

Taquimetría práctica

HAY que reconocer que es muy laborioso el procedimiento de tomar, con el taquímetro, puntos en el terreno; en seguida calcular las distancias horizontales y cotas de los mismos, colocarlos en un plano, y, por último, interpolarlos para trazar las curvas de nivel. De modo que cualquier simplificación introducida no dejará de ser apreciable cuando el número de puntos con que deben de hacerse estas operaciones alcanza o pasa, por ejemplo, de treinta mil.

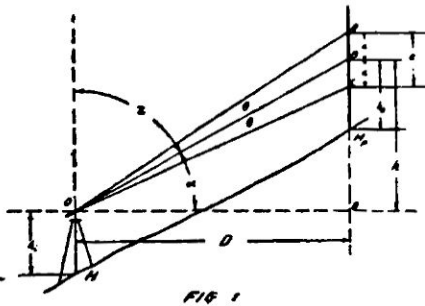
En el presente estudio, se analizará un método rápido de obtener lecturas en el terreno, se determinará su exactitud y se propondrá el uso de letras o signos convencionales que eliminan casi por completo el uso de los croquis del terreno, tan demorosos de hacer con prolijidad.

La exactitud de un plano debe de estar en relación con el fin que se persigue. Si es para proyectar un establecimiento minero, una oficina salitrera, etc., donde se han de construir edificios, muros e instalar maquinarias, etc., el plano debe de levantarse con todo esmero. Con un taquímetro bien ajustado, con miras tenidas verticalmente e inmóviles, evitando de tomar lecturas con fuertes ángulos verticales y grandes distancias, y cesando de trabajar los días de viento, se podrán obtener resultados

que aventajan, en exactitud, al antiguo sistema de perfiles transversales. En taquimetría, los puntos se toman allí donde cambia la pendiente del terreno y se tendrán los datos necesarios para representar gráficamente al terreno, con mayor aproximación que con perfiles transversales tomados con huincha y nivel; pues para obtener, con perfiles, resultados comparables, éstos tendrían que ir muy próximos unos de otros y en cuanto a rapidez puede estimarse que taquimétricamente se levantaría el mismo plano en un tercio del tiempo que con el método de perfiles.

Para un canal, que sigue el contorno del terreno, la faja que se levanta es muy reducida. En un estudio de ferrocarril cuya ruta sólo se conoce aproximadamente, la faja topográfica requerida es mucho mayor, posiblemente cien metros o más. Errores de 0.20 o 0.50 m. en distancia, y 0,05 o 0,10 m. en altura, no afectarán el trazado del canal o ferrocarril en el plano. En los planos generales de propiedades mineras y salitreras, hoyas hidrográficas, etc., con curvas de nivel de 10 en 10 o 20 en 20 m. y a las escalas de 1 a 5 000 o 1 a 10 000 y abarcando a veces superficies de 100 o más kilómetros cuadrados, la exactitud requerida es mucho menor. Errores de 1 o dos metros de distancia no son apreciables. Otras veces lo que se pide es poco más que un croquis.

Pero, en todo tiempo, el ingeniero debe de conocer el grado de exactitud con que trabaja y las precauciones necesarias para no exceder el error fijado. Como principio de taquimetría, conviene tener presente que, con pocos puntos bien distribuídos y tomados, puede obtenerse un plano más exacto que con muchos puntos mal colocados o distribuidos, y además recordar que la taquimetría pierde su exactitud cuando los ángulos verticales, medidos desde la horizontal y las distancias, son grandes. También que una de las fuentes principales de error es la falta de perpendicularidad e inmovilidad de las miras y que para levantamientos topográficos conviene emplear niveles esféricos de burbuja que se aplican a las miras.



La fórmula general para calcular la cota de un punto observado es:

$$H_p = H + h_i - h_a \pm h \quad (1)$$

donde H_p = Cota del punto

H = Cota de la estación

h_i = Altura instrumental en la estación

h_a = Altura axial en la mira

h = Altura vertical, o diferencia de nivel, positiva o negativa y que se determina.

En esta fórmula, es evidente que si se hace:

$$h_i = h_a \text{ la expresión queda reducida a: } H_p = H \pm h \quad (2)$$

Sucede a veces que, por algún obstáculo del terreno, no se puede hacer coincidir, en la mira, la visual del hilo medio o axial con la altura instrumental; en ese caso, se coloca el hilo medio a la altura instrumental, agregándole uno o dos metros, modificación muy fácil de corregir en el cálculo.

