

EVALUACIÓN DE ESTACIONES TOTALES SEGÚN NORMA ISO 17.123-5.

Vázquez, Gonzalo-Paús, Pablo- Romano, José -Aldasoro, Roberto – Bergamini, Javier

Facultad de Ingeniería - UNLP, Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires - Argentina -, Tel.: 0221-425-8911 (int.254), gonzalo.vazquez@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo consiste en analizar, investigar e implementar los procedimientos de campo especificados en la norma internacional ISO 17.123-5 con el fin de determinar y evaluar la precisión de estaciones totales y su equipo auxiliar cuando se utilizan para realizar mediciones topográficas.

El trabajo se realizó en el marco de una beca otorgada por la Facultad de Ingeniería, solicitada por el Grupo de Metrología del Dpto. de Agrimensura, las actividades, en su mayoría, se realizaron en el Gabinete de Instrumental Topogeodésico “Prof. Ing. Gabriel Jesús Gómez”, donde funciona el Grupo. Las mediciones experimentales con equipos de estación total tuvieron lugar dentro del campus de la Facultad de Ingeniería y en el bosque de la ciudad de La Plata.

La norma ISO 17.123 consta de diferentes partes, bajo el título general “*Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments*”. La parte 5 trata sobre las estaciones totales utilizadas como taquímetro digital.

La estación total es un equipo que combina dos instrumentos topogeodésicos elementales: un teodolito (medición de ángulos) y un dispositivo MED (medición electroóptica de distancias). El equipo consta de un sistema embebido que puede realizar diversos cálculos a partir de las mediciones de ángulos y distancias, como por ejemplo las coordenadas de los puntos observados.

Aunque la calidad de la medida del instrumento depende de diversos factores como la incertidumbre del compensador, la resolución angular del teodolito y lineal del distanciómetro, los aumentos del anteojo, etc., la Norma ISO 17.123-5 no pretende estudiar cada uno de estos factores, sino conocer el efecto final producido por todos ellos. Se trata de una forma muy práctica de evaluar la incertidumbre del equipo topográfico utilizado, del tipo “caja negra”.

La norma ISO 17.123-5 permite determinar la precisión esperada para las coordenadas en un determinado equipo a partir del cálculo de la desviación típica de una muestra (mediciones) obtenidas con ese equipo, siguiendo procedimientos específicos. Las coordenadas se consideran observables porque en estos equipos electrónicos son seleccionables como magnitudes de salida.

Como en otros proyectos, el grupo trabajó conjuntamente con el Laboratorio de Óptica Calibraciones y Ensayos de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP (LOCE). El documento original de la norma ISO 17.123-5 edición 2018 fue facilitado por el LOCE.

Reseña sobre equipos de Estaciones Totales.

Una Estación Total (fig.1) es el instrumento que resulta de la integración en un solo equipo del sistema electrónico de medida de ángulos (Teodolito digital) y el sistema electroóptico para la medida de distancias (M.E.D.), con un microprocesador para el cálculo automático de datos topográficos: distancias reducidas o inclinadas, con o sin correcciones, azimut, desniveles, trabajo en coordenadas polares o cartesianas. Las características funcionales del microprocesador son: exploración electrónica del limbo y presentación digital de los resultados; corrección automática de las lecturas iniciales del limbo, considerando la influencia de los errores sistemáticos que las afecten; compensación de la distancia en

función de la temperatura y presión; adición de constante de prisma, etc. (Chueca Pazos - 1996).

Para medir distancias una estación total requiere de un accesorio adicional, este es un prisma reflector que recibe la señal electromagnética emitida por el instrumento y la refleja. Del procesamiento de la señal recibida surge la medida de la distancia entre el instrumento y el prisma.



Figura 1: Estación total (izquierda) y prisma reflector (derecha).

