LAMINA I.

INSTRUMENTOS MATEMATICOS.

La precision de los instrumentos de construccion y dibujo de planos es de tanta importancia para el ingeniero, que la falta de ella le hará cometer errores que no es fácil distinguir si han sido cometidos al construir el plano ó al observar sobre el terreno; por consiguiente, ántes de comenzar sus trabajos de gabinete, deberá asegurarse de aquella circunstancia, rectificándolos, para cuyo objeto indicaré ciertas reglas, que por frívolas que parezcan algunas de ellas, no debo omitirlas, puesto que del mayor ó menor cuidado que se tenga en la construccion de un plano depende su mayor ó menor grado de exactitud y limpieza.

Los principales instrumentos para la construccion y dibujo de un plano, son los siguientes:

Regla. Liston recto de madera, metal, marfil, etc., que sirve para tirar lineas rectas, sirviéndose de un lápiz, pluma etc., que se hace deslizar por uno de sus bordes. El ingeniero deberá procurarse varias reglas de distintas dimensiones.

Para asegurarse de que los bordes de una regla son exactamente rectos, trácese una linea siguiendo con la punta de un lápiz uno de ellos; voltéese en seguida la regla de uno á otro extremo y siguiendo el mismo borde trácese otra linea sobre la primera. Si la regla es exacta ambas líneas coincidirán en todos sus puntos. De la misma manera se rectificará el otro lado.

En los trabajos de construccion deberá usarse de un lápiz que no sea demasiado duro que raye el papel y no pueda borrarse fácilmente por medio de la goma, ni demasiado blando que no pueda conservar la punta fina para poder marcar de la misma manera la linea. La punta del lápiz, al trazar esta, deberá seguir precisamente la arista del ángulo diedro formado por el borde de la regla y la superficie del papel, pues de otra manera se expone el dibujante á marcar una linea ligeramente ondulada; mas esto no debe verificarse de la misma manera cuando se haga uso de un grafio ó pluma, por el riesgo que se corre de manchar el papel al adherirse la tinta á la regla, mas en tal caso, se procurará llevar con firmeza los instrumentos siguiendo exactamente el borde de la regla.

Los lápices que debo recomendar particularmente, son los de Faber, Conté y Walter: los que están marcados con los números 1 y 2 son suaves y excelentes para los apuntes y croquis en el campo; los del número 3 son propios para los trabajos de construccion por la circunstancia que he indicado ántes, y los del número 4, que son duros, pueden servir para pasar los dibujos de la calca al papel.

La *escuadra* es un instrumento de madera ú otra materia, que tiene la figura de un triángulo rectángulo (fig. 1). La escuadra que tiene un ángulo recto y los otros dos de 45° se llama *escuadra de 45°* (fig. 2).

La *escuadra* puede estar formada por dos reglas unidas entre sí por sus extremidades, formando un ángulo recto. Las de metal están generalmente construidas de esta manera (fig. 3).

Se rectifica una escuadra de la manera siguiente: colóquese contra el borde de una buena regla el lado A B de la escuadra (fig. 4) y márquese con la punta fina de un lápiz la línea B C; colóquese en seguida la escuadra en la posicion A B C y trácese de nuevo la linea B C. Si la escuadra es buena, esta linea deberá coincidir con la primera en todos sus puntos como se observa en la figura; mas si ambas lineas se separan ó se cruzan deberá desecharse.

Existe ademas una regla que sirve á la vez de escuadra y se llama *muleta ó regla T* á causa de su semejanza con la letra de este nombre (fig. 5). Está formada de una regla, en una de cuyas extremidades se encuentra unida otra formando con la primera dos ángulos rectos: en esta última, que es mas pequeña que la primera, hay una ranura que se hace coincidir con la arista de un restirador y permite á la regla grande tener una posicion conveniente para trazar por su me-

dio lineas paralelas á las aristas del restirador (fig. 27) ya sea para márgenes ó para otro objeto; mas para tal procedimiento es indispensable que el restirador esté bien construido y sus lados perfectamente á escuadra (fig. 27).

Pistolas. Instrumentos de madera que se construyen bajo distintas formas y figuras caprichosas (fig. 6) con el objeto de trazar en los planos lineas curvas de distintas formas, para letreros, etc.