Cuando el anteojo tiene una lente analítica, si d es el número generador en centímetros, la distancia horizontal D en metros y la diferencia de altura h , se determinan por medio de las fórmulas:

$$D = d \operatorname{sen}^2 Z \quad (3)$$

$$h = d \frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 Z \quad (4)$$

donde Z es el ángulo cenital.

En los instrumentos centesimales se lee generalmente el ángulo cenital; las tablas taquimétricas, como las de Wronnecki, dan directamente los valores de D y h .

Para leer correctamente el número generador d , la visual del hilo medio debe de coincidir en la mira con la altura instrumental h_i ; e inmediatamente se procede a leer y anotar en la libreta la lectura de la visual de los hilos superior e inferior. En la oficina se calcula después la diferencia de estas dos últimas lecturas y se tiene el número generador verdadero.

Con el objeto de evitar esa doble lectura de números y de simplificar su cálculo, en muchos casos es costumbre de colocar la visual del hilo inferior a la altura de un metro en la mira y de leer directamente el número generador en centímetros, operación que resulta muy fácil. Por ejemplo, en terreno horizontal y a 100 metros de distancia, el hilo inferior estaría a los 100 centímetros y el superior a 200, y la diferencia de 100 centímetros que se calcula mentalmente es el número generador leído. Efectuada esta lectura, mediante los tornillos tangenciales del limbo cenital, se hace coincidir en la mira la visual

del hilo medio con la altura instrumental y se anota el ángulo cenital. Es el método más rápido de lectura que conozco, pero es evidente que se cometen errores cuya magnitud es indispensable investigar para justificar su aceptación y no se tiene conocimiento que se hayan determinado anteriormente.

Los errores que se cometen son dos:

1. Se supone que la visual del hilo medio divide el número generador en dos partes iguales.

2. Se lee el número generador con un ángulo vertical que no le corresponde.

Por lo general, en terreno horizontal, para una distancia de 100 metros, el número generador es de 100 centímetros. La visual del hilo medio divide el ángulo diastimométrico AOC en dos ángulos iguales AOB y BOC que llamaremos ϑ , Fig. 1, de manera que el valor de ϑ puede determinarse de la expresión:

$$\tan \vartheta = \frac{0.50}{100}$$

es decir; $\vartheta = 17'11.3''$ sexagesimales
 $= 0^\circ.31827$ centésimales

Por la construcción es evidente que el ángulo OAB es igual a $100 - (\alpha + \vartheta)$, y el ángulo OCB igual a $100 + (\alpha - \vartheta)$.

Sea ahora D_1 la distancia OB y d_I y d_{II} las diferencias de lectura A—B y B—C.

En los triángulos OAB y OBC, tenemos:

$$d_I = \frac{D_1 \operatorname{sen} \vartheta}{\operatorname{sen} 100 - (\alpha + \vartheta)} \quad (5)$$

$$d_{II} = \frac{D_1 \operatorname{sen} \vartheta}{\operatorname{sen} 100 + (\alpha - \vartheta)}$$

Sabemos que,

$$\operatorname{sen} 100 + (\alpha - \vartheta) = \cos (\alpha - \vartheta)$$

y además que la suma de los ángulos $100 + (\alpha - \vartheta) + (\alpha - \vartheta) = 100 - 2\vartheta$ es decir, que estos ángulos son casi complementarios, por ser 2ϑ de valor reducido. El ángulo α no pasa generalmente de 30° , de manera que, $\operatorname{sen} 100 - (\alpha + \vartheta)$ y $\cos (\alpha - \vartheta)$ son el seno y coseno de ángulos casi complementarios y precisamente donde sus valores cambian poco por pequeñas diferencias de ángulo, resultando que los valores de d_I y d_{II} serán casi iguales.

Por medio de las fórmulas (5) y (6), se han calculado los valores de d , y $d_{..}$: primero con una distancia $D_1 = 200$ metros, y ángulo cenital de 80° y en seguida con una distancia de 20 metros y ángulo cenital de 70° , con el siguiente resultado.

Distancia D_1 en metros	Angulo cenital Z	d	$d_{..}$	Diferencia centímetros
---------------------------	--------------------	-----	----------	------------------------

200	80°	105.32	104.97	0.35
20	70°	11.25	11.20	0.05

Una diferencia de 3.5 y 0.5 milímetros respectivamente. Por consiguiente al suponer que la visual del hilo medio divide el número generador en dos partes iguales, cometemos errores de ángulo vertical correspondiendo a alturas de 1.75 y 0.25 milímetros en distancias aproximadas de 200 y 20 metros, números que en la práctica no altera el valor de los ángulos cenitales.

