

MADRID, 15 DE FEBRERO DE 1873.

TOMO XXI.

NÚM. 3.º

SUMARIO.

Notas sobre el empleo de la tacheometría en el levantamiento de planos y nivelaciones (continuación).—Carreteras de la provincia de Santander (continuación), por M.—Puente Herrera sobre el Duero, por L. Diez Luis.—Suelos.—Parte oficial.—Subastas.—Noticias varias.

NOTAS

SOBRE EL EMPLEO DE LA TACHEOMETRÍA EN EL LEVANTAMIENTO DE PLANOS Y NIVELACIONES.

(Continuación.)

CAPÍTULO V.

*Grado de exactitud que puede esperarse de las operaciones tacheométricas: aplicaciones ventajosas del sistema tacheométrico (1).*

103. En todo lo que hasta aquí llevamos dicho hemos procurado describir, con cuanta claridad nos ha sido posible, el tacheómetro y la serie de operaciones que constituyen el sistema tacheométrico.

Ha llegado el momento de exponer las ventajas é inconvenientes de dicho sistema, tales cuales resultan en nuestra opinion; pues aun cuando ella sea de tan escaso valer y autoridad, quizá pueda contribuir á que otros con mayor ilustracion y competencia rectifiquen nuestros errores de apreciacion.

Vamos, pues, á ocuparnos: 1.º, de las ventajas que en la práctica parece ofrecer el empleo del tacheómetro; 2.º, del grado de preferencia que deberá darsele, respecto á instrumentos análogos y á los sistemas empleados habitualmente en el levantamiento de planos; 3.º, de las modificaciones ó al-

teraciones que, ora en el instrumento, ora en la manera de usarle, aconseja la práctica, ó la índole especial de los trabajos á que haya de aplicársele; 4.º, de las objeciones que á su empleo parecen presentarse: vamos, en una palabra, y valiéndonos de una locucion conocida, á comunicar nuestras impresiones sobre el tacheómetro y el sistema tacheométrico.

104. Para proceder con método en tan complejas cuestiones vamos á examinar y considerar sucesivamente el tacheómetro:

1.º Como *goniómetro*, ó instrumento de medir ángulos;

2.º Como *stadia*, ó instrumento para medir distancias, y

3.º Como *nivel*.

105. Considerado el tacheómetro simplemente como un *goniómetro*, hallamos que tiene todos los elementos de un verdadero teodolito. Nosotros acabamos de usar dos tacheómetros recientemente salidos de los talleres de Mr. Richer, y podemos asegurar que son de una construccion sumamente esmerada, y que nada dejan que desear en cuanto á la precision y suavidad de todos sus movimientos, y en cuanto al perfecto ajuste de todas sus partes. El diámetro del limbo horizontal es 0<sup>m</sup>,19, y el del limbo vertical de 0<sup>m</sup>,18; las divisiones y los números de la graduacion son muy claros, de fácil lectura y esmeradamente grabados; aprecian ambos limbos, segun ya hemos dicho, hasta 2 minutos centesimales, que equivalen á 1,08 minutos de la division sexagesimal, y ciertamente que este limite de apreciacion, sobre todo en el limbo vertical, podrá en muchas ocasiones no ser suficiente para el grado de exactitud que se desee obtener. Comparado este limite de apreciacion con el de que es susceptible un buen teodolito inglés de gran tamaño, no hay duda que resulta una inferioridad notable para el tacheómetro respecto de un teodolito semejante. Pero esta inferioridad no es imputable al tacheómetro en general, sino al tacheómetro tal cual le hemos descrito, porque si compara-

(1) Véanse los números 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del año anterior.

mos el diámetro del limbo vertical en el tacheómetro y en un teodolito que aprecie  $10''$ , veremos que son casi iguales, y que nada sería más fácil que modificar en el tacheómetro las divisiones del limbo vertical para obtener mayor apreciación, toda vez que la precisión y el esmero con que está construido permite utilizar con fruto un sistema de división más pequeño. Nos inclinamos á creer que para dividir el limbo vertical del tacheómetro de  $20'$  en  $20''$ , como hoy lo está, no ha habido otro objeto que el facilitar la lectura de los ángulos, aun sin el auxilio de lentes, y en ello nos confirmamos al ver que M. Moinot dice en la pág. 47 de sus *Notas*, varias veces citadas, que para los puntos de detalle se hagan las lecturas sin el auxilio de las lentes.