Paralelas. Instrumento formado por dos reglas de madera ó marfil, unidas entre sí por medio de dos barillas de metal que facilitan el movimiento de aquellas alternativa y paralelamente á sí mismas, de la manera siguiente (fig. 7). Estando unidas, se marca la primera linea siguiendo el borde de una de ellas; se fija la regla A con la mano izquierda, y se hace caminar la regla B; se une la A á la B y se traza la segunda linea. En seguida se hace caminar la regla B y vuelve á unírsele la regla A, y se traza la tercera linea, y así sucesivamente.

Grafio (fig. 8). Instrumento de metal que sirve para trazar con tinta lineas del ancho que se desee: está formado por dos lengüetas de metal terminadas en punta redonda y perfectamente iguales: ambas láminas se hallan separadas por su propia construccion ó por un resorte, pero cuyas puntas pueden acercarse por medio de un tornillo que pasa por el centro de aquellas. Este instrumento, para su mejor manejo,

se encuentra unido á un mango de marfil ó madera. Para hacer uso de él se pone tinta de china ó el color que se quiera en el intervalo que existe entre ambas lengüetas y cerca de la punta, acercándose aquellas, como ya se ha dicho, por medio del tornillo hasta dar á la linea el grueso necesario. Antes de usarlo se deberá probarlo en otro papel hasta que las lineas que pinte queden perfectamente marcadas y continuas.

Para evitar la oxidacion, que en extremo perjudica al instrumento, debo recomendar, primero: que se limpie con mucho cuidado despues de usarlo, y por esta circunstancia deberán preferirse los grafios que tienen movible una de las lengüetas, y segundo, que nunca se emplee la tinta comun de escribir, que desde el momento ataca el metal.

Cuando las extremidades están gruesas ó desiguales y la tinta no corre bien en el papel, pueden afilarse en una piedra fina y con aceite procurando que aquellas queden enteramente iguales, finas y redondas.

Compás. Este instrumento de metal, que es uno de los mas importantes de los matemáticos, sirve para medir la distancia que hay entre dos puntos y trazar circunferencias de círculo.

El compás simple se compone de dos piernas de metal terminadas en punta y unidas entre sí por medio de una charnela que les permite separarse ó unirse tanto como se quiera (fig. 9).

Los compases cuyas puntas no son muy agudas,

segun se observan en la fig. 10, deben ser preferidos á los que tienen las puntas de la forma triangular y muy agudas como las de la fig. 11, pues estas agujeran y rayan el papel. Para evitar este mal, existen unos pequeños círculos de talco que se llaman *centros*, con tres puntas sumamente finas que sirven para fijarlos en el papel y puedan recibir la punta del compás.

Se traza una circunferencia abriendo el compás hasta que sus puntas estén á una distancia igual al radio que se desea, colocando una de las puntas del compás en el punto elegido como centro y haciendo girar la sugunda pierna al rededor de la primera, que permanece fija en el punto. Si durante esta operacion el compás no se ha abierto ni cerrado, la curva será una verdadera circunferencia, puesto que todos sus puntos se hallan á igual distancia del centro.

Cuando se trate de describir una circunferencia mayor que la que pueda trazarse con un compas simple, se hace uso de otro que tiene una de sus piernas formada de dos piezas, la primera fija á la parte superior de la misma manera que el compas simple, y la segunda unida á la primera por medio de ajuste ó de un tornillo que permite separarla y colocar en su lugar otra pieza que se llama *prolonga* (*a* fig. 12), y á su vez se agrega á esta la punta, porta-lápiz (*b*), ó grafio (*c*) segun se desee.

Hay veces que no es suficiente este compás para

trazar una curva cuyo radio sea muy grande; en tal caso se usa del *compás de regla* (fig. 13). Este se forma de una regla que tenga las dimensiones necesarias para el objeto, en uno de cuyos bordes se afirman por medio de tornillos dos piezas de metal, de las cuales una contiene la punta seca y la otra el porta-lápiz ó grafio. Para que ambas piezas estén á la distancia deseada, una se coloca con fijeza y la otra al tanteo, aproximando la punta del grafio ó lápiz por medio de un tornillo A.