Cuando se ubica un instrumento de estación sobre un punto del terreno (estacionar el instrumento), se tiene la posibilidad de configurar un sistema de referencia para la medición por coordenadas esféricas o rectangulares. Se inicia el proceso, ingresando a la computadora del equipo las coordenadas deseadas para la ubicación actual o punto de estación (por ejemplo: $X=0$, $Y=0$, $Z=0$) y se elige una dirección sobre el horizonte a la que se le asigna el valor angular 0° , estableciéndose en estos dos pasos un origen y la dirección positiva del eje de las ordenadas (Eje $+X$ en Topografía). La estación total mide ángulos horizontales y verticales, así como distancias inclinadas, determinado de este modo las coordenadas esféricas ($\rho\theta\varphi$) de los puntos observados en el sistema de referencia asignado. El procesador del equipo realiza la conversión de coordenadas esféricas ($\rho\theta\varphi$) a rectangulares (X,Y,Z).

Norma Internacional ISO 17.123-5

La norma ISO 17.123, bajo el título general "*Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments*" en sus diferentes partes establece procedimientos para los ensayos técnicos de instrumental topogeodésico. La parte 5, específicamente, trata sobre la verificación de Estaciones totales utilizada como taquímetro, es decir, cuando el observable son las coordenadas X,Y,Z calculadas por el instrumento.

Esta parte de la norma ISO 17.123 describe dos procedimientos de campo diferentes, uno simple y otro completo. El operador elegirá el que sea más relevante para los requisitos particulares de sus labores. Para el desarrollo del trabajo se utilizó el procedimiento completo, inicialmente el de la edición 2005 de esta norma y posteriormente se realizó la misma operación con el de la 2018. Aquí se exponen el desarrollo y los resultados obtenidos utilizando la versión 2018 de la Norma.

En este trabajo las acepciones para los términos "verificación", "calibración" e "incertidumbre" son las de uso corriente en el vocabulario metrológico (VIM - 2012).

PARTE EXPERIMENTAL

Configuración del campo de ensayo y medición.

Se establecen tres puntos fijos u objetivos T_1 , T_2 , T_3 , materializados con prismas reflectores, y se colocan en la esquina del triángulo (fig. 2) fijándose mediante trípodes y bases nivelantes. Las distancias entre los objetivos se eligen de modo que sean diferentes y al menos una distancia debe ser mayor que la distancia media (en nuestro caso 44.98 m).

Los tres puntos de medición (S_1 , S_2 , S_3) se fijaron a cada lado de los puntos que conforman el triángulo, aproximadamente de 5a 10 m de distancia desde cada prisma objetivo.

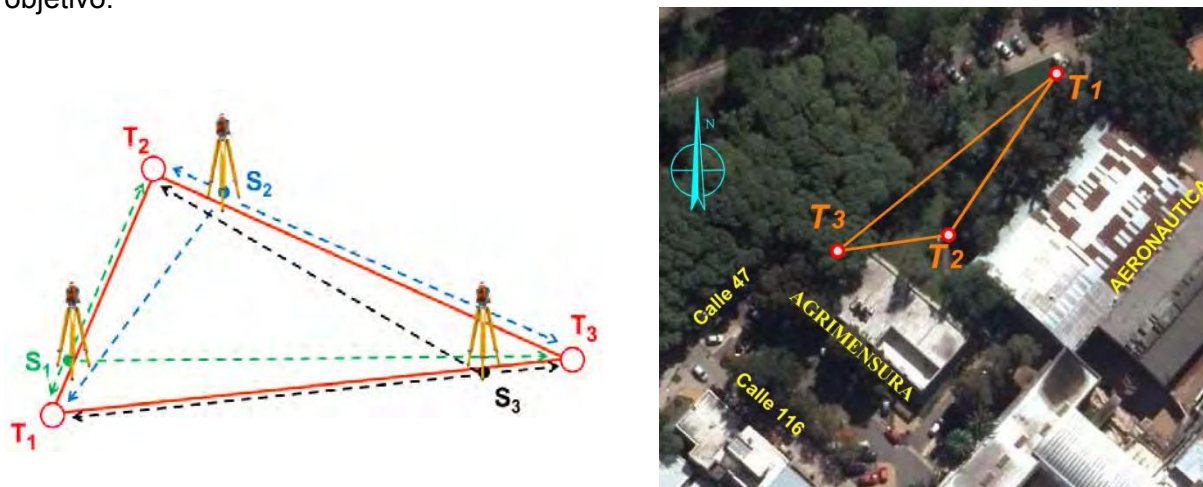


Figura 2: Esquema de configuración de campo para la prueba completa (izquierda). Disposición de puntos fijos correspondiente al ensayo realizado en FI-UNLP (derecha).

De acuerdo a la norma, una sesión de medición consiste en medir desde una estación los tres prismas en una de las caras del anteojo (posiciones I o II). El procedimiento de campo consiste en medir desde cada una de las estaciones S_1 , S_2 , S_3 , las coordenadas X,Y,Z de los tres puntos objetivos T_1 , T_2 , T_3 , en cuatro sesiones de observación (posición: I - II - I - II). Al finalizar el trabajo se midieron 12 sesiones.

Las observaciones efectuadas desde cada estación S_1 , S_2 , S_3 , corresponden a sistemas de referencia arbitrarios y diferentes entre sí. Las coordenadas asignadas a cada estación y la correspondiente orientación se establecen de forma arbitraria en cada configuración inicial del equipo. El sistema de referencia configurado en cada estación se mantiene durante sus 4 sesiones de medición. Al finalizar el ensayo, cada punto T_1 , T_2 , T_3 fue medido 12 veces.

Para realizar el ensayo se utilizó una estación total de la marca Sokkia, modelo Set 510k y N° de serie 204348 del Dpto. de Agrimensura.

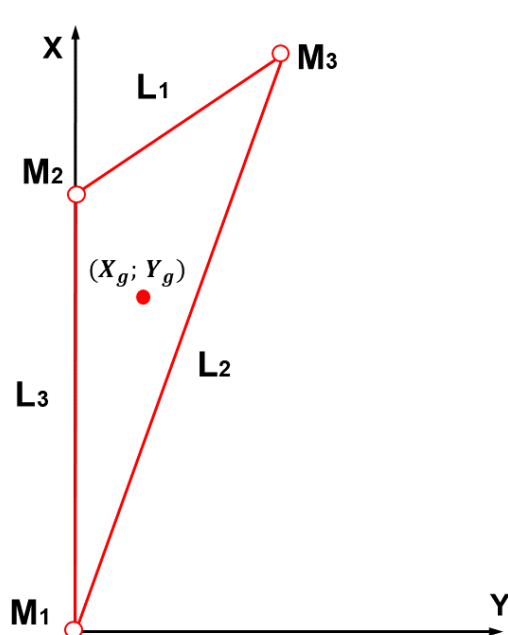
En el fragmento de planilla dado a continuación pueden apreciarse las sesiones mediciones $k=1$, $k=2$, $k=3$ y $k=4$ realizadas desde la estación S_1 ($i=1$) a los tres puntos fijos ($j=1$, $j=2$, $j=3$).

Estación (i)	Objetivo (j)	Sesión (k)	Posición Anteojo	Coordenadas		
				x	y	z
1	1	1	I	6.2002	7.6956	-0.3071
	2			-37.4767	-5.4081	1.0795
	3			-45.2430	-29.8647	-0.0552
	1	2	II	6.2010	7.6958	-0.3073
	2			-37.4757	-5.4063	1.0788
	3			-45.2447	-29.8621	-0.0552
	1	3	I	6.2007	7.6961	-0.3071
	2			-37.4769	-5.4072	1.0792
	3			-45.2443	-29.8627	-0.0541
	1	4	II	6.2009	7.6959	-0.3073
	2			-37.4762	-5.4052	1.0782
	3			-45.2447	-29.8621	-0.0549

Procedimientos de cálculo.

Coordenadas X e Y

Para cada triángulo medido, partiendo de las coordenadas x e y , se calculan las longitudes de sus tres lados, obteniéndose 12 valores para cada uno. A partir de las 12 mediciones de cada lado se calcula un valor promedio para cada uno. Con los tres lados obtenidos mediante promedios se construye un nuevo triángulo denominado modelo matemático y se lo ubica en un sistema de referencia arbitrario:



L_1, L_2, L_3 : lados del modelo matemático.

M_1, M_2, M_3 : vértices del modelo matemático.

$$L_1 = 25,6597 \text{ m}$$

$$L_2 = 63,6957 \text{ m}$$

$$L_3 = 45,6004 \text{ m}$$

$$M_1 = (X_1; Y_1) = (0,0000 \text{ m}; 0,0000 \text{ m})$$

$$M_2 = (X_2; Y_2) = (45,6004 \text{ m}; 0,0000 \text{ m})$$

$$M_3 = (X_3; Y_3) = (60,0667 \text{ m}; 21,1930 \text{ m})$$

$$(X_g; Y_g) = (35,2223 \text{ m}; 7,0643 \text{ m})$$

Figura 3: Modelo matemático del triángulo

Posteriormente se realiza el cálculo de las coordenadas del centro de gravedad del modelo matemático $X_g; Y_g$ y de los triángulos medidos $X_{g,i}; Y_{g,i}$.

Las coordenadas del centro de gravedad del modelo matemático se calculan como el promedio de la sumatoria de las coordenadas X e Y de los vértices M_1, M_2, M_3 . Los centros de gravedad de los triángulos medidos $X_{g,i}; Y_{g,i}$ se calculan como el promedio de la sumatoria de las coordenadas $X_{i,j,k}; Y_{i,j,k}$ de los vértices T_1, T_2, T_3 .

El siguiente paso consiste en trasladar réplicas del modelo matemático desde su centro de gravedad hasta que coincida con el centro de gravedad de cada triángulo medido. Las coordenadas del centro de gravedad del modelo matemático luego de la traslación se identifican de la siguiente manera $X_{t,i,j,k}; Y_{t,i,j,k}$. Realizada la traslación se rota el modelo matemático alrededor del centro de gravedad un ángulo $\theta_{i,k}$. Las coordenadas de los vértices del modelo matemático después de la rotación se identifican de la siguiente manera: $X_{m,i,j,k}; Y_{m,i,j,k}$.

Estas roto-traslaciones se realizaron mediante la aplicación de un ajuste por mínimos cuadrados de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma, de este modo, serán mínimos los residuos obtenidos al comparar cada triángulo medido con el modelo matemático.

Los residuos $r_{x,i,j,k}; r_{y,i,j,k}$ constituyen las diferencias entre las coordenadas de los triángulos medidos y las del modelo matemático roto-trasladado, y se calculan como:

$$r_{x,i,j,k} = X_{i,j,k} - X_{m,i,j,k} \quad i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1,2,3,4$$

$$r_{y,i,j,k} = Y_{i,j,k} - Y_{m,i,j,k} \quad i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1,2,3,4$$

La suma de los cuadrados de los residuos se obtiene mediante:

$$\sum r^2_{xy} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 [(r^2_{x,i,j,k}] + r^2_{y,i,j,k}) = 0,0000184 \text{ m}$$

Puesto que hay 3 lados del modelo matemático, 6 coordenadas para los tres centros de gravedad de los triángulos medidos, [2 (vectores) x 3 (estaciones de instrumentos)] y 12 parámetros de rotación, [4 (sesiones) x 3 (estaciones de instrumento)], el número de parámetros desconocidos $v = 3 + 6 + 12 = 21$. Así, el número de grados de libertad es:

$$v_{xy} = 72 - 21 = 51$$

Cálculo de la desviación típica:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{\sum r^2_{xy}}{51}} = \pm 0,0006 \text{ m}$$

Por último, la desviación típica de las coordenadas X e Y es: $u_{ISO-TS-XY} = s_{XY} = 0.0006 \text{ m}$

Esa desviación típica calculada, de acuerdo a los estándares metrologógicos, constituye un valor de incertidumbre del tipo A.

Coordenadas z

Las diferencias de alturas $T_1 - T_2$ y $T_1 - T_3$ se calculan utilizando valores $Z_{i,j,k}$ medidos para cada sesión y cada estación:

$$d_{z,i,j,k} = Z_{i,j,k} - Z_{i,1,k} \quad i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1,2,3,4$$

Luego se realizan las sumatorias:

$$\sum d_{z,i,2,k} = 16,628 \text{ m} ; \sum d_{z,i,3,k} = 3,029 \text{ m}$$

Y se obtienen los valores medios de las diferencias $d_{z,i,2,k}$ y $d_{z,i,3,k}$

$$a_{z,j} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 d_{z,i,j,k} \quad j = 2,3 \quad a_{z,2} = 1,3857 \text{ m} ; a_{z,3} = 0,2524 \text{ m}$$

Los residuos $r_{z,i,j,k}$ de las diferencias de altura $d_{z,i,2,k}$ y $d_{z,i,3,k}$ obtenidos de los valores medios para cada conjunto de mediciones se calculan como:

$$r_{z,i,j,k} = d_{z,i,j,k} - a_{z,j} \quad i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1,2,3,4$$

La suma de los cuadrados de los residuos se obtiene mediante:

$$\sum r^2_z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=2}^3 \sum_{k=1}^4 r^2_{z,i,j,k} = 0,0000075 \text{ m}$$

El número de grados de libertad es: $v_z = 24 - 2 = 22$

Cálculo de la desviación típica de la diferencia de altura o la desviación estándar de la coordenada z:

$$s_{dz} = \sqrt{\frac{\sum r^2_z}{22}} ; S_z = \sqrt{\frac{\sum r^2_z}{22 \times 2}} = \sqrt{\frac{\sum r^2_z}{44}} = \pm 0,000041 \text{ m}$$

Finalmente, la desviación típica de la coordenada Z: $u_{ISO-TS-Z} = S_z = 0,00041 \text{ m}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la interpretación de los resultados, se llevó a cabo un test estadístico utilizando la desviación típica de una coordenada medida en el triángulo de prueba con el fin de responder a la siguiente pregunta:

¿Es la desviación típica experimental calculada s , menor que, o igual a un valor correspondiente σ declarado por el fabricante o menor que otro valor predeterminado?

Para lo cual se calcula:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(u_{XY})}{u_{XY}}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(51)}{51}} = 0,005 \cdot \sqrt{\frac{68,67}{51}} = 0,0058 \text{ m}$$

Se verifica la desigualdad, entonces no hay evidencia en contra de la hipótesis nula.

La Incertidumbre combinada se calcula a partir de la del tipo A obtenida más las de tipo B conocidas (Sokkia, 2006):

$$u_{xy} = \sqrt{u_{ISO-TS-XY}^2 + (U_N^2 + U_E^2) + u_{disp}^2} = 2,7 \text{ mm}$$

$$u_z = \sqrt{u_{ISO-TS-Z}^2 + U_H^2 + u_{disp}^2} = 1,6 \text{ mm}$$

Finalmente se obtiene la incertidumbre expandida, con el factor de cobertura $k=2$:

$$U_{xy} = 2 \cdot u_{xy} = 5,4 \text{ mm}$$

$$U_z = 2 \cdot u_z = 3,2 \text{ mm}$$

CONCLUSIONES

Los resultados de la aplicación de la norma en equipos del Departamento de Agrimensura, resultaron favorables dado que se obtuvieron valores esperados, en concordancia con las especificaciones del fabricante. Se pudo verificar el instrumental y constatar que el mismo se encuentra en óptimas condiciones.

El tema abordado en este trabajo no había sido objeto de anteriores investigaciones, por lo que la información generada en el mismo resulta muy valiosa, dado que a partir del mismo se contará con antecedentes teóricos y experiencias prácticas en torno a la temática.

A partir de los resultados obtenidos será posible brindar un servicio de verificación de instrumentos topogeodésicos a profesionales usuarios de los mismos y a equipos de la Facultad de Ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

- ISO 17.123, Part 5 : Electro-optical distance meters (EDM instruments), 2018.
- ISO 17.123, Part 5 : Electro-optical distance meters (EDM instruments), 2005.
- M Chueca Pazos – Tratado de Topografía 1: “Teoría de errores e Instrumentación”, 1996.
- Ghilani, C. and P. Wolf. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, 2006.
- VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) 3ra edición, 2012.
- Sokkia, Serie10K, Manual del operador 2da edición, 2006.