

VERIFICACIÓN DEL DISTANCIÓMETRO DE UNA ESTACIÓN TOTAL

VERIFICATION OF A DISTANCE METER OF A TOTAL STATION

Guillermo Giachello¹, Santiago Louge², Pablo Paus², María C. Cordero^{1,3},
Roberto Aldasoro^{1,2,3}, Jaime Soto^{2,4}

¹ UNITEC, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 48 y 116, (1900) La Plata, corderomc@gmail.com

² UIDGPSyM, Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata

³ INIFTA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, La Plata

⁴ ESNM, Instituto Universitario Naval, Armada Argentina – Rio Santiago, Ensenada

RESUMEN: Una estación total es un instrumento electro-óptico, utilizado en topografía, que consiste en la incorporación de un distanciómetro y un teodolito electrónico.

El objetivo del presente trabajo ha sido la implementación y análisis de un procedimiento de campo para la verificación de un distanciómetro de una estación total, cuyo principio de medición de distancias es el método de diferencia de fase. Para la ejecución del trabajo, y por cuestiones prácticas, se utilizaron dos equipos de distintas generaciones (TOPCON ET1 y SOKKIA 10K). Para la verificación se utilizó el procedimiento simplificado de la Norma ISO 17123-4:2001 (Óptica e instrumentos ópticos-Procedimientos de campo para pruebas de instrumentos topográficos y geodésicos – Parte 4: Distanciómetros electroópticos).

Si bien el procedimiento implementado en el presente trabajo se basa en un número limitado de medidas y, por lo tanto, no se ha logrado obtener una desviación estándar significativa, se trata de un método de campo relativamente simple de implementar que permite realizar una verificación rápida de la precisión de un instrumento electroóptico.

Palabras Clave: Estación total, distanciómetro electroóptico, fase, errores, verificación.

ABSTRACT: A total station is an electro-optical instrument, used in topography that consists on the incorporation of an electronic distance meter and an electronic theodolite.

The objective of the present work has been the implementation and analysis of a field procedure for the verification of the distance meter of a total station, whose principle of measurement of distances is the phase difference method. To accomplish this work, and for practical questions, two equipment of different generations were used (TOPCON ET1 and SOKKIA 10K). For the verification, a simplified procedure of the ISO standard 17123-4:2001 was used (Optics and optical instruments -- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments))

Although the procedure implemented in this work is based on a limited number of measures and, therefore, it has not been possible to obtain a significant standard deviation, it is a field method relatively simple that allows carrying out a quick verification of the precision of an electro-optical instrument.

Key Words: Total Station, electro optical distance meter; phase; errors; verification.

1. INTRODUCCIÓN

Un distanciómetro es un instrumento electrónico que permite medir distancias entre dos puntos especificados, en forma directa.

Para medir la distancia que existe entre los puntos x e y, se debe ubicar el equipo en uno cualquiera de ellos, y en el otro se debe colocar un objeto que le indique al distanciómetro que se trata del extremo opuesto para medir la distancia deseada (el objeto, generalmente, es un espejo especial (prisma)). Luego, se debe “enfocar” el equipo a través de una mira (o medio de enfoque similar) dirigida hacia el objeto ya mencionado, (Figura 1). Finalmente, se da inicio a la medición, obteniéndose la indicación correspondiente a la distancia incógnita, en la pantalla del instrumento al cabo de unos momentos.

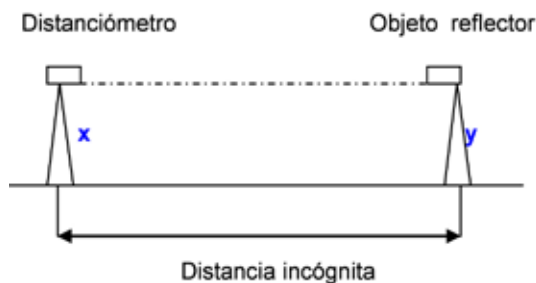


Figura 1. Esquema de la disposición en campo del distanciómetro y objeto reflector para la medida de la distancia

Dentro de los tipos de distanciómetros están los electro-ópticos que corresponde a aquellos que emiten ondas de luz al medio, las cuales se propagan a la velocidad de la luz. Los distanciómetros electro-ópticos (infrarrojos y láser) son los que se utilizan en la actualidad, disponiendo en el mercado gran variedad de alcances.