El *compás de reduccion* que muchos confunden con el de proporciones, es un instrumento compuesto de dos piezas iguales de metal A B y C D (fig. 14) terminadas en punta en sus extremidades y unidas por medio de un eje que les permite cruzarse en forma de una X y sirve para tomar longitudes 2, 3, 4, etc., veces mayores ó menores que otras dadas. Las dos piezas tienen una ranura igual, encontrándose en el interior de una, un *cric* por medio del cual puede recorrer el eje O que se hace mover por un tornillo, toda la extension de la ranura. Cerrado el instrumento, ambas ranuras se confunden en una y facilitan el movimiento del eje, que lleva consigo una pieza de metal embutida en la otra ranura, la cual tiene grabado un índice ó linea de fé que se hace coincidir con una de las divisiones marcadas en la superficie superior del instrumento. De esta colocacion depende la relacion en que se encuentran las distancias A C y D B. Al

lado opuesto de aquel en que se encuentran dichas divisiones existen otras que sirven para buscar la relacion que hay entre el radio y los lados de cualquier polígono inscrito.

Se hace uso de este instrumento cerrándolo primero de manera que ambas ranuras se confundan, como se ha dicho ya; en seguida, por medio del tornillo de aproximacion, se imprime el movimiento á la pieza del índice, hasta hacerla coincidir con la division que marque la relacion que se quiere y se fija con el tornillo de presion. Si se quiere, por ejemplo, obtener la relacion de 1 á 2, hágase coincidir el índice con la linea marcada 2 (véase la fig.), ábrase el compás hasta obtener con las puntas A C la distancia igual á la linea que se trata de reducir y las puntas B y D darán la linea reducida que en el caso presente es igual á la mitad de la primera.

Fácilmente se comprende, por la disposicion del instrumento, que la menor alteracion en la direccion y longitud de las puntas le hacen perder sus propiedades.

Se rectifica este instrumento haciendo coincidir sucesivamente el índice con cada una de las divisiones, y observando si las relaciones que existen entre la distancia que miden las puntas A C y la de las puntas B y D están conformes con las indicaciones del instrumento. Si algunas no lo están, pueden corregirse de la manera siguiente: trácense dos lineas que

estén en la relacion que se busca; ábrase el compás hasta que las puntas A C dén la distancia igual á una de las lineas, la mayor por ejemplo, y obsérvese si las puntas B y D dán una distancia mayor ó menor que la segunda linea. En el primer caso, hágase subir sucesivamente el índice por medio del tornillo O, y en el segundo bájese hasta encontrar la relacion buscada. En este caso, márquese en el lugar de las divisiones por medio de un punzon, una linea á continuacion del índice, y se tendrá corregido el instrumento. Igualmente puede corregirse acortando las puntas D B si dán una longitud mayor, y si la dán menor, en tal caso las puntas A C son las que deben acortarse; mas tal operacion es muy delicada.

El *compás de reduccion* representado en la figura 15, tiene por objeto reducir un plano á la mitad de su extension, ó bien para aumentarlo de 1 á 2. Por construccion una vez abierto el compás, la distancia *a–b* es una mitad de la *a'–b'*. Cuando este instrumento no es exacto segun dicha relacion, se corrige de la misma manera que se ha indicado para el anterior, en el fin del párrafo.

Compás de proporciones. (Fig. 16.) Este instrumento, que es sumamente complicado, está formado por dos reglas generalmente de marfil y de igual longitud, A B y B C, reunidas por una charnela cuyo centro es el punto en que concurren los bordes interiores y que les permite abrirse de la misma manera

que un compás comun. Este instrumento está fundado en el mismo principio que el anterior. Las lineas que se encuentran marcadas en las superficies de las reglas, indican: *lineas de partes iguales, de los polígonos, de las cuerdas, de los sólidos, de los metales, etc.*

En la topografía, este instrumento sirve para dividir en varias partes una linea recta, establecer la relacion que existe entre dos escalas diferentes, y para buscar la escala de una carta.

Si, por ejemplo, se trata de encontrar la longitud de una linea que esté en relacion con la de otra dada como 3 á 10, se abrirá el compás, hasta que la distancia *a'* (fig. 16) que une los dos puntos marcados con el número 10 sea igual á la longitud de la linea dada, la distancia *b* que une los puntos marcados con el número 3 dará la longitud buscada. (Principio establecido en la lámina III).

