que expresará entonces la altura del buque, ó por mejor decir, de la vista del observador sobre el nivel del mar. Es claro que si á la distancia n del agua se hace, por ejemplo, la observación de la altura angular de un astro respecto del horizonte B del mar, será preciso restarle la depresión $z - 90°$ para obtener la altura respecto del plano horizontal $A\,H$. Como el movimiento de los navíos no permite el uso de instrumentos provistos de niveles, se ven obligados los marinos á referir al horizonte del mar las frecuentes observaciones astronómicas que tienen que ejecutar para conocer su ruta al través del Océano; y entonces aplican la corrección que he indicado.

CAPITULO VI.

CONFIGURACIÓN DE LOS ACCIDENTES DEL TERRENO.

263. Se ha visto que por medio de nivelaciones es fácil construir el perfil del terreno en la dirección en que aquéllas se hayan practicado, lo cual suministra una verdadera proyección vertical del mismo terreno. Con el conocimiento de esos cortes ó perfiles puede formarse una idea bastante exacta de los accidentes del suelo; pero la representación gráfica de éstos por medio de las proyecciones verticales tendría el inconveniente de demandar tantas construcciones diversas cuantas fueran las direcciones en que se hubieran ejecutado las nivelaciones, sin que por otra parte fuese posible apreciar en conjunto las desigualdades de todos los puntos del terreno, por numerosos que fueran los perfiles que se construyesen. Además de este grave inconveniente, sería preciso examinar á la vez las proyecciones horizontales y las verticales de las direcciones niveladas, y hacer continuas referencias del plano á los perfiles, y viceversa, para estimar debidamente la configuración del suelo.

A la verdad, podría evitarse la construcción de los cortes sustituyéndolos con guarismos inscritos en el plano, que diesen á conocer las alturas de los puntos correspondientes respecto de una superficie de comparación, lo mismo que se inscriben las indicaciones de la sonda en los planos hidrográficos; pero este método, sin presentar tampoco la ventaja de permitir una exacta apreciación del conjunto, ofrecería el inconveniente de hacer confuso el dibujo y que desaparecieran acaso algunos detalles importantes del plano.

Por todas estas razones se ha adoptado un procedimiento que consiste esencialmente en representar los accidentes verticales por medio de sus proyecciones horizontales, haciendo uso de ciertas convenciones geométricas. Sea $A\,B\,C$ (figura 204ª) el perfil de una eminencia cualquiera, que supondremos cortada por planos horizontales equidistantes $A\,C$, $a\,b$, ... $g\,h$. Si $A'\,B'\,C'$ representa la proyección horizontal del corte, y por un medio cualquiera llegamos á conocer la forma de cada una de las curvas que resultan de la intersección del terreno con los diversos planos secantes, es evidente que podremos construir estas curvas, siendo su figura y las distancias de una á otra los elementos que nos permitirán apreciar la configuración de la eminencia y las diversas inclinaciones del terreno que la constituye.

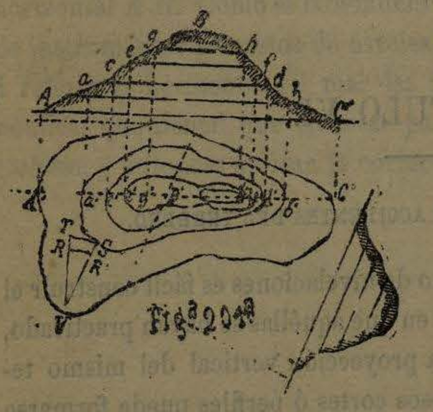


Fig.ª 204ª

Las intersecciones de la superficie del terreno con los planos secantes se llaman *curvas horizontales* ó *curvas de nivel*, á causa de la posición que realmente tienen; y se pueden configurar geométricamente trazándolas en el terreno y levantando sus planos en seguida. El trazo no ofrece dificultad alguna, pues se reduciría á señalar un número suficiente de puntos de cada curva por medio de un nivel ó clisímetro y un estadal, con la única condición de que todos los puntos de la misma curva tuviesen igual altura, ó lo que es lo mismo, que con el nivel establecido entre cada dos de ellos, se obtuviese la misma indicación de la mira, moviendo al efecto el estadal lo que fuera necesario hacia arriba ó hacia abajo de la pendiente. También podría hacerse con suficiente exactitud la configuración de las curvas, practicando varias nivelaciones en distintas direcciones, como lo indica la figura, y después de construídos los cortes y sus proyecciones horizontales correspondientes, señalando en estas últimas los puntos de una misma curva, que se unirían en seguida con una línea

continua. De esta manera, la forma de las curvas quedaría representada con tanta más precisión cuanto mayor fuera el número de puntos conocidos en cada una; y por consiguiente, cuanto mayor fuera el número de perfiles que se construyesen.