En cuanto al limbo horizontal, creemos ser suficiente la aproximación de 2 minutos centesimales, y sólo en casos muy excepcionales se necesitará una mayor aproximación: téngase presente, sin embargo, que la magnitud del diámetro del limbo horizontal, y la precisión en todos sus movimientos le colocan en condiciones de poder recibir y utilizar un sistema de división más pequeño.

El anteojo se halla centrado y dotado de todos los movimientos que puede tener un buen teodolito; su alcance es grande, aunque el campo que abraza es pequeño.

Queda, pues, demostrado que todas cuantas condiciones de bondad pueden exigirse á un teodolito para apreciar hasta un minuto sexagesimal, las reúne el tacheómetro que hemos descrito, y que sin otra modificación que dividir en partes más pequeñas los limbos puede obtenerse alguna mayor aproximación.

106. Ahora bien: la posibilidad de poner medir con gran exactitud los ángulos por medio del tacheómetro manejado á semejanza de un teodolito, ¿subsiste cuando á su manejo se aplica el método tacheométrico que hemos explicado, es decir, haciendo uso para los ángulos horizontales de la caja de orientación?

No dudamos en dar una respuesta afirmativa que trataremos de motivar.

Si reflexionamos un poco sobre la manera de medir los ángulos haciendo tomar al diámetro  $0^\circ - 200^\circ$ , posiciones sensiblemente paralelas en todas las estaciones, y sobre la corrección de orientación de que hemos hablado (núm. 76), que convierte este paralelismo sensible ó aproximado en paralelismo riguroso, vendremos en conocimiento

de que es completamente indiferente para la exactitud, el medir los ángulos según el método tacheométrico, ó medirlos según el método ordinario, en un teodolito; ambos métodos en nada absolutamente difieren, porque son en su esencia idénticos. En efecto: la caja de orientación no tiene influencia ni juega papel alguno en la medida de los ángulos, porque su objeto se reduce á servir de guía para colocar el diámetro  $0^\circ - 200^\circ$  en posiciones tan aproximadas á un paralelismo riguroso, que la corrección de orientación (cuyo objeto es establecerle) sea muy pequeña, y por consiguiente, fácil de hacer; y esto es tan evidente, que puede prescindirse por completo de dicha caja, y obtener, sin embargo, una posición para el diámetro  $0^\circ - 200^\circ$ , rigurosamente paralela en todas las estaciones. Supongamos que se desea hacerlo así con el tacheómetro ó con un teodolito ordinario, y que colocado en la 1.<sup>a</sup> estación se toma el ángulo que hace la 1.<sup>a</sup> alineación con la dirección dada, á la cual ha de ser paralela la posición sucesiva del diámetro  $0^\circ - 200^\circ$  en todas las demás estaciones; llamemos á este ángulo  $\alpha$ , siendo el origen de él la recta dada, y traslademos é instalemos el instrumento en la 2.<sup>a</sup> estación. Si el diámetro  $0^\circ - 200^\circ$  ocupa ahora una posición paralela á la anterior, y en tal estado se dirige el anteojo al punto 1, entonces el nonius marcará en el limbo un ángulo suplementario de  $\alpha$ , recíprocamente; si después de instalado el tacheómetro en el punto 2 hacemos coincidir el nonius con un ángulo suplementario de  $\alpha$ , y sujetando limbo y nonius con el tornillo de presión dirigimos el anteojo al punto 1, estaremos seguros de que el diámetro  $0^\circ - 200^\circ$  ocupa entonces una posición paralela á la que tuvo en la estación 1. Si, aflojando el tornillo de presión entre limbo y nonius, dirigimos el anteojo al punto 3, y leemos el ángulo  $\alpha^1$  que marca el nonius, deduciremos el ángulo que forman entre sí las alineaciones (1—2) y (2—3), hallando la diferencia entre el ángulo suplementario de  $\alpha^1$  y el  $\alpha^2$  que últimamente acabamos de leer. Haciendo idénticas operaciones con el instrumento trasladado al punto 3, es decir, haciendo coincidir el nonius con un ángulo suplementario de  $\alpha^2$ , dirigiendo el anteojo al punto 2, y seguidamente al punto 3, después de haber aflojado el tornillo de presión entre limbo y nonius obtendremos el ángulo formado en dicho punto por las dos alineaciones que en él concurren, y del mismo modo podríamos continuar en las esta-

ciones sucesivas colocando el diámetro ( $0^{\circ}$ — $200^{\circ}$ ) en posiciones paralelas á la primera, y deduciendo por simples sustracciones los ángulos formados por las alineaciones en los vértices 1, 2, 3, 4,..... etc.