De la misma manera se puede dividir una recta en partes iguales; mas para usar de este compás es preciso que el número de divisiones no exceda al de las marcadas en cada una de las dos reglas del compás.

Para asegurarse de la buena construccion de este instrumento, deberá observarse si todas las lineas concurren al centro comun O, puesto que se halla fundado en la teoría de las lineas proporcionales, y si son exactas las divisiones de las lineas de partes iguales.

Las letras L S C indican las lineas de partes iguales, secantes y cuerdas.

Para mayores detalles, vease el Tratado de Topografía por Puissant, pág. 23, ó con mas extension la obra de Garnier titulada: «Uso del compás de proporciones.»

Rodaja (fig. 17.) Este instrumento tiene la figura de un grafio, con la diferencia de que sus puntas están ligadas por un eje, en el cual gira un pequeño círculo de metal con puntas en su circunferencia á manera de una rueda dentada, y el cual al hacerse rodar sobre el papel imprime una sucesion de puntos y lineas combinadas de distintas maneras, para cuyo objeto está provisto el instrumento de varios circulillos de refaccion que se guardan en su parte superior. Se le pone tinta de la misma manera que al grafio.

Punzon (fig. 18). Está formado por una aguja que se oprime entre dos láminas de metal por medio de un anillo. Sirve para marcar en el papel los puntos de una triangulacion, los de las proyecciones y todo aquello que por su exactitud requiere mucha escrupulosidad. Provisto el instrumento de una aguja gruesa, puede servir para pasar los dibujos de la calca al papel.

Doble grafio. Este instrumento (fig. 19) que está formado, como su nombre lo indica, de dos grafios unidos á un mango comun, y que pueden acercarse sirviéndose de un tornillo hasta dar á las lineas paralelas la distancia que se quiera, sirve para delinear los caminos; mas puede suplirse colocando dos plumas fi-

nas de acero en un mismo mango, disponiéndolas de manera que sus puntas estén separadas. El uso de las plumas es mas sencillo que el del doble grafio, pues generalmente es difícil que ambos grafios puedan pintar á la vez.

Compás escuadra ó de tres puntas. Las tres piernas de este compás están de tal manera ligadas, que pueden moverse y hacerles conservar entre sí la posicion que se quiera (fig. 20). Sirve para trasportar ángulos, levantar perpendiculares, copiar la proyeccion de una carta, etc.

El *compás de resorte*, llamado generalmente *compas de Bomba*, sirve para trazar círculos de pequeños radios (fig. 21); las partes de que se compone son: cilindro de metal A, terminado en un extremo, por una pieza del mismo metal, que tiene la forma de un minisco cóncavo, y en el otro, en punta; un tubo B, ajustado al cilindro A con poca presion; un resorte D, que tiene costantemente levantado el tubo B sin que presente una gran resistencia cuando se desee hacerle bajar; un muelle unido al tubo en E y conteniendo en su extremidad una pieza H, á la cual puede unírsele un punzon, grafio ó porta-lápiz; y por último, un tornillo H, que tiene por objeto acercar el instrumento G á la punta K, segun el radio del círculo que se ha de trazar. Para usarle se tiene verticalmente, apoyando uno de los dedos de la mano izquierda sobre el minisco cóncavo, miéntras que con dos de la derecha se hace descender el tubo B hasta que la extremidad del instrumento G toque el papel, y se le imprime el movimiento de revolucion, dejando de oprimir el minisco en el momento que se haya cerrado la curva.

El *trasportador* (fig. 22). Como su nombre lo indica, es un instrumento que sirve para trasportar al papel, ángulos dados ú observados sobre el terreno. Es un semicírculo de metal, ó talco, cuya semicircunferencia se halla dividida en grados generalmente con la aproximacion de 30′, teniendo los trasportadores, las mas veces, la numeracion duplicada y en direccion inversa una con respecto á la otra, con el fin de facilitar la lectura de los grados, cualquiera que sea la direccion de los lados de los ángulos, y poder tomar directamente los complementos y suplementos. Debe preferirse el trasportador de talco al de metal, porque este ensucia el papel. Se rectifica el trasportador observando si la semicircunferencia es perfecta y si son exactamente iguales sus divisiones.

Se hace uso de este instrumento de la manera siguiente: colóquese de manera que su centro coincida con el vértice O del ángulo (fig. 22) y su diámetro con uno de los lados O B, por ejemplo: colocado de esta manera, el otro lado interceptará un punto de la semicircunferencia graduada, y la division en que coincida indicará la magnitud del ángulo.

Si se trata, no simplemente de medir un ángulo, sino de trasportar al papel un ángulo cuya magnitud

sea conocida, colóquese el instrumento de manera que su diámetro coincida con el meridiano magnético (N S) fijado de antemano, que en el caso de la figura supondrémos que es la linea O B, y el centro con un punto O que se marca como vértice en la misma meridiana, y trácese una segunda linea que partiendo del punto O coincida con la division que indique la magnitud del ángulo de que se trate, que en el presente caso es de 35° N O.

Colocada una escuadra de manera que uno de sus lados, por ejemplo el mayor de los del ángulo recto, coincida con el lado O A, se hace deslizar apoyando el otro lado en el borde de una buena regla y se traza otra linea que será paralela á la primera, en el punto donde convenga, segun verémos al tratar acerca de la construccion de un plano. De esta suerte se ha trasportado el ángulo, puesto que la meridiana que pasa por dicho punto es tambien paralela á la principal O B que sirvió de punto de partida, atendiendo á la corta extension del terreno.

Muchas veces se dá al trasportador la forma rectangular, y está generalmente construido en marfil, que permite poder guardarlo en una pequeña caja de instrumentos. La circunferencia graduada se halla reemplazada por un cuadro rectangular (fig. 23). Este trasportador tiene ademas la ventaja de servir á la vez de escuadra para los usos de que he hablado en el párrafo anterior (fig. 24). Colóquese el instrumento

de suerte que su centro y la division 47° se encuentren en la linea O A; en seguida se hace deslizar apoyando uno de sus lados menores contra el borde de una regla hasta tocar el punto O, y se traza la linea O. B.

Tanto este trasportador como el de figura circular sirven para levantar perpendiculares, puesto que en ambos la recta que parte del centro O á la division 90° es perpendicular al diámetro.

La parte inferior no graduada de estos trasportadores, se halla dividida en milímitros generalmente, pudiendo servir de escala.

Trasportador complementario (fig. 23). Llámase trasportador complementario el que se encuentra dividido de tal suerte, que permita la construccion en todos los casos posibles, sin reduccion alguna (Briot, Geometría práctica, página 80).

Así como el trasportador ordinario, hállase dividido con la aproximacion de 30′.

En la primera circunferencia están indicados los grados de 10 en 10, de izquierda á derecha, desde 0° á 180°; y en la segunda circunferencia, de la misma manera de izquierda á derecha, están marcados los grados de 10 en 10, desde 180° á 360°.

En las intersecciones de los radios que terminan en las divisiones 50°, 60°, 70°, 80°, 90° 100°, 110°, 120° y 130° de la primera circunferencia, con otra tercera están marcados:

140°, 150°, 160°, 170°, 180°, 190°, 200°, 210°, y 220°

y por último en las intersecciones de los mismos radios con la cuarta circunferencia:

310°, 320°, 330°, 340°, 350°, 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°

Para trazar una recta, cuyo azimut es menor que 180°, se hace uso del trasportador complementario de la misma manera que del comun. Si el azimut es mayor que 180°, por ejemplo de 245°, se coloca el centro del trasportador en la linea N S que se encuentre mas próxima de *a* y la division 245° coincidiendo con la misma N S, y se trasporta el ángulo de la misma manera que con el trasportador comun. Si la magnitud del ángulo se aproxima á 0°, á 360°, ó á 180°, se coloca el centro en la linea E O y que esté mas cercana del punto *a* y se hace coincidir la division correspondiente al azimut conforme á las divisiones marcadas en la 3ª y 4ª circunferencia, teniendo cuidado de hacer girar el trasportador para medir el ángulo al Este, si el azimut se aproxima á los 180° y al Oeste si se aproxima á 0°, ó á los 360°.