264. Ninguno de estos procedimientos, sin embargo, se sigue habitualmente en la práctica; porque ambos darían lugar á operaciones muy dilatadas para llegar al conocimiento de un número suficiente de puntos en cada curva; pero antes de explicar el método más expedito que se adopta, indiquemos las ventajas del sistema de curvas horizontales para representar los accidentes del suelo. Desde luego la forma de las mismas curvas da á conocer la configuración general, puesto que resultan proyectadas en el plano tales como son realmente en el terreno; y además, sus respectivas distancias permiten apreciar las pendientes, y aun encontrar la altura de un punto cualquiera. Si aplicamos, en efecto, este método á la representación de un cuerpo, tal como el cono recto y el cono oblicuo de la figura 205ª, se verá que teniendo las generatrices del primero la misma inclinación respecto del horizonte, las curvas resultan equidistantes en todos sus puntos; mientras que en el segundo, disminuye la distancia de las curvas á medida que aumenta la inclinación de la generatriz. En consecuencia, la pendiente del terreno comprendido en una parte determinada de dos secciones horizontales, podrá apreciarse á la simple vista con mucha aproximación, y aun calcularse exactamente si se conoce la equidistancia de los planos secantes y la distancia de una curva á otra en el lugar que se considera. Estas dos cantidades son efectivamente los catetos de un triángulo rectángulo, cuya hipotenusa está formada por la línea inclinada del terreno comprendido entre las dos secciones; y en consecuencia, designando por e la equidistancia, y por Δ la separación de las dos curvas de nivel, se tendrá que la pendiente en ese punto del terreno es $p = \frac{e}{\Delta}$.

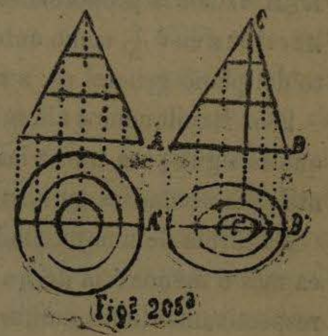


Fig.ª 205ª

También el conocimiento de la equidistancia indica la elevación de cada curva respecto del plano general á que se suponen referidas las nivelaciones, y permite la medida de la altura que tiene un punto cualquiera situado entre dos curvas. Sea, en efecto, n el número de orden que corresponde á una curva, contado desde el plano general: la acotación de cualquiera de sus puntos será $n\,e$, y si designamos por δ la distancia $V R'$ (fig. 204ª) de un punto R' á la curva inmediata inferior, el punto R del terreno cuya proyección horizontal es R', tendrá la altura $x = \delta \frac{e}{\Delta}$ respecto de la curva. Este valor puede obtenerse geométricamente construyendo el triángulo rectángulo formado por la separación de las curvas en R', la equidistancia de los planos y la línea del terreno: suponiendo que ese triángulo gira al derredor de su base $S\,V$ hasta que su plano coincida con el horizonte, trazaremos la perpendicular $S\,T$ igual á la equidistancia e, siendo entonces $T\,V$ la posición de la línea del terreno cuya proyección es $S\,V$. Elevando en R' una perpendicular hasta que encuentre á $T\,V$, el punto R será el del terreno, y los triángulos semejantes $S\,T\,V$ y $R'\,R\,V$ dan la proporción $S\,V : S\,T :: R'\,V : R'\,R$, ó bien .... $\Delta : e :: \delta : x = \delta \frac{e}{\Delta}$ como antes. Según esto, la acotación de R respecto del plano general es: $n\,e + \delta \frac{e}{\Delta}$.

265. Expliquemos ahora el método breve y suficientemente exacto que se sigue para trazar las curvas, estableciendo antes algunas definiciones necesarias para su mejor inteligencia.