Estos ángulos han sido medidos en realidad de una manera idéntica á la que habitualmente se practica usando el teodolito, con la única diferencia de que en vez de dirigir el anteojo á la estacion de atras, teniendo en coincidencia los ceros del nonius y del limbo, se ha dirigido teniendo en coincidencia con el cero del nonius un cierto ángulo del limbo, lo cual equivale á variar el origen del ángulo (como se hace cuando se repiten), y en nada altera el principio teóricamente exacto sobre que reposan esta clase de operaciones.

Esto que acabamos de practicar es en el fondo lo mismo que se practica con el tacheómetro; la aguja magnética sirve de guía para establecer un paralelismo aproximado, de modo, que al mirar á la estacion de atras marque el nonius un ángulo casi suplementario del anterior; la correccion de orientacion convierte el paralelismo de *aproximado* en *exacto* (1), haciendo que el ángulo mirando atras sea no ya *casi*, sino *exactamente* suplementario.

Queda demostrado con lo dicho que resultarán idénticos los ángulos, ora se midan por el método ordinario, ora valiéndose de la aguja magnética en la forma ya explicada, porque ambos métodos son idénticos en el fondo.

107. Pero no basta haber demostrado esta identidad; es preciso demostrar la *utilidad* y *ventajas* de referir todos los ángulos á una línea dada. A nuestro entender, una y otras consisten sólo en que esta referencia facilita notablemente el cálculo de las coordenadas; y puesto que, segun trataremos ahora de hacer ver, la adopcion de las coordenadas, tal como queda ya explicada, ofrece incontestables ventajas, tanto para la exactitud en el dibujo, como para el replanteo sobre el terreno, dichas ventajas recaerán á su vez en el método de medir los ángulos, refiriéndolos á una línea primitivamente dada de posicion.

El dibujo hecho por medio de las coordenadas ofrece garantías de exactitud muy superiores al

que se ejecuta por medio del transportador; y no basta que nosotros formulemos este aserto, y le apoyemos con el relato de lo que á nosotros ha sucedido prácticamente ejecutando un mismo dibujo de la una y de la otra manera, sino que nos proponemos razonarle hasta donde nos sea posible.

Los valores numéricos que resultan para las coordenadas se obtienen por medio de cálculos matemáticamente exactos, y pueden ser representados por tantas cifras como necesarias sean para llegar al límite de exactitud que nos proponemos; nada hay que objetar, por lo tanto, á estos valores numéricamente considerados, y los errores, si resultaren apreciables en el plano, sólo serán imputables á la manera de trasladar al dibujo las longitudes de estas coordenadas; del mismo modo que sólo serian imputables á la manera de servirse del transportador, si con su auxilio hemos trasladado al papel los ángulos observados. Cotejemos ahora en el campo de probabilidades racionales las contingencias de error que pueden surgir de uno ú otro de estos dos medios de trasladar al papel la línea de operaciones, ú otro polígono cualquiera.

Suponiendo que nos valemos del transportador, creemos que podrá calificarse de hábil y experto dibujante á aquel que haya transportado los ángulos apreciando esmeradamente hasta  $1'$ , y que no haya cometido otro error que  $3'$  en sólo uno de los ángulos.

Pues bien: una desviacion angular de tres minutos representa al cabo de 2 kilómetros una desviacion lateral en la línea de operaciones de  $1^m,74$  en escala natural, y de 1 milímetro próximamente en el plano dibujado á la escala  $\frac{1}{2.000}$ , longitudes ambas perfectamente apreciables en el terreno y en el plano.