Mediante una simple deducción matemática, vinculando la diferencia de fase entre la señal emitida y recibida por el distanciómetro y el tiempo de tránsito de la onda en recorrer la distancia a medir, se obtiene la expresión de la distancia en función de la medida de la diferencia de fase.

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \Delta\varphi$$

Donde, n : es un número entero, λ : longitud onda, $\Delta\varphi$: diferencia de fase.

Para hallar la distancia hay que conocer el valor de “n”, que se

obtiene realizando otra medida con el distanciómetro, empleando una onda con una longitud de onda ligeramente inferior [1].

Las fuentes de Errores en Mediciones Electromagnéticas de Distancias (MED), utilizando el método de diferencia de fase, se clasifican en Errores Sistemáticos y Errores Aleatorios y dentro de estos se pueden encontrar las siguientes subdivisiones:[2]

Errores Sistemáticos:

a) Error en la constante del instrumento y del reflector

En muchos instrumentos MED la señal viaja internamente sobre alguna distancia durante la transmisión y el regreso. El punto a partir del cual la señal se puede considerar transmitida, el centro electrónico, puede diferir del centro geométrico referido al lugar donde se localiza el instrumento sobre la estación. Esto da lugar a una constante, que debe aplicarse a todas las distancias medidas con ese instrumento. Pero, además, debe tenerse en cuenta que puede haber discrepancia entre los centros ópticos y geométricos de los reflectores.

b) Error en la diferencia de fase

La diferencia de fase involucra tres fuentes de error:

b-1) Por la determinación de la misma:

La diferencia de fase es determinada de manera matemática en el aparato, por lo tanto, las fuentes de error están dadas por la digitalización de las señales (la cantidad de bits usados) y consecuentemente se tendrá una cota del error que será constante, sin importar la medición de la distancia.

b-2) Por el error cíclico:

El error cíclico es generado por el efecto multicamino, y el mismo es producido por las múltiples refracciones y difracciones dadas antes de llegar al receptor. El error cíclico es periódico, ya que la diferencia de fase variará entre 0 y 360°, luego se repetirá, y tendrá una forma aproximadamente senoidal, por lo tanto, se tendrá una cota de error.

b-3) Por fenómenos de interferencia:

Presentes en los mecanismos ópticos/electrónicos, se considera despreciable respecto al error cíclico.

c) Error de Escala

Es un error proporcional a la longitud de la línea medida y su causa se debe a factores internos y externos, tales como:

c-1) La deriva de la frecuencia del oscilador del cristal en el instrumento. Un distanciómetro se diseña para una frecuencia de medición, esta frecuencia está determinada por un oscila-

dor y cualquier variación de la misma afectará a la distancia resultante.

c-2) Falta de homogeneidad entre el patrón de emisión y el de recepción.

c-3) Variaciones en las condiciones atmosféricas que afectan la velocidad de propagación. Por causa de factores externos, tales como cambios en las condiciones atmosféricas y la temperatura, se producen cambios en la velocidad de la señal electromagnética. Al variar la velocidad de propagación se modificará la longitud y frecuencia de la onda.

c-4) Errores en la medición de la temperatura, presión y humedad.

Errores Aleatorios:

a) Error instrumental

Es el cometido por la limitación en la precisión del instrumento. Lo brinda el fabricante y se expresa en dos partes: un valor fijo que es la precisión en la medida de la diferencia de fase, y una cantidad relativa (función de la distancia medida) que es dependiente del error de escala y se da en partes por millón (ppm). Un ejemplo de error instrumental sería $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D \text{ mm})$.

b) Error en el estacionamiento

Se produce al no estar la estación situada exactamente sobre el punto de estación.

c) Error en la señal

Se produce cuando el jalón del prisma no se encuentra exactamente sobre el otro extremo de la distancia a medir.

d) Error por inclinación del jalón

La limitación en la precisión (sensibilidad) del nivel esférico que va acoplado al jalón provoca una cierta inclinación del jalón en el momento de la medición que no se puede controlar.

El error instrumental que constituye la principal fuente de los errores aleatorios del distanciómetro a verificar, conforma la precisión del mismo, siendo este valor el explicitado en las especificaciones técnicas de dichos equipos.

El objetivo fundamental de esta experiencia es implementar y analizar un método de campo, simple y rápido, para la verificación de la precisión de un distanciómetro electroóptico bajo una normativa estándar.

2. METODOLOGÍA

La experiencia se desarrolló siguiendo el procedimiento de ensayo simplificado de la Norma ISO 17123-4 [3, 4].