La forma de una montaña aislada en medio de una llanura se acerca más ó menos á la de un cono cuyo vértice, lados y base reciben respectivamente los nombres de *cima*, *flancos* ó *vertientes* y *falda* ó *pie*. La distancia vertical de la cima al llano es la *altura relativa*, y su distancia á la superficie del Océano, su *altura absoluta*.

Las eminencias se distinguen con diversas denominaciones según su elevación relativa. Se llaman *colinas*, ó *lomas* cuando tienen poca altura, designándose generalmente por el segundo de estos nombres las eminencias extensas y de pendientes suaves. Toda eminencia más elevada y áspera que una colina, se llama *cerro*; y *montaña* cuando tiene una altura muy considerable, aunque esta voz se aplica también como nombre genérico para designar toda clase de eminencias.

Cuando la cima de una montaña es sensiblemente horizontal, de manera que forme una llanura elevada, se llama *mesa*. Si por el contrario, está terminada en punta y formada por rápidas pendientes, se denomina *pico* ó *picacho*.

El declive de las vertientes ó flancos de una montaña nunca es uniforme: en la cima, sobre todo si la eminencia está terminada por una mesa, el declive es suave generalmente, y muchas veces interrumpido bruscamente por un espacio de terreno escarpado, que suele llamarse *cornisa* de la mesa. Siguen después las *laderas*, en que la pendiente es más fuerte que en la cima y que en la falda, en la cual terminan las vertientes.

Raras veces se encuentran montañas enteramente aisladas, sino que por lo regular están agrupadas formando *cadenas*, *sierras* ó *cordilleras*, que se extienden siempre en una dirección más que en las otras. De las cadenas *principales* se desprenden, hacia uno y otro lado, ramificaciones de montañas, generalmente menos elevadas, que se llaman cadenas *secundarias*. También de estas últimas parten otras ramificaciones de menor elevación, llamadas *contrafuertes*. La figura 206ª, que está copiada de la naturaleza, representa con bastante claridad estos agrupamientos de las montañas. Desde A hacia B se ve una parte de la cadena principal, y dos secundarias que parten la una de A hacia D y la otra de B hacia C. Los contrafuertes derivados de éstas corren de a á b, de c á d, de e á f, etc. Debe notarse que los contrafuertes de una cadena corresponden siempre á un ángulo entrante de otra cadena inmediata que le sea paralela, y lo mismo puede decirse respecto de las posiciones

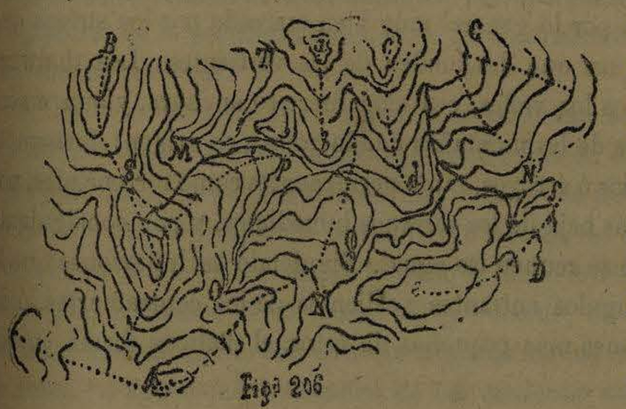


Fig.ª 206

de las cadenas secundarias que parten de dos principales; de manera que caminando entre dos cadenas de montañas, se van encontrando alternativamente las ramificaciones que se desprenden de una y otra.

El espacio de terreno comprendido entre dos cadenas de montañas, se llama *valle*, *cañada*, *desfiladero*, *barranca*, etc. Más bien que á la forma, se refieren todos estos nombres á las dimensiones de aquellos espacios; y así se llaman valles cuando son bastante anchos y sensiblemente planos, al menos en su parte más baja; cañadas si son más estrechos que los valles y formados por vertientes de mayor declive; desfiladeros ó gargantas, cuando son muy estrechos y las vertientes que los forman tienen mucha pendiente; y barrancas, si además de muy estrechos, tienen poca longitud y son muy escarpadas las vertientes inmediatas. En la figura se ve un valle de M á N, una cañada de O á P, y una barranca en Q. La parte en que se reunen dos eminencias contiguas se llama *puerto*, como R, S y T en la figura.