Suponiendo que nos valemos de las coordenadas, creemos no exigir grandes habilidades á un delineante, pidiéndole que trace esmeradamente sobre el papel una cuadrícula tal cual ya la hemos descrito, y que valiéndose de una regla larga dividida en milímetros, marque distancias de 100 en 100 metros á la escala  $\frac{1}{2.000}$ , para tomar la longitud de las coordenadas. Usando dicha regla graduada de un metro de longitud se puede, sin levantarla del papel, ir marcando coordenadas hasta de 2.000 metros, que representan más de 2 kilómetros de polígono de operaciones, y no se necesita, por cierto, gran pericia para apreciar hasta medio milímetro en la regla graduada. Pues bien: semejan-

(1) Al emplear las palabras *exacto*, *riguroso*, etc., prescindimos de los motivos de error que pudieran nacer de otras causas, tales como defectuosa instalacion, ó centracion del instrumento, defectuosa lectura, etc.

té apreciación produce al cabo de estos 2 kilómetros una desviación lateral menor que la que nos ha resultado usando el transportador, y suponiendo que le usa un excepcional dibujante; y hay más todavía: este error, al cabo de los 2 kilómetros, es independiente de otros más crasos que hayan podido cometerse al dibujar el trayecto intermedio; porque quedan inevitablemente compensados.

Este cotejo, que de intento hemos exagerado, y que creemos inútil proseguir, pone de manifiesto la gran ventaja que ofrece el dibujar una línea de operaciones, y en general un polígono cualquiera, valiéndonos de las coordenadas de sus vértices, en vez de hacerlo por medio del transportador.

Si hacemos igual cotejo, suponiendo que los errores se han cometido al dibujar en el plano las longitudes de las alineaciones, vendremos á parar á idénticas consecuencias, porque veremos que cualquier defecto en la longitud de uno de los lados del polígono persiste é influye crecientemente á partir del punto en que se ha cometido, si el dibujo se hace con el transportador, en vez de quedar compensado, como queda, en el dibujo por coordenadas.

Todo consiste en que las coordenadas se cuentan desde el origen, valiéndose, para mayor facilidad, de la cuadrícula prévia de que hemos hablado, de modo que los errores quedan inexorablemente aislados y encerrados entre cada dos líneas contiguas de ella, y sólo seguirán influyendo desfavorablemente los defectos cometidos al dibujar la cuadrícula, que, como ya hemos visto, no pueden ser muy grandes.

Otra de las ventajas del sistema de coordenadas consiste en la facilidad que proporcionan para definir los puntos del terreno, y replantearlos si es necesario. Supongamos que se trata de levantar el plano de una gran finca, ó en general un plano catastral: despues de lo que ya hemos dicho, nada más fácil que escoger para uno de los ejes de coordenadas una línea perfectamente visible, fácil de hallar en todo tiempo, y nada más fácil que describir los linderos, caminos, etc., por medio de las coordenadas de varios de sus puntos, las cuales pueden ser inscritas en documentos públicos por mano del notario, y producir resultados legales más seguros que el vago sistema descriptivo hoy empleado. El replanteo de estos puntos tampoco ofrece grandes dificultades prácticas, puesto

que se reducen á medir en dos direcciones ortogonales.

108. Resumiendo ahora cuantas apreciaciones hemos presentado acerca del *tacheómetro* considerado como *goniómetro*, hemos tratado con ellas de demostrar:

1.º *Que el tacheómetro que hemos manejado reúne cuantas condiciones de bondad pueden exigirse á un teodolito que aprecie hasta 1' sexagesimal, y que modificada ligeramente la division de los limbos, sobre todo del vertical, puede obtenerse mayor apreciación.*

2.º *Que la exactitud nada puede reprochar al sistema de medir los ángulos horizontales, valiéndose de la orientación paralela del diámetro 0° — 200°.*

3.º *Que es preferible esta manera de medir los ángulos, porque facilita la aplicación de las coordenadas, cuyo empleo ofrece grandes garantías de exactitud en la representación gráfica.*

(Se continuará.)

## CARRETERAS DE LA PROVINCIA DE SANTANDER:

CARRETERA DE TERCER ÓRDEN

DE

SOLARES Á ONTON.

(Continuacion.)

Esta carretera se halla en buen estado de conservación, aunque el espesor del firme va disminuyendo rápidamente como en todas por falta de los necesarios recursos para la buena conservación: en general se encuentra el material para el firme en buenas condiciones y á distancia poco considerable de la línea, resultando por término medio el coste de la piedra machacada por acopio, transporte y machaca á 4,70 pesetas por metro cúbico. El tránsito no presenta por su entidad grandes diferencias en las diversas secciones de la carretera, y por consiguiente puede considerarse uniforme para toda la línea.

Por término medio, durante el último quinquenio se han invertido anualmente muy cerca de 30 metros cúbicos de piedra machacada por kilómetro de carretera, que cuestan 140 pese-