Este procedimiento de ensayo se basa en tener un campo de prueba con distancias que son aceptadas como verdaderos valores.

El campo de prueba estará compuesto por una estación de instrumento permanente y cuatro reflectores permanentemente montados en las distancias típicas de la zona de trabajo habitual del instrumento de EDM (por ejemplo, desde 20 m hasta 200 m). Si el montaje permanente de los reflectores no es posible, entonces los puntos de tierra de las estaciones de reflector deben ser indelebles.

Para establecer el campo de prueba, cada una de las distancias se medirá al menos tres veces y se deberá calcular el valor medio. Estos valores medios serán corregidos para las desviaciones de la temperatura y la presión de aire de STP (Standard de temperatura y presión). Por esta razón es que deberán ser medidas la temperatura y la presión del aire, con el fin de determinar las correcciones necesarias de los valores de las cuatro distancias medias. Los valores medios se corregirán en 1 ppm para cualquier desviación en la temperatura de 1°C , y/o cualquier desviación de 3 hPa (3 mbar) en la presión del aire.

Los valores medidos corregidos de las cuatro distancias serán considerados verdaderos:

Asimismo se busca corroborar el estado del instrumento a los efectos de determinar la necesidad de realizar algún ajuste del mismo o directamente su reparación y calibración para eliminar los errores sistemáticos que puedan estar afectando las medidas de distancias realizadas con el equipo.

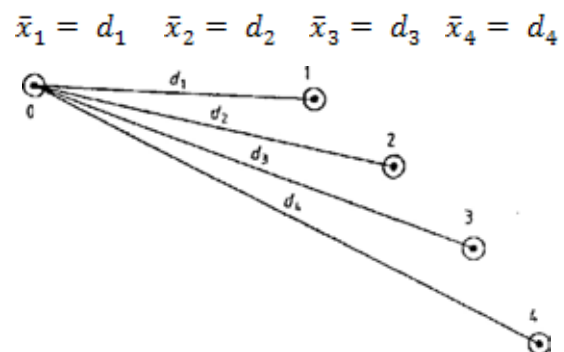


Figura 2. Disposición en campo del distanciómetro y las distintas posiciones del prisma según la implementación de la Norma ISO 17123-4.

Para la aplicación de la norma ISO 17123-4, se utilizó como instrumento de referencia (patrón) la estación SOKKIA Serie 10K con una precisión de $\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D \text{ mm})$, y se verificó la estación total TOPCON ET1 compuesta de un distanciómetro electroóptico que mide por el método de diferencia de fase con una precisión de $\pm(5\text{mm} + 2\text{ppm} \times D \text{ mm})$, según las especificaciones del manual de operación del fabricante.

Los pasos que se siguieron para la aplicación de la norma fueron los siguientes:

- En primer lugar se hizo un centrado forzoso de la estación SOKKIA, marcando de manera adecuada el punto, para luego ubicar en el mismo lugar la estación a verificar.
- Luego se utilizaron 4 trípodes con bases nivelantes para los prismas, repitiendo el centrado forzoso, marcando de igual manera los correspondientes puntos.
- Los trípodes fueron ubicados en distancias entre 20 y 200 metros según aconseja la Norma.
- Más tarde, se retiró la estación patrón reemplazándola por la que se quería verificar, usando nuevamente el centrado forzoso en el mismo punto.
- Se tomaron medidas de presión y temperatura para realizar las correcciones correspondientes.
- Las correcciones atmosféricas en la estación patrón son realizadas por el mismo aparato, en cambio para el instrumento a verificar las correcciones fueron realizadas posteriormente a la medición.

3. RESULTADOS

Los valores de las distancias obtenidas con el equipo considerado patrón (X_p) y con el equipo a verificar (D_c) se observan en Tabla 1.

En esta tabla se observan:

- Valores de la distancia obtenidos con el equipo patrón (X)
- distancias obtenidas con el equipo a verificar (D)
- Valores de las distancias (D) corregidas por el efecto atmosférico (D_c)
- Promedio de los valores obtenidos con el equipo patrón (X_p)
- Diferencia entre las distancias obtenidas con el equipo patrón y las obtenidas con el equipo a verificar ($X_p - D_c$)

El modo de instrumento patrón usado fue modo fino promedio 9 repeticiones para el cual la corrección atmosférica para la estación total Topcon ET1 es:

$$K_a = \left(279,6 - \frac{106 * P}{273,2 + t} \right) * 10^{-6}$$

$$K_a = 7,8245 e^{-6}$$

K_a es un factor de corrección de la distancia en función de la presión atmosférica (p) y de la temperatura (t). Esta expresión matemática la entrega el fabricante en el manual de uso del equipo que se está verificando.