La línea de intersección de las vertientes de dos montañas, se llama *thalweg* (1) ó también *línea de reunión de las aguas;* y en efecto, esta curva está por lo general muy bien marcada por los surcos que forman las aguas que descienden de las vertientes. Los thalwegs existen en todos los valles, sea cual fuere su anchura, y aun en los flancos mismos de las montañas donde toman su origen; forman el cauce de los ríos ó arroyos, tanto permanentes como torrenciales, por la parte más baja de los terrenos inmediatos, y por consiguiente ser la parte más baja de los terrenos inmediatos, y por consiguiente aquella en que se reunen las aguas. Siguiendo las inflexiones que le señalan los ángulos entrantes y salientes de los contrafuertes, ó de las ramificaciones más pequeñas de éstos, el thalweg forma curvas

(1) Es una voz alemana que literalmente significa *camino del valle.* El Sr. D. Tomás Aznar Barbachano, distinguido escritor mexicano, ha propuesto la palabra *becan* para designar esa línea, tomándola de la lengua maya que se habla en Yucatán. El significado de *becan* es *camino de culebra*, ó *camino en forma de culebra*, que conviene perfectamente á la línea de que se trata. Tanto por esto, como por ser la voz *becan* más adecuada á la pronunciación castellana, la adoptaría yo gustoso, si no fuera porque la palabra *thalweg* está admitida de hecho en todos los idiomas.

más ó menos sinuosas, representadas en la figura por líneas fuertes que comienzan en las partes más elevadas de los valles, cañadas, barrancas, etc.

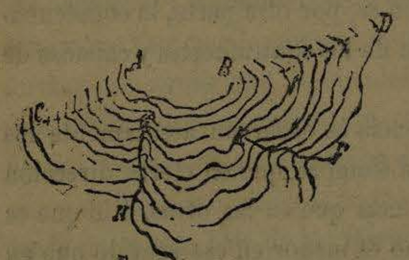
Cuando son casi de igual declive las dos vertientes opuestas cuya intersección forma un thalweg, corre esta línea sensiblemente á la mitad del valle, ó sea á distancias iguales de la serie de eminencias que lo limitan: pero siendo diferentes los declives de las dos vertientes, es un hecho constante que el thalweg se acerca al lado en que es mayor la pendiente. Esto se nota muy bien en los terrenos muy inclinados, á cuyo pie se ven correr siempre los arroyos torrenciales ó las huellas que éstos dejan, y que señalan perfectamente los thalwegs.

Un thalweg principal, que recibe los secundarios que provienen de las cañadas ó de las barrancas laterales, forma con ellos ramificaciones semejantes á las que se originan de los valles secundarios respecto del principal en que desembocan. En las confluencias de estos thalwegs se nota constantemente que los laterales se reunen con el principal en la parte convexa de las curvas que éste forma, como si se inclinase á recibirlos. Este hecho es, por otra parte, la consecuencia natural de la posición alternada de los contrafuertes y cañadas de dos sierras paralelas.

Si desde la cima de una eminencia se observan atentamente las pendientes de sus flancos, se notará siempre que en cierta dirección las vertientes se extienden mucho más que en las otras, ó lo que es lo mismo, que el declive del terreno es menor en ese sentido que en cualquiera de los demás. Esta dirección se llama *arista*, *cresta*, y también *línea de división de las aguas;* porque siendo, en efecto, la que forma el menor ángulo con el horizonte, de cuantas líneas parten de la cima, las aguas que descienden de las vertientes se separan en su dirección, dirigiéndose á uno y otro lado para seguir una pendiente más rápida. En el cono oblicuo de la figura 205ª la generatriz $C\ A$ representa la línea divisoria de las aguas, y puede notarse desde luego que su proyección $C'\ A'$ es mayor que la de cualquiera otra generatriz, lo que también se deduce de la ecuación $p = \frac{n}{k}$ que da el declive, puesto que, para ascender ó descender una altura constante

n, es preciso que la pendiente p y la distancia horizontal k estén en razón inversa una de otra. La consecuencia inmediata de lo que precede es que las curvas de nivel resultarán más separadas en la dirección de la cresta que en cualquiera otra, y que la proyección de esa línea pasará por los puntos de retroceso de todas las curvas. En la figura 206ª se han señalado con puntos las direcciones de algunas crestas.

266. Las definiciones que anteceden dan idea de las leyes generales á que están sujetos los accidentes verticales del terreno, y hacen comprender inmediatamente la posibilidad de configurarlos con suficiente exactitud, por medio del estudio y demarcación de algunas líneas principales que los caracterizan bastante bien. Los thalwegs ó líneas de reunión, y las crestas ó líneas de separación de las aguas, son por lo regular las necesarias para determinar la forma del suelo, y también las que se reconocen con más facilidad en el terreno por los caracteres que las distinguen y que antes se han explicado. Así, por ejemplo, si desde los puntos A y B (figura 207ª) de la mesa de una eminencia, se trazan, se miden y se nivelan las direcciones más ó menos sinuosas de las crestas $A\,C$ y $B\,D$, se tendrán los datos necesarios para construir sus proyecciones horizontal y vertical. Haciendo la misma operación respecto de los thalwegs $E\,F$ y $G\,H$, se obtendrán también los elementos que determinan sus proyecciones; y si se hace, además, sobre el terreno mismo un croquis ó bosquejo, tomado á la vista, de la forma general de las vertientes en las partes comprendidas entre aquellas líneas principales, se habrán reunido los datos bastantes para configurar muy bien toda la eminencia.



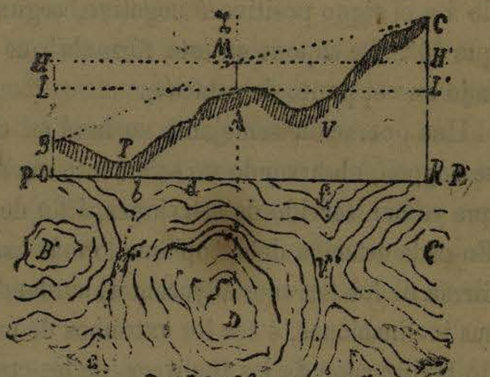
Figª 207ª

Para facilitar las explicaciones, supongamos que cada una de las líneas $A\,C$, $B\,D$, $E\,F$, $G\,H$, etc., tiene un declive uniforme en toda su extensión. Admitamos, además, que los puntos A y B estén al

mismo nivel; A elevado respecto de C, 160ᵐ; y B 200ᵐ más alto que D. Si se ha convenido en asignar la equidistancia de 20ᵐ á los planos secantes, tendremos que, entre los puntos extremos A y C. deberán pasar siete curvas intermedias, número que resulta de dividir la altura total 160ᵐ por la equidistancia 20ᵐ, y de restar una unidad del cociente. Por la misma razón, entre B y D pasarán 9 curvas. En general, siendo n el desnivel y e la equidistancia, el número de curvas intermedias es $\frac{n-e}{e}$. Una vez obtenidos estos números, se dividen las líneas $A\,C$ y $B\,D$ en 7 y 9 partes iguales respectivamente, para obtener otros tantos puntos de las curvas.

Supongamos ahora que el thalweg $G\,H$ comience á hacerse notar á 60ᵐ abajo de A ó B. Inferimos de esto que entre la curva $A\,B$ y la primera del thalweg, debe haber dos curvas intermedias; y entonces desde G hacia H se tomarán sobre la línea $G\,H$, que señala la proyección del thalweg, las pequeñas distancias horizontales que indiquen desniveles de 20ᵐ, para obtener los puntos correspondientes de las curvas. Practicada una operación semejante respecto de $E\,F$ y de todas las líneas principales que se hayan demarcado, podrán trazarse las curvas con la forma general que resulte de la copia ó bosquejo del terreno.

Aunque en este ejemplo se han supuesto uniformes los declives, es evidente que puede aplicarse el mismo procedimiento cuando no sea así, con tal que se señalen los puntos de las líneas principales en que el terreno varíe sensiblemente de inclinación, como se ve en el resto de la figura.



Figª 208ª

267. En estas configuraciones, como no se necesita mucha precisión, y por otra parte, importa proceder con rapidez, se aplica preferentemente el método trigonométrico de nivelación para obtener

los desniveles en la dirección de las líneas principales, lo cual puede hacerse al estacionar en los vértices de la triangulación ó en los puntos fundamentales del levantamiento. Sean A, B, C, etc., (fig. 208ª), algunos de estos puntos. Desde cada uno de ellos, tal como A, se toman las distancias zenitales $BMZ = z$, $CMZ = z'$, etc., de todos los demás. Con estos elementos y las distancias horizontales comprendidas entre ellos y el punto de estación, se calculan sus diferencias de nivel, á saber:

$$n = k \cot. z, \qquad n' = k' \cot. z', \text{ etc.}$$

Asignando ahora al punto A la acotación D que le corresponde, según la posición PP' que se haya atribuído al plano general de comparación, podremos calcular las acotaciones de los vértices observados. Las de los puntos B y C, en el caso que indica la figura, serán respectivamente:

$$BO = D + h - n$$
$$CR = D + h + n'$$

En general, la acotación de un punto cualquiera es $D + n + (h - m)$ siendo h la altura del instrumento, m la de la señal observada, y dando á n el signo positivo ó negativo, según que z sea menor ó mayor que 90°. Se supone en esta fórmula que el plano general está más bajo que el punto de estación.

Una operación semejante se hará en cada uno de los puntos que se ocupen, observando no solamente nuevos puntos, sino también los que ya han servido de estaciones, á fin de comprobar los resultados. En cada estación debe copiarse lo más exactamente que se pueda la forma de los terrenos adyacentes, anotando los puntos en que varían sus inclinaciones, ó sea los extremos de un declive constante, situando la dirección de los thalwegs, de las crestas, y de cuantos accidentes notables se adviertan. En todas esas direcciones conviene medir las distancias zenitales, con el fin de conocer sus desniveles para que las curvas horizontales representen la verdadera configuración del suelo. Una brújula con eclímetro y estadía es el instrumento más propio para recoger todos esos elementos con la mayor rapidez, puesto que suministra al mismo tiempo el rumbo, la inclinación y la distancia del punto que se observa en cada dirección.

Además de las líneas principales que se han indicado, deben situarse los puertos, tales como T' V', que son puntos notables por ser los más elevados en las direcciones ab y fg, á la vez que los más bajos en las de $A'B'$ y $A'C'$. Estos puntos marcan por consiguiente el principio de los declives, descendentes en las primeras direcciones, y ascendentes en las últimas. Sus posiciones se determinan también por medio de su distancia, rumbo y desnivel respecto de la estación A.

Una vez obtenidas las acotaciones de los puntos a, b, c, d, f, g, T', V', etc., y después de fijados en el plano, se procede al trazo de las curvas. Supongamos que se hubiera adoptado la equidistancia de 10^m, y que siendo 200^m la acotación de A, hubiéramos hallado 174^m para B, 210^m para C, 100^m para T', 68^m para d y 144^m para V'. De estos datos resulta que entre A' y T' deben pasar 9 curvas, quedando en la décima el punto T'. Entre A' y V' pasarán 5, y V' quedará 6^m abajo de la última. Entre este punto y C' deberán pasar 6, la primera de las cuales estará 6^m más alta que V'. Entre A' y d habrá 13 curvas, estando la última 2^m de elevación respecto de d. De igual manera se hará el cálculo para los demás puntos.

Para determinar ahora la distancia horizontal Δ de una curva á otra, tenemos que el triángulo rectángulo formado por Δ, la equidistancia e y la línea inclinada del terreno, da la ecuación $p = \frac{e}{\Delta}$ siendo p la pendiente. De ella se deduce $\Delta = \frac{e}{p}$, valor que también puede ponerse bajo la forma $\Delta = e\frac{k}{n}$, ó bien $\Delta = e \tan. z$, en los cuales n es el desnivel de los extremos de la línea k suponiendo uniforme su pendiente, y z la distancia zenital de uno de ellos observada desde el otro.

268. Tales son las reglas generales para hacer la configuración del suelo, por medio de la determinación geométrica de un corto número de líneas y de puntos notables; pero cuando tienen que configurarse grandes superficies de terrenos muy montañosos, es casi imposible, ó por lo menos sería muy dilatado, hacer la determinación de todas las líneas que suministran la forma de cada una de sus emi-