin, para tener el lecho horizontal.

Para facilitar la ejecución de los trabajos se fijan ordinariamente los puntos á distancias iguales, para lo cual se describe un arco de círculo con el pie del estadal que se liga con el punto anterior con una cadena ó cordel de largo conocido. Sobre el arco de círculo así descrito, se busca después por tanteos el punto que esté al mismo nivel que el precedente, y que por precisión existe sobre este arco.

CUARTO PROBLEMA.—*Trazar una línea de pendiente determinada.* En el trazo en pendiente de canales ó caminos, este problema es el que hay que resolver y que tampoco presenta ninguna dificultad.

Fijada de antemano la pendiente, el problema se reduce á encontrar un punto situado á cierta acotación, y que corresponda á una distancia determinada del precedente.

Supongamos, por ejemplo, una pendiente de 0,002 por metro aplicable á un canal.

Si se fija á 5 metros la distancia entre las estacas que marquen los

puntos, se tendrá el punto siguiente 0,010 más bajo que el anterior.

Puesto el nivel en estación á cierta distancia del punto de partida, se coloca sobre éste el estadal y se hace una lectura de mira que supongamos sea de 1,420.

Como el punto siguiente está situado á 5 metros de distancia tendrá una acotación mayor de $0,002 \times 5 = 0,010$, y para el punto que tenga esta cota en el terreno se agregarán 0,010 á 1,420 y este valor de 1,430 se buscará por tanteos, ligando á la estaca anterior una cadena ó un cordel de 5 metros y trazando un arco de círculo sobre el cual se pasará el estadal y se dirigirán sobre él visuales hasta que la lectura de mira sea de 1,430.

Para el punto siguiente se procedería de idéntica manera, describiendo un arco de círculo con el radio de cinco metros y buscando sobre él el nuevo punto cuya cota debería ser

$$1,430 + 0,010 = 1,440.$$

Al cambiar el nivel de estación, y sin mover el estadal del último punto, se hace una lectura de mira sobre éste y se procede como en la primera estación.

Bien se comprenderá que para cualquiera otra pendiente que fuese dada, el problema se resolvería de idéntica manera.

Si se tratase de determinar la pendiente subiendo, el procedimiento sería semejante al anterior con la sola diferencia de restar el valor de la pendiente del punto que siga, del de la cota precedente, para encontrar el punto que se busque.

QUINTO PROBLEMA.—*Determinar el punto más bajo ó el más elevado de una superficie dada.* La solución de este problema no puede obtenerse con todo rigor, si la superficie es muy extensa, á menos de practicar la nivelación por los métodos de puntos acotados, por perfiles longitudinales y transversales, ó curvas de nivel.

Siendo calculadas las cotas, con relación á un mismo plano general de comparación, será entonces fácil deducir con exactitud, el punto más bajo ó más alto de la superficie. Este problema tiene grande

aplicación en los proyectos referentes á la desecación de terrenos, por simples zanjas ó con obras de *drenaje*.

SEXTO PROBLEMA.—*Determinar la altura de caída.* La determinación de la altura de una caída de agua, se presenta con frecuencia en el establecimiento de receptores hidráulicos.

El trabajo teórico en kilográmetros es igual al peso del agua que pasa por la caída.

Este peso se determina mediante diversos procedimientos que no es de este lugar indicar.

En cuanto á la caída, se expresa por la diferencia de nivel entre el origen de la corriente de agua y el canal de fuga del motor hidráulico, ó si hay fábricas río arriba, se obtendrá por la diferencia de nivel entre la altura del agua en el canal de fuga río arriba y su altura en el canal de fuga río abajo.

Se determina esta diferencia de nivel practicando una nivelación, simple ó compuesta, entre los dos puntos considerados.