Mesa de calcar (fig. 25). Este mueble tiene la forma de una papelera, con la diferencia de que la tapa está formada por un cristal sobre el cual se coloca el dibujo y sobre este el papel en que se va á ejecutar la calca; en la parte β se encuentra otro cristal que dá entrada á la luz que ilumina la parte interior del mueble, y da la debida trasparencia al dibujo que se va á calcar. Ademas, puede colocarse en el interior

un espejo que reciba los rayos luminosos que entran por la parte β y los refleje en la cubierta de cristal, para cuyo objeto puede darse al espejo la inclinacion conveniente por medio de un tornillo que atraviese por el fondo de la papelera.

Pantógrafo (fig. 26). Llámase pantógrafo á un instrumento por medio del cual puede copiarse, aumentarse ó reducirse en una relacion dada un plano ó un dibujo cualquiera. Se compone: primero, de cuatro reglas, dos grandes A B y B C (Tratado de Agrimensura por D. Puille), y dos pequeñas D E y E G, unidas entre sí por medio de los pivotes B, D, E, G, que permiten que aquellas puedan moverse conservando de dos en dos su paralelismo. Segundo, de una masa pesada de metal P, conteniendo una varilla de cobre que se llama *Pivote* O, y que tiene por objeto fijar el centro del movimiento de todo el aparato. Tercero, de un porta-lápiz M, que puede girar libremente en el interior de un tubo fijo y al cual están unidas dos pequeñas poleas *a*. Cuarto, de un punzon S. Quinto, de tres carretillas, una fija en K y dos movibles en H é I. Sexto, de tres piezas de metal O M S, que pueden recorrer toda la longitud de las reglas y que tienen por objeto recibir el pivote, el porta-lápiz y el punzon. Todas estas piezas cambian de lugar segun lo requiere el trabajo que se va á ejecutar.

Ademas, el dibujante debe estar provisto de un pequeño trozo de plomo que se coloca en la tacilla que

se encuentra en la parte superior del porta-lápiz, cuando se quiera dar á la punta de este mayor presion con el fin que las lineas queden mas marcadas; y de *clavillos ó chinches*, para fijar el dibujo y el papel en que se ejecuta la copia.

Las divisiones que se encuentran marcadas en las reglas A B y D E tienen por objeto fijar sin tanteo las relaciones que deben existir entre el plano original y su reduccion.

Perambulador (fig. 28). Este instrumento sirve para medir la longitud de un rio, de un camino, y en general de toda linea sinuosa: está formado por una lámina de metal, acodada hácia sus extremidades, sosteniendo en estas un eje en el cual puede girar una pequeña rueda, recorriendo toda la longitud de aquel por medio de una rosca que en él se halla practicada. Este sencillo aparato está unido á un mayor que facilita su manejo. Para usarlo se coloca la rueda al principio de la rosca, de manera que la superficie del círculo toque una de las paredes de la lámina y despues se hace girar sobre el papel, siguiendo las sinuosidades de la linea que se mide, y de este modo la rueda habrá avanzado hasta cierto punto de la rosca: en seguida se hace girar el círculo en sentido contrario, siguiendo una linea recta ó una escala, hasta que vuelva al punto de partida, y se habrá obtenido el desenvolvimiento de la linea sinuosa ó sea la longitud de ella.

LAMINAS II Y III.

GEOMETRIA.

Convencido de que para la construccion y dibujo de los planos es indispensable que los alumnos tengan la práctica necesaria en la de las figuras de que tratan los principales problemas de geometría, las he consignado en este tratado, indicando en cada una de ellas por pequeños arcos de círculo, las intersecciones de los puntos que sirven para formarlas, así como los procedimientos gráficos: únicamente trataré de la construccion de la elipse.

Los métodos mas sencillos para trazar una elipse, son: el de movimiento continuo, por la determinacion de sus puntos y por medio del compás de elipse El primero consiste en fijar dos alfileres en los focos F F un poco inclinados hácia los vértices del eje mayor. Como la propiedad analítica de la curva es, que la suma de sus dos radios vectores es igual á 2 A, ó sea eje mayor, fíjese una hebra de hilo que tenga esta longitud, en los alfileres, y en seguida, teniendo continuamente tirante el hilo con la punta del lápiz trácese la curva guiándose por el mismo hilo segun se indica en la figura.

Todos los puntos de la curva pueden determinarse