$$D_c = (D + D \times K_a)$$

Donde D es la distancia medida con el equipo

D_c es la distancia corregida por el factor K_a de acuerdo a las condiciones atmosféricas existentes en el momento de la medición

$$D_1 = 23,367 \text{ m} \quad D_2 = 81,099 \text{ m}$$

$$D_3 = 141,408 \text{ m} \quad D_4 = 200,182 \text{ m}$$

$$D_{1c} = 23,3671 \text{ m} \quad D_{2c} = 81,0996 \text{ m}$$

$$D_{3c} = 141,409 \text{ m} \quad D_{4c} = 200,183 \text{ m}$$

Tabla 1. Distancias obtenida, Temperatura: 22,4 °C, Presión: 1008 hpa/ 757,895 mmHg

Equipo patrón X [m]	Equipo a Verificar D [m]	Valores corregidos Equipo a verificar Dc [m]	Promedio Equipo patrón Xp [m]	Dif. Xp-Dc [mm]
X1= 23,3808	D1=23,367	D1c=23,3671	X1p=23,3807	13,6
X2= 23,3806				
X3= 23,3806				
X1= 81,1139	D2=81,099	D2c=81,0996	X2p=81,1138	14,2
X2= 81,1137				
X3= 81,1140				
X1=141,4184	D3=141,408	D3c=141,409	X3p=141,4184	9,4
X2=141,4184				
X3=141,4184				
X1=200,2016	D4=200,182	D4c=200,183	X4p=200,2013	18,3
X2=200,2008				
X3=200,2015				

Como se puede observar en las cuatro distancias medidas por ambos instrumentos se verificó una diferencia entre 9,4 mm y 18,3 mm, valores superiores a la precisión especificada por el manual del equipo y con la particularidad que, en todos los casos, el valor medido por el equipo bajo ensayo fue menor que los obtenidos con la estación más precisa. Por lo tanto, se presume que la estación Topcon ET1 presentaría un error sistemático. De acuerdo a esto se decidió, basándose en lo aconsejado por dicha Norma, realizar una experiencia en el campo para determinar el posible error sistemático de cero y/o de error de escala del instrumento.

Determinación del Error de Cero

Se utilizó el método de medida de tres distancias según muestra en Figura 3:

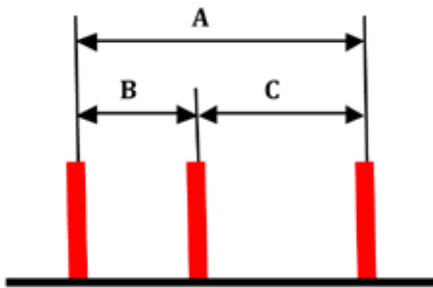


Figura 3. Esquema de las distancias a medir para la determinación del Error de Cero.

Si se mide primero el tramo **A**, y luego los tramos **B** y **C**, debería ocurrir que $A = B + C$ y siendo el error e constante, entonces:

$$A + e = (B + e) + (C + e), \text{ lo que equivale a: } (A + e) - (B + e) - (C + e) = 0$$

Por lo tanto, $e = B + C - A$, determinándose que su corrección será de signo contrario.

Se llevaron a cabo dos ensayos. En el primero se midieron las distancias comenzando desde el punto extremo izquierdo (o sea colocando la estación total en ese punto y los prismas en los otros dos puntos), y en el segundo ensayo se repitieron las medidas pero comenzando desde el extremo derecho (Tabla 2).

Finalmente, siguiendo las recomendaciones de la Norma ISO simplificada se realizó una verificación de la frecuencia de referencia.

Medición de la frecuencia

Se utilizó un osciloscopio con memoria digital, marca Kenwood, modelo cs-8010, con una punta por uno, sensibilidad vertical 23 volt por división y sensibilidad horizontal 0,5 micro seg. por div. La lectura de un periodo fue de 1,38 div, equivalente a 1,45 MHz.