Segundo error

No es posible calcular este error directamente; al colocar la visual del hilo inferior a un metro de altura y leer la del hilo superior para tener por diferencia el número generador, e inmediatamente después, colocar el hilo del medio a la altura instrumental para leer el ángulo cenital, nos falta, en primer término, el ángulo cenital para el número generador leído, y, en seguida, el número generador co-

rrespondiente al ángulo cenital observado. Podemos salvar esta dificultad suponiendo una distancia horizontal y el ángulo cenital, y calcular el número generador verdadero, y en seguida determinar por una o más aproximaciones el número generador y ángulo cenital que le corresponde, cuando la visual del hilo inferior coincide con la altura de un metro. Hallado el número generador leído y el ángulo cenital, es fácil determinar con las fórmulas usuales, los errores de distancia y de nivel para diversos casos y dibujar los gráficos, como se ha hecho en las Figs. (2) y (3).

Se han calculado los errores en la forma que sigue:

Primero se ha supuesto que:

$$\begin{aligned} D &= 200 \text{ metros horizontales} \\ Z &= 80^\circ \text{ centesimales} \\ h_i &= 1.50 \text{ metros} \end{aligned}$$

De la fórmula (3) se tiene:

$$d = \frac{D}{\text{sen}^2 Z}$$

de donde $d = 221.11$ centímetros
la mitad = 110.55 centímetros
Ahora $h = D \tan \alpha$
de donde $h = 64.984$ metros.

Para hallar la primera aproximación, tendremos que suponer que el verdadero número generador 221.11 es el que corresponde al ángulo, cuando el hilo inferior está a un metro. En esa posición la visual del hilo del medio estará a un metro, más la mitad, aproximadamente, del número generador, es decir a:

$$1 + 1.1055 = 2.1055 \text{ metros}$$

o sean 0.6055 metros más arriba que la altura instrumental.

En esas condiciones, podemos deter-

minar el primer ángulo de aproximación del valor

$$\tan \alpha = \frac{64.984 + 0.6055}{200}$$

$$\begin{aligned} \text{de donde } \alpha &= 20^\circ 17' \\ \text{o } Z &= 79^\circ 83' \end{aligned}$$

En seguida, por medio de las fórmulas (3), obtenemos el valor de:

$$d = 221.50$$

Esta es la primera aproximación del número generador que se habría leído al aplicar el método directo de lectura; como vemos, es mayor que el verdadero 221.11. Con el nuevo valor de d se repite el cálculo:

$$\text{mitad de } 221.50 = 110.75$$

y por consiguiente se deduce de

$$\tan \alpha_1 = \frac{64.984 + 0.6075}{200}$$

Es decir que podemos tomar:

$$\alpha_{11} = \alpha,$$

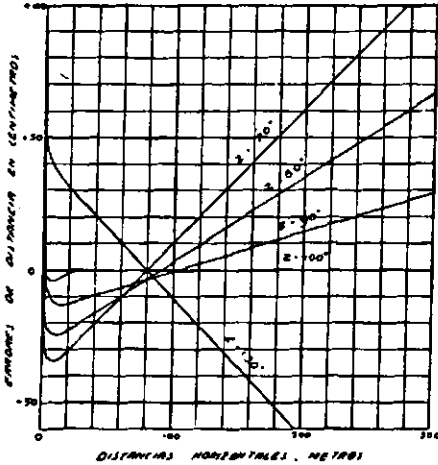
Sería inútil insistir en mayor aproximación, pues nuestro fin es sólo el de tener una idea de la magnitud del error. Además, en taquimetría, los ángulos cenitales se leen al minuto y es imposible pretender leer el número generador con fracciones de milímetros.

Con estos valores del número generador *verdadero* y *leído*, se han calculado los errores de distancia y de nivel:

Error de distancia horizontal	0.35 mts
Error de altura vertical.....	0.11 »

y procediendo de igual modo con diversos valores de D y Z, se han obtenido los datos necesarios para construir los gráficos de las figuras 2 y 3.

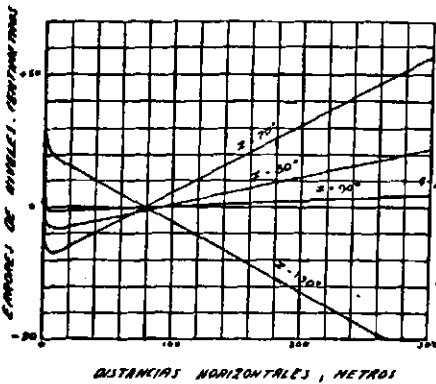
Fig 2
TAQUIMETRIA DIRECTA
ERRORES DE DISTANCIA



Nota. 2. ángulos cenitales en grados, centésimos.

Los errores de distancia y altura son apreciables para un plano que requiere

Fig 3
TAQUIMETRIA DIRECTA
ERRORES DE NIVELES



exactitud. En cambio, en otros, esas diferencias no tendrían importancia. Con-

viene recordar que, en muchos casos, sólo se lee el número generador al centímetro más próximo, y a distancias de 300 o 400 metros es difícil apreciar milímetros.

Del estudio de los gráficos, se deduce, en general, que los errores de distancia y de nivel son mayores cuanto más se alejan los ángulos cenitales del valor de 100°, y analizando cualquiera de las curvas, se nota que, para distancias de 0 a 50 y de 150 metros para arriba, los errores pasan de 1 a 500 para ángulos cenitales de 70°. Como el error proviene de la variación que experimenta el ángulo cenital, al conseguir reducir ésta variación, el método de lectura directa sería muy aplicable.

Con un poco de costumbre, es fácil apreciar directamente la diferencia de lecturas de las visuales de los hilos superior e inferior cuando las distancias son cortas. Para distancias de 50 a 150 metros con ángulos cenitales no menores de 80° y no mayores de 120°, los errores son relativamente pequeños. Cuando las distancias están comprendidas entre 150 y 300 metros, la visual del hilo inferior se puede hacer coincidir con 0.50 m. y para distancias mayores de 300 metros, con las miras de uso corriente, es casi siempre necesario leer la mitad del número generador, colocando la visual del hilo axial a un metro de altura y en seguida tomando la lectura del hilo superior y duplicando la diferencia. Con ésto se elimina casi por completo el error de variación del ángulo cenital, pero se introduce el error de suponer que el hilo axial divide en dos partes iguales al número generador. Por fortuna, como hemos visto, es relativamente pequeña la diferencia. Además para distancias de 400 a 800 metros, no se puede pretender mucha exactitud.

Convencido de la ventaja del método de lectura directa del número genera-

dor, restaría solamente encontrar una forma práctica de verificarla, con mayor exactitud, sin modificar el principio. Son raras las veces que se puede leer el 0 de la mira; el pasto, cualquier terrón de tierra intercepta la visual, de manera que no se puede contar con la ventaja que resultaría de colocar la visual del hilo inferior a 0 m. para distancias de 200 metros para arriba. La altura instrumental suele ser alrededor de 1.50 m. y los ángulos cenitales experimentarán poca variación si se coloca la visual del hilo inferior en un número redondo, de manera que la del hilo axial quede en la proximidad de la altura instrumental, lo que se consigue siguiendo las indicaciones del cuadro:

<u>Distancias en metros</u>	
10	Colocar el hilo inferior a 1.50 m.
20	» » » 1.40 »
40	» » » 1.30 »
50	» » » 1.20 »
50 a 150	» » » 1.00 »
150 a 300	» » » 0.50 »
300 a 800	Colocar el hilo axial a 1.00 »

Del estudio se deduce que existe decidida ventaja de levantar la mira un metro, mediante un listón o pie, y de hacer una marca bien visible a los 0.50 m. De este modo, en la mayoría de los casos, se podrá obtener directa y rápidamente, la lectura del número generador con un error que no excederá el límite fijado.

En lo que se refiere al cálculo de la libreta, la disposición siguiente es de las más prácticas.

ESTACIONES PUNTOS	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO CENTRAL	NÚMERO GENERADOR	LECTURA AXIAL	DESNIVELES	COTAS	DISTANCIAS HORIZONTALES	OBSERVACIONES
		$\Delta 107$	$\pi = 1.50$			1140.70		A 65 B1-D
$\Delta 106$	0.00	97.98	205.50	-	+ 6.51	1147.20	205.2	A 0.744 B1-D
$\Delta 108$	190.32	102.18	279.50	"	- 9.57	1131.10	279.2	A 0.944 B6-D
1	40.00	107.72	105	"	- 12.6	1128.1	103.5	r I
2	101.48	113.78	65	"	- 13.6	27.1	42	ny
3	154.20	110.00	89.50	"	- 14.9	24.3	87.1	r
4	167.56	108.65	105	2.53	- 14.	25.7	113.5	r
5	159.60	106.40	139	1.53	- 13.6	27.1	112.0	P6-T
6	107.43	108.08	90	"	- 12.9	27.8	96.3	"
7	109.75	110.00	75	"	- 12.2	28.50	71.9	P6r - P6g
8	98.42	103.06	134	2.53	- 7.5	32.20	113.3	g - P6g
9	80.30	109.70	78	1.53	- 11.7	29	76.2	P6r - P6g
10	40.02	105.13	114	"	- 9.5	31.2	113.2	P6r
11	49.32	98.90	116	"	+ 2.10	42.8	126	B6r
12	87.30	102.62	57.50	"	- 0.4	40.3	97.3	B6r - B6g
13	96.56	100.77	123	"	+ 2.2	42.9	103	B6g-D
14	99.72	101.00	122.50	"	- 3.0	37.7	102.4	g
15	102.50	101.80	124	"	+ 1.1	41.4	101.3	B6g I
16	117.32	101.02	87	"	- 1.4	35.3	87	B6r - B6g
17	153.23	101.57	106.50	"	- 3.6	37.1	104.9	B6r
18	122.87	100.19	100.	"	- 0.5	40.2	100	f.
19	86.12	101.58	126	"	+ 4.6	45.3	105.9	P1
20	77.00	102.16	115	"	+ 5.6	46.3	104.3	"
21	60.82	102.70	172.50	"	+ 7.3	48.	128.2	"
22	73.37	105.42	207.50	"	+ 17.6	50.9	206	I
23	64.15	108.09	313	"	+ 20.20	1160.9	311.1	"

Nota. Δ = SIGNO DE ESTACION - π = SIGNO DE INSTRUMENTO

Con anotar la cota de la estación al borde de un papel, y corriéndolo sucesivamente sobre los números de la columna de diferencias de nivel, se puede sumar o restar directamente, e ir anotando simultáneamente la cota del punto en su columna. Se puede, por ejemplo, principiar con los números de la columna de desniveles que van subrayados, si es

que en el cálculo no se ha compensado la diferencia de la altura axial y de la instrumental; altura que, en este caso, debe de restarse, de manera que los desniveles, para los puntos números 4 y 8, son en realidad, -15 y -8.50 metros respectivamente. A continuación se puede, por ejemplo, sumar, con el número anotado en el borde del papel, todos los

que lleven el signo positivo y por último restar los de signo negativo.

En la columna de observaciones del modelo de libreta taquimétrica, se notará una cantidad de letras, mediante las cuales se va describiendo cada punto, de tal manera, que, con su uso, se prescinde en absoluto de los croquis del terreno, salvo en los casos en que hay que tomar detalles como edificios, puentes, alambrados con muchas esquinas o cruzamientos, etc.; también, cuando con muy pocos puntos, por ejemplo 30, se quiere abarcar una zona muy extensa, quebradas, cerros etc.; es decir, cuando es un poco más que un simple croquis.

Varios ingenieros han usado este método con éxito; hubo un caso en que se exigía hasta la clasificación del terreno de cada punto, roca, toscas, grea, etc., la que se hizo mediante letras o signos y siempre con el mismo buen resultado por la rapidez que, con un poco de práctica, se adquiere en anotar en el terreno y de interpretar en la oficina los pocos signos que en realidad se necesitan.

En taquimetría, debe de tomarse principalmente aquellos puntos donde el terreno cambia de pendiente, tales como el pie de un faldeo, borde de un barranco, etc., puesto que en la interpolación se supone que el terreno, entre dos puntos inmediatos, es de gradiente

uniforme. Las letras o signos usados son convencionales y los siguientes son suficientes para casi todo trabajo de taquimetría, con la ventaja de ser muy fáciles de recordar.

D derecho	r río
I izquierdo	L lago
P pie	C canal
B borde	q quebrada
π principio	z zanjón
F fin	f faldeo
E esquina	l loma
S suave	b barranco
O centro	c camino
p puntilla	R riscos
K cumbre	\perp plano
v vega	a alambrado
m muro	etc.

Así por ejemplo, se lee:

fS = faldeo suave

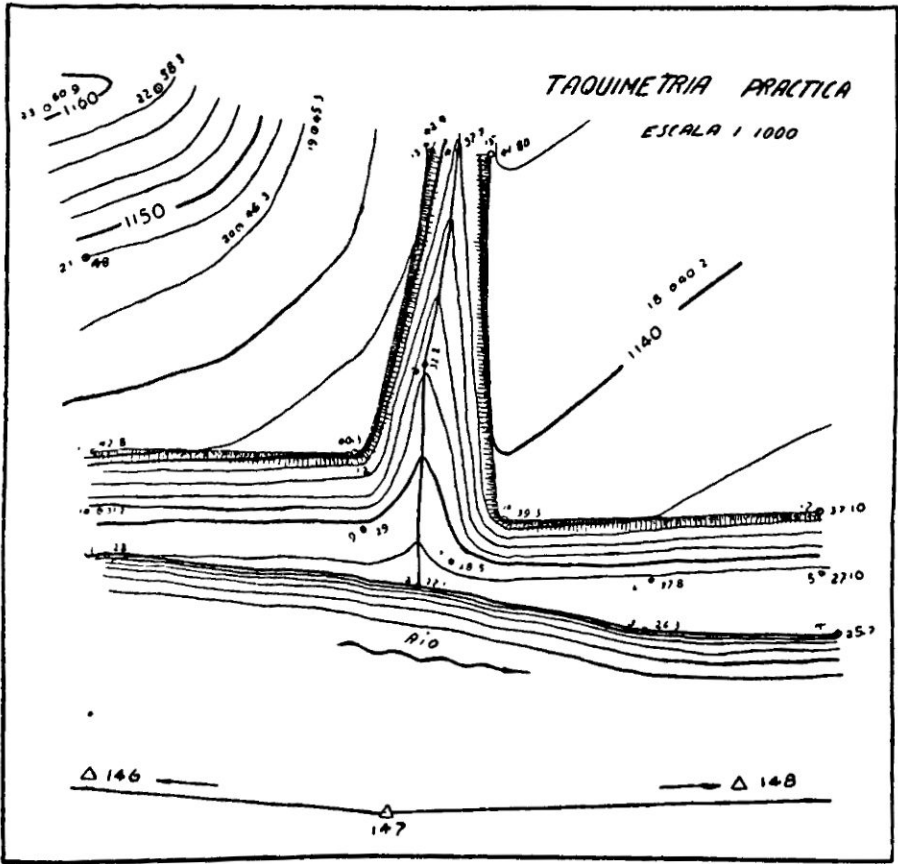
Oc = centro del camino

BbqI = borde barranco quebrada izquierda

PbrD = pie del barranco del río derecha

cIBbrz = camino lado izquierdo y borde del barranco del río.

Para ilustrar el método, el plano topográfico se ha dibujado con los 23 puntos de la libreta modelo. Para dibujar el plano y facilitar la interpolación conviene ir uniendo los puntos semejantes, como bordes de barrancos, caminos, canales etc.



En cuanto al tiempo necesario para levantar un plano topográfico y su costo, podemos exponer lo siguiente. Al trabajar con sistema, a los pocos días, el personal llega a ejecutar su trabajo casi mecánicamente.

El levantamiento de un plano de gran extensión se hizo con varios ingenieros, cada uno con su ayudante o libretero, un cabo de alarifes con bandera para las señales y tres o cuatro alarifes de profesión. Las estaciones principales estaban fijadas por triangulación y niveladas, y el trabajo, fuera de tomar puntos taquimétricamente, se reducía a establecer algunas estaciones auxiliares. Diariamente se comparaba el número de puntos levantados; como término medio, ascendían a 400, a veces llegaban a 500; sin embargo puede considerarse 400 puntos como un buen día de trabajo.

Un ingeniero solo con dos o tres alarifes podrá levantar alrededor de 150 puntos diarios; 200 sería un muy buen día de trabajo. Conozco casos en que no han llegado a 100.

Con una buena tabla o regla de cálculo taquimétrica, se calculan de 50 a 60 puntos por hora. Entre dos, se colocan en el plano alrededor de 60 puntos por hora. La interpolación es más larga.

En cuanto a precio, el costo por punto taquimétrico, en plano completo, puede estimarse en \$ 1.00 m/cte. Esto incluye la triangulación y nivelación de las estaciones principales, gastos de campamento y transportes, etc. Es sensiblemente menor si el plano es grande y se cuenta con un personal competente y bien organizado; suele ser más para planos pequeños.