Tabla 2. Valores de distancias tomadas de izquierda a derecha en el primer ensayo y de derecha a izquierda en el segundo ensayo y los errores de cero obtenidos en ambos casos

Primer ensayo	Distancia (m)	Error (m)
A	47,670	
B	24,439	$e = - 0,025$
C	23,206	
Segundo ensayo		
A	47,671	
B	24,447	$e = - 0,020$
C	23,204	

Según lo indicado por el fabricante en el manual técnico del equipo Topcon ET1, se utilizó para medir la frecuencia de referencia de 1,5 MHz el switch 1, con pin de FREQ (3) en posición ON, modo S/A, y se conectó el osciloscopio a CO y GND. Según las mediciones realizadas, existe una variación de frecuencia de 3,3 %, pero debe tenerse en cuenta que las mediciones realizadas con osciloscopio no son precisas y al estar buscando variaciones en frecuencia del orden de partes por millón, no se puede asegurar el valor con un error adecuado. En consecuencia, con esta medición sólo se pudo ver la forma de onda y se observó que la frecuencia tiene valores dentro el orden indicado.

En la fotografía (Fig. 4) se puede observar la forma de onda obtenida en el osciloscopio.



Figura 4. Imagen del osciloscopio conectado a la estación total y la forma de onda de la señal del oscilador interno.

Posteriormente se midió la frecuencia de referencia de la estación TOPCON ET1 con un contador universal de pulsos HP 5328 A (Hewlett Packard), con una resolución de 1Hz.

Se midió en el mismo punto que con el osciloscopio y en las mismas condiciones.

Se tomaron los siguientes valores:

1.498.533 Hz	1.498.535 Hz
1.498.539 Hz	1.498.533 Hz
1.498.532 Hz	1.498.536 Hz
1.498.535 Hz	1.498.532 Hz

Se debería haber medido 1,5 MHz, pero se obtuvo como valor medido 1,49853 MHz, por lo que el error es de 0,098 %. También se observó un corrimiento entre las medidas en el orden de los Hz.

4. CONCLUSIONES

El signo de los errores obtenidos en la determinación del error de cero coinciden con lo que se preveía, según lo determinado en el ensayo de la Norma ISO simplificada, en cuanto a que las distancias medidas por el distanciómetro son menores que las reales.

En cuanto a la magnitud de los mismos (alrededor de 20 mm) parecen ser un poco altos con respecto a los valores de los errores determinados en la experiencia de la norma simplificada, pero hay que considerar dos aspectos:

La propia desviación $\pm(5\text{mm} + 5\text{ ppm D mm})$ del instrumento de acuerdo a la precisión indicada en las especificaciones técnicas que afectan a los valores medidos.

Se realizó una sola medida para cada distancia, de acuerdo a lo indicado en la norma, con lo cual los errores aleatorios del equipo tienen una gran influencia en la misma. Por tal motivo, se recomienda realizar un número adecuado de mediciones y obtener el valor medio de las mismas.

Como se puede observar, la estabilidad de la frecuencia en el corto tiempo condice con lo esperable, pero su valor es menor que la frecuencia nominal y el sentido de dicho corrimiento produce un error en la determinación de la distancia del mismo signo que el error obtenido inicialmente con las mediciones realizadas durante la aplicación de la Norma ISO simplificada.

Esto se deduce de la expresión de la medida de la distancia en este tipo de distanciómetros que mide por diferencia de fase:

El equipo mide la diferencia de fase que se utiliza en dicha expresión, pero emplea para calcular la distancia la longitud de onda referida a la frecuencia original de fábrica almacenada en su memoria. Si la frecuencia, por algún corrimiento, disminuye,

la longitud de onda, aumenta (que es la que en realidad se está utilizando en la medida actual), con lo cual la distancia calculada con la frecuencia original es menor que la real.

La estación total Topcon ET1 bajo ensayo, según la Norma ISO ISO17123/4, presenta un error sistemático de cero y un corrimiento en la frecuencia que genera en las medidas de las distancias un error sistemático, reflejado en las medidas que se realizaron en el campo. Si bien no se pudo determinar una corrección aplicable en las medidas que se realicen con dicha estación, se verificó la necesidad de realizar un servicio técnico en el equipo para corregir los desvíos mencionados.

5. REFERENCIAS

- [1] P. R. Wolf & C. D. Ghilani; "Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics" 2006, 11th Ed.
- [2] Bannister, Raymond, Baker; "Técnicas modernas en topografía" Ed. MARCOMBO - ALFAOMEGA - ISBN: 9701506731 ISBN-13: 9789701506738.
- [3] ISO 17123-4:2001: Optics and optical instruments -- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments -- Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments).
- [4] ISO 4463-1:1989: Measurement methods for building -- Setting-out and measurement -- Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria.