

# Evaluación de la incertidumbre de medida de una estación total aplicando la Norma ISO 17123-3

Alicia Inés Pina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agrimensura - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba  
Avenida Vélez Sarsfield 1611 Ciudad Universitaria, X5016 CGA. Tel: 5353800 interno 29061 pinaalicia@yahoo.com.ar

Fecha de recepción del manuscrito: 27/12/2013

Fecha de aceptación del manuscrito: 14/02/2014

Fecha de publicación: 28/03/2014

**Resumen** — En la actualidad nos encontramos con equipos de medición más precisos, con mayor tecnología y simplicidad que nos hacen creer que los resultados de la medición son casi perfectos, que no poseen error. No existe ningún instrumento de medición que de resultados inequívocos, todos están afectados con una incertidumbre de medida que se debe evaluar y valorar para garantizar la calidad las mediciones.

En el campo la topografía existe una categoría ISO, que engloba un conjunto de serie de normas para instrumentos de medida ópticos que proporcionan los procedimientos necesarios para evaluar la incertidumbre de medida y comprobar el estado en que se encuentran los equipos.

En este trabajo se presenta una aplicación de la metodología de evaluación de la incertidumbre de medida según la norma ISO 17123-3 a la medición de ángulos horizontales y verticales, con estaciones totales.

Los procedimientos de campo descritos pueden ser llevados a cabo por los docentes y estudiantes, de las asignaturas de las carreras de Ingeniería que empleen instrumental óptico topográfico, y por el personal técnico especializado del Taller Laboratorio de Instrumental del Departamento de Agrimensura, los cuales, mediante estos procedimientos pueden mantener el instrumental en condiciones, mediante verificaciones, durante todo el ciclo lectivo.

**Palabras claves** — Incertidumbre de medida, instrumentos ópticos-topográficos, Normas ISO, procedimientos de campo

**Abstract**— Today we find precise measurement equipment, more technology and simplicity that make us believe that the measurement results are almost perfect, which have no mistake. There is no meter that unambiguous results, all are affected with an uncertainty of measurement should assess and evaluate quality assurance measurements.

In the field there is a topography ISO category that includes a set of set of standards for optical measuring instruments that provide the procedures necessary to evaluate the uncertainty of measurement and check the state in which the teams are located.

In this paper an application of the methodology for evaluating the measurement uncertainty is presented according to ISO 17123-3 for measuring horizontal and vertical angles, with total stations.

Field procedures described can be carried out by teachers and students for the subjects of engineering careers employing instrumental topographic optical, and specialized technical personnel Workshop Instrumentation Laboratory, Department of Survey, which, by these procedures can be instrumental in maintaining the conditions by checks throughout the school year.

**Keywords**—Measurement uncertainty, optical surveying instruments, ISO standards, field procedures.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad nos encontramos con equipos de medición y procesos para captura de datos geográficos, más precisos, con mayor tecnología y simplicidad que nos hacen pensar y creer que los resultados de la medición son casi perfectos y que no poseen error. Pero no existe ningún instrumento de medición que de resultados inequívocos. Es decir, todos están afectados con algún nivel de error, con una determinada incertidumbre de medida que se debe evaluar y valorar para garantizar la calidad del producto final.

Por otro lado, un número cada vez mayor de instituciones de topografía, universidades, empresas de ingeniería y gobiernos, tienen una certificación ISO 900x. Estas normas internacionales no solo describen la estructura de los Sistemas de Gestión de Calidad

(SGC) sino que, entre otras cosas, exigen que todos los instrumentos de medición se controlen regularmente.

Por lo que es necesario y fundamental para toda organización, tenga certificación ISO o no, realizar un chequeo, verificación y calibración de los distintos equipos de medición.

La calibración es una acción estrictamente vinculada con las características metroológicas del instrumento. Calibrar es la acción de comparar lo que indica el instrumento y lo que debería indicar de acuerdo con un patrón de referencia con valor o dimensión conocida. La calibración se realiza bajo condiciones específicas y en centros o laboratorios especializados para la realización de la misma.

La verificación es la comparación de las características metroológicas del instrumento de medición con los requisitos metroológicos. La verificación permite asegurar que entre los valores

indicados por el aparato o un sistema de medición y los valores conocidos correspondientes a una magnitud de medida, los desvíos sean inferiores a los errores máximos tolerados.

Por lo que no es lo mismo calibrar que verificar. La verificación es una etapa posterior a la realización de una calibración, no hay verificación sino no hay calibración.

Solo a través de la calibración de los equipos de medición respecto de patrones con trazabilidad internacional, las organizaciones pueden asegurar la validez de sus mediciones. Estas calibraciones se realizan en laboratorios especializados, que deben estar debidamente acreditados y su costo es en muchas ocasiones bastante elevado y no todas las empresas poseen los medios económicos suficientes para ello.

Por todo lo expuesto es fundamental disponer de métodos que permitan conocer si el comportamiento del instrumental es el adecuado, dejando el recurso de calibración o recalibración a los centros especializados cuando fuera necesario.

En el campo de la geodesia y la topografía existe una categoría ISO 17.180.30, que engloba un conjunto de serie de normas para instrumentos de medida ópticos que proporcionan los procedimientos necesarios para evaluar la incertidumbre de medida y comprobar el estado en que se encuentran los equipos antes de su utilización en un determinado proceso de medición.

Los procedimientos de campo especificados, las normas y las recomendaciones emitidas por la comisión 5 de la Federación Internacional de Geómetras (FIG) en 1994, sobre los controles de rutina de los instrumentos de medición óptico-eléctricos son lamentablemente poco conocidas.

En este trabajo se presenta una aplicación de la metodología de evaluación de la incertidumbre de medida según la norma ISO 17123-3 a la medición de ángulos horizontales y verticales, con estaciones totales.

## OBJETIVOS

El comportamiento de los equipos de medición puede cambiar en el transcurso del tiempo debido a la influencia ambiental, el desgaste natural, la sobrecarga, o por un uso inapropiado. Por lo tanto la exactitud del resultado de la medición de un equipo necesita ser comprobado en el tiempo.

El presente trabajo elaborado con fines didácticos, tiene como objetivo general el de evaluar la incertidumbre de medida del instrumental más habitual en la actualidad (estaciones totales, teodolitos óptico mecánicos y electrónicos), y el empleo de normas internacionales, (ISO 17123-3: 2001) para la evaluación de la incertidumbre de medida, homogeneizando la probabilidad de cobertura, al utilizar la desviación típica forma de medición de la incertidumbre típica de medida.

Los objetivos específicos son:

1. Enseñar a los estudiantes los conocimientos básicos teóricos y prácticos para el manejo adecuado de los instrumentos topográficos con que se cuenta y sus correcciones respectivas.
2. Realizar un control periódico del instrumental, empleado en el desarrollo de los trabajos prácticos de los alumnos de la Universidad Nacional de Córdoba.
3. Establecer lineamientos claros para identificar e implementar los mecanismos necesarios para proporcionar evidencia de la conformidad de los instrumentos de medición que afecten las mediciones.

## ANTECEDENTES

La metrología es la ciencia de la medida cuyos objetivos más importantes son el resultado de la medición y la incertidumbre de medida.

La Geomática aglutina un conjunto de ciencias (Topografía, Cartografía, Geodesia y Fotogrametría) en las cuales se integran, entre otros, los medios de captura, tratamiento y análisis de la información geoespacial. Por tanto, todos los conceptos sobre medición y evaluación de la incertidumbre de medida en el ámbito de la metrología son de aplicación directa al campo de la Geomática. (García Balboa et al, 2010)

Todo dato geográfico capturado por cualquier medio debería ir acompañado de un valor cuantitativo que nos dé una idea de su calidad, es decir, de un parámetro que caracterice la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente al mismo. En tal momento se entiende que el resultado de la medición está completo. La evaluación de este parámetro de calidad debe realizarse de la forma más rigurosa posible ya que determinará la metodología de captura más adecuada a cada caso concreto.

El parámetro, la incertidumbre, es el objeto principal de la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida, comúnmente denominada GUM (ISO, 2008), elaborada conjuntamente por diversas organizaciones internacionales como la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), la Organización Internacional de Metrología (OIML), la Organización Internacional de Normalización ISO, entre otras prestigiosas entidades internacionales) y adoptada, en la actualidad, por un gran número de prestigiosas sociedades científicas internacionales. La GUM, publicada en 1993 y revisada en 1995 y 2008, representa la referencia más completa y aceptada actualmente sobre cómo expresar y evaluar la incertidumbre de medida. De aplicación fundamental en metrología, está pensada para que se pueda aplicar a la mayoría de los resultados de medida, incluyendo, p. ej., los resultados asociados a la investigación básica y aplicada, y a la ingeniería. La importancia de esta guía radica en que es universal, y por tanto, aplicable a todo tipo de mediciones. (García Balboa et al, 2011).

La expresión "según la norma DIN 18723" asociado con declaraciones de precisión de teodolitos comienza a aparecer desde la introducción de teodolitos

electrónicos. DIN significa Deutsches Institut für Normung, que se traduce libremente como Instituto Alemán de Normalización. En el momento en que el estándar fue citado por primera vez (1983) por los fabricantes -en su mayoría procedentes de Europa continental- como una especificación de precisión, en realidad era un proyecto. Sin embargo, fue rápida y ampliamente aceptada por los fabricantes de todo el mundo para la especificación de la exactitud de los teodolitos.

La Normativa DIN 18723 (ISO 12857) surgió por la necesidad de evaluar en forma fidedigna las exactitudes reales de los equipos electrónicos sobre todo, por la alta resolución que los mismos ofrecían, a veces de décimas de segundo, que confundían al usuario en cuanto a la verdadera precisión del instrumento. Es justamente en el periodo de transición entre los teodolitos ópticos tradicionales y los nuevos teodolitos electrónicos en que aparece esta norma.

El estándar es igualmente aplicable a teodolitos ópticos mecánicos. Pero más allá del hecho, que el teodolito sea óptico o electrónico, los usuarios asumen que 5", 3" o 2" (segundos), es la precisión de una medición angular cualquiera. Esto no suele ser así (excepto por coincidencia). La especificación es útil para comparar los teodolitos sin embargo, no todos los teodolitos clasificados con una exactitud DIN de segundos, serán iguales en términos de rendimiento de medición de ángulos. (Professional Surveyor Magazine, 2002).

Cuando una estación total o teodolito electrónico, se especifica que según la normativa DIN 18723 su precisión angular es de 5" (cinco segundos) esto implica que una sola medición realizada en el círculo directo e inverso de la misma, puede diferir con un error máximo de cinco segundos, sin detrimento alguno de que el instrumento pueda tener una resolución o lectura mínima muy por debajo de éste valor. El método de determinación de la exactitud de teodolitos utilizando la normativa DIN 18723 es en realidad lo que mide la precisión. En resumen, los valores de exactitud DIN indicados para los instrumentos no son valores que se deban asumir que se puedan obtener en la medición de ángulos. Dependiendo de cómo se utiliza el instrumento (haciendo caso omiso de los accesorios y las condiciones), la exactitud del ángulo puede ser mayor o menor que el valor especificado. Para garantizar la fiabilidad de la normativa, los fabricantes deben someter sus equipos a pruebas reconocidas que evalúan el cumplimiento de la norma en todos los casos, y bajo cualquier circunstancia de trabajo.

Actualmente la estandarización de los instrumentos ópticos está regida por el comité ISO/TC 172. Los términos de referencia de ISO / TC 172 se definen de la siguiente manera: "La estandarización de terminología, requisitos, interfaces y métodos de ensayo en el campo de la óptica". (Zeiske, 2001).

El TC 172 se compone en la actualidad de 7 subcomités:

- SC 1 Normas básicas.
- SC 3 materiales y componentes ópticos.
- SC4 sistemas telescópicos.
- SC 5 microscopios y endoscopios.
- SC 6 geodésicos e instrumentos de topografía.
- SC 7 óptica e instrumentos oftalmológicos.

Los términos de referencia para la SC 6 abrazan la normalización de la terminología, requisitos y métodos de ensayo geodésicos e instrumentos de topografía, sus elementos y accesorios. SC 6 también participa activamente en la normalización de los parámetros de calidad de instrumentos y accesorios.

La serie de normas ISO 17123 especifica los procedimientos de campo a adoptar para determinar y evaluar la precisión de los instrumentos topográficos y su equipamiento auxiliar. Los ensayos de estas normas son verificaciones de campo de la adaptabilidad de un determinado instrumento para el trabajo a realizar. Estos ensayos también satisfacen los requisitos de otras normas.

Estas Normas pueden entenderse como uno de los primeros pasos en el proceso de evaluación de la incertidumbre de medida. La incertidumbre del resultado de una medida depende de un cierto número de factores, entre los cuales se encuentran, la repetitividad, la reproducibilidad, la trazabilidad (a través de una cadena ininterrumpida a patrones nacionales) y una detallada valoración de todas las posibles fuentes de error según lo detallado por la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM) publicada por la ISO en 1995.

La Norma ISO 17123 no pretende estudiar cada uno de los factores que influyen sobre la calidad de medida un instrumento, sino conocer el efecto final producido por todos ellos, evaluando la desviación típica de la medida.

Las distintas partes de la Norma 17123 describen los procedimientos necesarios para evaluar la incertidumbre de medida de un instrumento topográfico-geodésico, y comprobar que está en perfectas condiciones de uso. Se trata de procedimientos para el chequeo en campo por el usuario. No se trata de una calibración del instrumento que debe de llevarse si se considera pertinente en los laboratorios acreditados para ello, aproximadamente cada 1 ó 2 años, es decir, con menos frecuencia que el chequeo del instrumento por el usuario. (García Balboa et al, 2013).

Estos procedimientos de campo han sido específicamente desarrollados para aplicaciones de campo, sin la necesidad de ningún equipamiento especial y están diseñados para minimizar las influencias atmosféricas.

En la primera parte de la Norma ISO 17123 (ISO 17123-1:2010- Parte 1: Teoría) se encuentra la formulación utilizada en los procedimientos de las partes individuales de la serie ISO 17123.

La precisión de un instrumento geodésico y topográfico se expresa en términos de desviación típica  $\sigma$ , o de varianza  $\sigma^2$ . La varianza estimada  $S^2$  de una muestra, es un estimador de la varianza poblacional teórica  $\sigma^2$ . Los métodos para la estimación de  $\sigma^2$  son:

- Las desviaciones  $\varepsilon$  (verdaderas) de los valores medidos a partir de los correspondientes valores verdaderos (o valores considerados verdaderos).
- Las desviaciones  $r$  (residuos) de los valores medidos a partir de los correspondientes parámetros estimados.
- Las diferencias  $d$  de medidas dobles.

Si las especificaciones técnicas del trabajo a realizar indican la desviación permitida, ISO 4463-1 recomienda que esta desviación se relacione con la correspondiente desviación típica  $s$  según

$$s \leq \frac{|p|}{2,5} \quad \text{donde } \pm p \text{ es la desviación permitida, } s \text{ es}$$

la medida de la precisión en uso expresada como la desviación típica de la población.

El parámetro  $p$  se compara con la medida de la precisión en uso obtenida con cualquier determinación previa de la precisión o con datos generales que indiquen la precisión esperada de un equipo de medida. En los casos en que la desviación típica experimental  $s$ , que representa la precisión en uso de un determinado equipo de medida, supere la desviación permitida, debe considerarse la utilización de un procedimiento diferente y/o un instrumento más preciso, o evaluar la posibilidad de modificar la desviación permitida  $p$ . (Sevilla Anton C. et al, 2008)

Muchas de las partes de la Norma ISO 17123 describen un procedimiento simplificado y un procedimiento completo para la evaluación de la calidad de medida de estos instrumentos geodésicos y topográficos.

La norma ISO 17123-3:2001 - Parte 3: Teodolitos, especifica los procedimientos de campo para determinar la precisión de los teodolitos y su equipamiento auxiliar.

El procedimiento simplificado provee una estimación si la precisión de un determinado teodolito está en el rango o no de la desviación específica permitida y es habitualmente empleado para evaluar si la precisión en uso de un equipo de medida en conjunción con un operador determinado es apropiada para llevar a cabo una tarea que tenga un valor de precisión requerida. Al estar basado en un número limitado de medidas no permite obtener un valor significativo de la desviación típica. Si se necesita una evaluación más significativa de la desviación típica bajo condiciones de campo, se recomienda adoptar el procedimiento completo, que es más riguroso.

El procedimiento completo debe adoptarse para determinar la mejor precisión alcanzable de un determinado teodolito y su equipamiento auxiliar, bajo condiciones de campo. Este procedimiento se aplica para determinar la desviación típica experimental de una dirección horizontal o un ángulo vertical ( $S_{\text{ISO-THEO}}$

$H_z$ ,  $S_{\text{ISO-THEO-V}}$ ), observado en ambas posiciones del teodolito.

La evaluación de la precisión de medida de ángulos horizontales está basada en la medida a una serie de punterías a señales o blancos situados aproximadamente en el mismo plano horizontal que el instrumento, a una distancia de entre 100 m y 250 m, distribuidas dentro de lo posible a intervalos regulares. Las punterías utilizadas deben permitir observaciones óptimas. Se deben utilizar preferentemente señales o blancos de puntería con centración forzosa.

En el procedimiento completo se toma 4 series de medida bajo diferentes, pero no extremas, condiciones atmosféricas. Cada serie está compuesta de 3 conjuntos de direcciones a los 4 o 5 blancos de puntería. Los blancos se observan en cada conjunto, en el círculo directo en el sentido de las agujas de reloj y en el círculo inverso en sentido contrario. Si se puede girar el limbo del instrumento, se girará  $60^\circ$  después de cada conjunto de medidas. Si el instrumento es electrónico, se girará físicamente la plataforma nivelante a aproximadamente  $120^\circ$ .

El cálculo se desarrolla utilizando un ajuste por mínimos cuadrados mediante ecuaciones de observación que nos permitan determinar la desviación típica  $s$ , calculada, es igual a la de una dirección angular promedio del círculo directo e inverso.

Tras este cálculo se plantean dos test estadísticos de contraste de hipótesis con el fin de determinar si:

- a) La desviación típica experimental,  $S$ , obtenida pertenece a la desviación estándar teórica poblacional del instrumento  $\sigma$
- b) Si dos muestras pertenecen a la misma población. En este segundo test habrá de tenerse en cuenta los grados de libertad de cada muestra para calcular el estadístico F de manera adecuada.

En la evaluación de la precisión de medida de ángulos verticales el teodolito debe estacionarse a una distancia aproximada de 50 metros de un edificio alto. En este edificio se fijan placas de puntería, para establecer un rango de cobertura del ángulo vertical de aproximadamente  $30^\circ$ .

Las medidas que hay que realizar en el procedimiento completo consisten en 4 series de medida bajo diferentes, pero no extremas condiciones atmosféricas. Cada serie está compuesta de 3 conjuntos de direcciones a los 4 blancos: estos 4 blancos se observan en cada conjunto, en el círculo directo en sentido de 1 a 4 y en el círculo inverso en el sentido de 4 a 1.

El cálculo consiste igualmente en un ajuste por mínimos cuadrados mediante ecuaciones de observación que nos permite determinar el error de índice vertical  $\delta$  y su desviación típica  $S_\delta$ , así como la desviación típica experimental  $s$  de un ángulo vertical promedio del círculo directo y círculo inverso

Tras el cálculo del procedimiento completo se plantean también una serie de test estadísticos de contraste de hipótesis con el fin de determinar si:

- a) La desviación típica experimental,  $S$ , obtenida pertenece a la desviación estándar teórica poblacional del instrumento  $\sigma$ .
- b) Si dos muestras pertenecen a la misma población (considerando los grados de libertad de cada muestra para calcular correctamente el estadístico  $F$ ).
- c) Si el error de índice vertical es igual a cero, o no ha experimentado cambios.

## MATERIAL Y MÉTODO

El Departamento de Agrimensura, de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba posee instrumental topográfico, en especial teodolitos ópticos mecánicos, electrónicos y estaciones totales, algunos de los cuales tienen ya varios años de uso constante, diario por parte de los alumnos de todas las carreras de ingeniería para el desarrollo de sus trabajos prácticos.

Este uso constante y de continuo aprendizaje por parte de los alumnos, lleva a que con el tiempo, los instrumentos de medición no reflejen las características originales en cuanto a las precisiones de medida. Por lo que se hace necesario un control periódico de los mismos de manera sencilla con la obtención de resultados claros y precisos que puedan servir con fines didácticos y de base al personal técnico para realizar las verificaciones y correcciones que estuvieran a su alcance y en caso de ser necesario recomendar una calibración por parte de algún laboratorio especializado o dar de baja por daños irreparables.

Habiendo estudiado el parque instrumental existente y hechas las averiguaciones correspondientes con los encargados del depósito de instrumental, se tomó la determinación de trabajar con dos estaciones totales Nikon, modelos DTM-322, adquiridas en el 2009 por la Facultad de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba con fines académicos, y puestas a disposición del Departamento de Agrimensura.

La empresa proveedora de las mismas, RUNCO S.A. es una empresa nacional de prestigio internacional, con sede central en la ciudad de Buenos Aires. Su actividad vinculada con la fabricación y servicio técnico de instrumentos de precisión para topografía, geodesia e ingeniería se remonta a más de 30 años.

Las características básicas de las estaciones fueron extraídas del "manual de usuario" y se detallan a continuación:



**Estación total DTM-322**

Precisión estándar (DIN 18723) de 5".  
Mínima lectura 1"  
Precisión en la medición de distancia  $\pm (3\text{mm.} + 2\text{ppm})$   
Distanciómetro de alta velocidad.  
Resolución en la medición de distancias de 1mm y 1cm seleccionables.  
Alcance en distancia:  
Alcance con tarjeta reflectora de 5 cm: 100 m  
Alcance con miniprisma: 1.200 m  
Alcance con 1 prisma: 2.300 m  
Alcance con 3 prismas: 3.000m  
Óptica Nikon de alta calidad, con un elevado aumento de 33X, modificable a 21X / 41X con oculares opcionales.  
Apertura de 45mm.  
Plomada Óptica incorporada a la alidada de la estación total.  
Display gráfico LCD retro iluminable, totalmente en castellano, con teclado alfanumérico ergonómico de 25 teclas.  
Memoria interna de 10.000 puntos  
Equipo compacto y liviano: 4.8Kg  
Protección contra la entrada de agua y polvo según el estándar IP55.  
Se alimenta mediante un pack de baterías recargables de larga duración.

En base a la norma ISO17123-3 se aplicó el procedimiento simplificado y completo (una sola vez) para cada equipo con el fin de obtener las desviaciones típicas correspondientes, horizontales y verticales y realizar un análisis para ver si el comportamiento de los diferentes equipos era similar, en otras palabras, si las muestras obtenidas pertenecían a la misma población.

Para ello, primeramente se definió una serie de blancos de puntería sobre el terreno según las especificaciones de la norma, una zona de ensayo donde realizar las mediciones.

Si bien los terrenos de la ciudad universitaria en el cual se encuentra ubicada la facultad son extensos, fue difícil encontrar una zona adecuada que cumpliera mínimamente con las características establecidas para evaluar la precisión de medida de ángulos horizontales, debido a la gran cantidad de construcciones. Por sus particularidades se decidió utilizar parte de un polígono topográfico de práctica, el cual se encuentra debidamente amojonado y abalizado. Para que las punterías fueran óptimas se emplearon señales de puntería con centración forzoza. Se tuvo el máximo cuidado en la centración del instrumental, empleando para ello, adecuadamente la plomada óptica incorporada a la alidada.

Para el procedimiento completo se tomaron 4 series de medida compuestas de 3 conjuntos de direcciones a 5 señales de puntería distribuidas en forma regular a unos 100m -150m del instrumento, en el mismo plano horizontal. Después de cada conjunto de medidas se giró físicamente la plataforma nivelante unos 120°. Las 4 series de mediciones se realizaron en diferentes

días y horarios, con diferentes condiciones ambientales. Para el procedimiento simple se tomó una serie de medidas compuesta de 3 conjuntos de direcciones a 4 señales de puntería.

Para la evaluación de la precisión de medida de los ángulos verticales se buscó un edificio alto para fijar placas de puntería en un rango de cobertura de ángulo vertical de aproximadamente 30° tal cual lo establece la norma. En esta oportunidad se aprovechó la construcción de un nuevo edificio para aulas y oficinas en un predio cercano a la facultad dentro de los terrenos de la ciudad universitaria y con la ayuda de los obreros de la construcción se fijaron en una pared lateral las placas de puntería de manera que pudieran observarse desde a unos 50m - 60m. Se centró el instrumental en un punto, el cual una vez seleccionado, fue amojonado y abalizado para poder reproducir en el tiempo las mediciones.

El instrumental empleado tiene la característica de poder ser programado para poder medir en su círculo vertical, tanto ángulos verticales como de distancias cenitales. Se tomó la determinación de observar distancias cenitales, ya que los mismos, son los valores de medida empleados tradicionalmente por los docentes de las cátedras de topografía, geodesia de la carrera de Ingeniería en Agrimensura desde los comienzos de las mismas a fines del siglo XIX en el año 1876.

Al igual que para evaluación de la precisión de medida de ángulos horizontales, se tomaron 4 series de medida bajo diferentes condiciones ambientales para el procedimiento completo y una serie de medidas para el procedimiento simplificado, tomando lectura, tal como lo establece la norma en ambas posiciones del anteojo (círculo directo y círculo inverso).

Una vez realizadas todas las mediciones se efectuaron los cálculos correspondientes. El cálculo consiste en un ajuste por mínimos cuadrados mediante ecuaciones de observación.

Los pasos a seguir se encuentran detallados en la norma.

Para las direcciones angulares horizontales:

1. Se calculó la media de las lecturas en el círculo directo y en el círculo inverso para cada dirección.
2. Se redujo las lecturas promedio a la dirección correspondiente al primer blanco.
3. Se calcularon los valores promedio de las direcciones resultantes de los tres conjuntos de medidas promedio a cada blanco.
4. Se calculó la diferencia entre estos promedios y el promedio de cada dirección en cada conjunto de lecturas. Se calcularon los residuos a partir de las diferencias.
5. Se calculó la desviación típica experimental  $S$  de una dirección angular tomada en un conjunto y observada en el círculo directo e inverso considerando ocho grados de libertad para el procedimiento completo y seis grados de libertad para el procedimiento simplificado.

6. Se calculó la desviación típica experimental  $S$  de una dirección angular promedio de círculo directo y círculo inverso a partir de la desviación típica  $S$  calculada para cada serie de mediciones.

Una vez efectuados los cálculos se realizaron los test estadísticos correspondientes, para determinar si la desviación típica experimental  $s$  obtenida pertenecía a la desviación estándar teórica poblacional de cada una de las estaciones  $\sigma$  y si las dos muestras pertenecían a la misma población considerando que se trabajó con dos instrumentos diferentes pero de igual marca, modelo y precisión angular.

Se emplearon la pruebas chi-cuadrado ( $\chi^2_{(1-\alpha)}(\nu)$ ) para contrastar la bondad de ajuste, es decir, si las muestras se ajustaban a una distribución teórica normal esperada y la prueba  $F(\nu, \nu)$  de Snedor para contrastar la igualdad de varianzas de las dos muestras.

Para los ángulos verticales (distancias cenitales):

1. Se calculó la media de las lecturas en el círculo directo y en el círculo inverso para cada blanco, los cuales no vienen afectados por el error de índice vertical  $\delta$ .
2. Se calculó el error de índice vertical  $\delta$  para cada una de las cuatro series del procedimiento completo. (En el procedimiento simplificado no se calcula el error de índice).
3. Se calcularon los valores promedio de los ángulos verticales (distancias cenitales) de los tres conjuntos de medidas promedio a cada blanco.
4. Se calcularon los residuos para cada ángulo.
5. Se calculó la desviación típica experimental  $S$  de un ángulo vertical tomada en un conjunto y observada en el círculo directo e inverso considerando ocho grados de libertad.
6. Se calculó la desviación típica experimental de un ángulo vertical promedio de círculo directo y círculo inverso a partir de la desviación típica  $S$  calculada para cada serie de mediciones.

Una vez efectuados los cálculos se realizaron los test estadísticos correspondientes, para determinar si la desviación típica experimental  $S$  obtenida pertenecía a la desviación estándar teórica poblacional de cada una de las estaciones  $\sigma$ , si las dos muestras pertenecían a la misma población considerando que se trabajó con dos instrumentos diferentes pero de igual marca, modelo y precisión angular y si el error de índice vertical era igual a cero, o no ha experimentado cambios.

Para mayor detalle del método empleado y de los cálculos efectuados consultar el Anexo ISO 17123-3 y las planillas de observaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los instrumentos en cuestión tienen, según las especificaciones originales, una precisión estándar DIN 18723 de 5". Este valor fue tomado como una aproximación a la precisión, se consideró que la diferencia de una medición en el círculo directo y en el

círculo inverso podía diferir como máximo en 5". Usando las ecuaciones de propagación de errores aleatorios, la desviación estándar de un ángulo de precisión DIN de 5" es aproximadamente de unos 7". ( $\sqrt{5^2 + 5^2} \approx 7''$ )

Se aplicó primero el procedimiento simplificado para cada uno de las estaciones. La intención era poder determinar, tal como lo establece la norma, si la precisión del instrumento estaba en el rango de la desviación específica permitida. Al estar este procedimiento basado en un número limitado de medidas no permite tener un valor significativo de la desviación. No nos permite determinar si el instrumento en cuestión posee error de colimación horizontal, vertical o ambos.

1. *Procedimiento simplificado:*

**Estación total Nikon DMT-322 (A)**

Direcciones horizontales

S ["]	16,3
-------	------

Ángulos verticales

S ["]	7,1
-------	-----

**Estación total Nikon DMT-322 (B)**

Direcciones horizontales

S ["]	4,4
-------	-----

Ángulos verticales

S ["]	4,9
-------	-----

Con la simple aplicación del procedimiento simplificado pudo observarse que una de las estaciones totales tenía una desviación típica muy por encima de la esperada para ambos círculos. Había claras evidencias de que poseía errores de colimación horizontal y vertical, aparentemente habría sufrido algún tipo de golpe o manejo no adecuado, sin embargo esto no pudo contactarse físicamente, y no existía ningún tipo de registro de ello.

Se aplicó el procedimiento completo para tener una valoración más significativa del rendimiento de ambas estaciones bajo condiciones de campo.

2. *Procedimiento completo:*

**Estación total Nikon DMT-322 (A)**

1- Direcciones horizontales

Resumen Serie	S ["]
1	15,4
2	15,9
3	15,2
4	15,7

S <sub>ISO-THEO-HZ</sub> ["]	15,5
------------------------------	------

*Test estadístico*

$\sigma$ poblacional ["]	5	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
S <sub>ISO-THEO-HZ</sub> ["]	15,5	S <sub>ISO-THEO-HZ</sub> ≤ σ	S <sub>ISO-THEO-HZ</sub> > σ

Estadístico	6
-------------	---

¿S<sub>ISO-THEO-HZ</sub> ≤ Estadístico?

Si	
No	X

2- Ángulos verticales

Resumen Serie	S ["]	δ ["]
1	6,1	12,6
2	6,5	13,0
3	6,2	12,5
4	6,4	11,9

S <sub>ISO-THEO-V</sub> ["]	6,3
-----------------------------	-----

δ ["]	12,5
S <sub>δ</sub> ["]	0,9

*Tests estadísticos*

$\sigma$ poblacional ["]	5	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
S <sub>ISO-THEO-V</sub> ["]	6,3	S <sub>ISO-THEO-V</sub> ≤ σ	S <sub>ISO-THEO-V</sub> > σ

Estadístico	6
-------------	---

¿S<sub>ISO-THEO-HZ</sub> ≤ Estadístico?

Si	
No	x

Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
δ = 0	δ ≠ 0

Estadístico	1,89
-------------	------

Si	
No	x

**Estación total Nikon DMT-322 (B)**

1- Direcciones horizontales

Resumen Serie	S ["]
1	3,3
2	3,8
3	3,2
4	3,7

SISO-THEO-HZ ["]	3,5
------------------	-----

Test estadístico

$\sigma$ poblacional ["]	5	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
SISO-THEO-HZ ["]	3,5	SISO-THEO-HZ $\leq \sigma$	SISO-THEO-HZ $> \sigma$

Estadístico	6
-------------	---

¿SISO-THEO-HZ  $\leq$  Estadístico?

Si	x
No	

2- Ángulos verticales

Resumen Serie	S ["]	$\delta$ ["]
1	2,7	1,6
2	3,0	0,7
3	2,8	1,1
4	2,7	1,4

SISO-THEO-V ["]	2,8
-----------------	-----

$\delta$ ["]	1,2
S <sub>δ</sub> ["]	0,4

Tests estadísticos

$\sigma$ poblacional ["]	5	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
SISO-THEO-HZ ["]	2,8	SISO-THEO-V $\leq \sigma$	SISO-THEO-V $> \sigma$

Estadístico	6
-------------	---

¿SISO-THEO-HZ  $\leq$  Estadístico?

Si	x
No	

Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

Estadístico	1,41
-------------	------

Si	x
No	

Los indicios dados en el procedimiento simplificado, quedaron reflejados con claridad al aplicar el procedimiento completo.

Se pudo apreciar en forma significativa que los valores obtenidos para ambos instrumentos, siguiendo exactamente el mismo procedimiento, teniendo las mismas precauciones, eran diferentes. Uno de ellos, reflejaba una precisión acorde a la esperada, mientras que el otro no. Los valores obtenidos estaban fuera del rango de desviación típica permitida.

Para la interpretación de los resultados, se llevaron a cabo contrastes estadísticos utilizando la desviación típica experimental total  $s$ , y el error de índice estimado mediante el cálculo.

La incertidumbre de medida de un ángulo para la estación total (A) expresada como una desviación típica es de 16" para las direcciones angulares horizontales y de 6" para ángulos verticales. El error de índice estimado calculado es de 13". Se rechazó la hipótesis nula de que la desviación típica experimental calculada  $s$  era más pequeña que el valor  $\sigma$  indicado por el fabricante (u otro valor predeterminado para ella). El error de índice era distinto de cero.

En el caso de la estación total identificada como (B), la desviación típica experimental  $s$ , obtenida pertenece a la desviación típica poblacional del instrumento  $\sigma$  con probabilidad estadística de 95%. Se aceptó la hipótesis nula.

Se realizaron también test estadísticos para comprobar si las desviaciones típicas experimentales de las muestras de los dos instrumentos, pertenecían a la misma población.

Test estadístico comparativo entre las dos muestras

1. Direcciones horizontales

Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$

¿Estadístico inferior  $\leq$  Cociente  $\leq$  Estadístico superior?

Estadístico inferior	0,49
Estadístico superior	2,02

Muestra 1	Muestra 2	Cociente	Se acepta	Se rechaza	
SISO-THEO-HZ ["]	15,5	$\tilde{S}$	3,5	4,43	x

2. Ángulos verticales

Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$



¿Estadístico inferior ≤ Cociente ≤ Estadístico superior?

Estadístico inferior	0,49
Estadístico superior	2,02

Muestra 1		Muestra 2		Cociente	Se acepta	Se rechaza
SISO-THEO-HZ ["]	6,3	5	2,8	2,25		x

Se rechazó la hipótesis nula, el valor del cociente entre las desviaciones típicas experimentales de ambas muestras era mayor que el estadístico superior para una F de 32 grados de libertad.

Las muestras de los dos instrumentos no pertenecen a la misma población.

A la luz de estos resultados, se consideró importante, elevar un informe, a las autoridades académicas correspondientes, y al personal técnico competente en el tema.

### CONCLUSIONES

Algunas estadísticas señalan que entre 60% y 80% de las fallasen una fábrica, en una empresa, en una institución, están relacionadas directamente con la falta de un adecuado control metrológico del instrumental empleado. Esto no solo se refiere al instrumento de medición, sino también al factor humano. Es decir se puede tener el mejor equipo, verificado y calibrado, pero si el personal no está capacitado para manejarlo, no podrá interpretar adecuadamente sus valores.

Medir exige utilizar el instrumento y procedimientos adecuados, además de saber leer los resultados. Pero también supone cuidar de que los equipos de medición no sufran golpes ni se vean expuestos a condiciones ambientales que los puedan dañar.

Si existe algo que como docentes universitarios debemos tener presente para transmitir con claridad y firmeza a nuestros alumnos, es el hecho de que los instrumentos de medición deben permitir mediciones confiables, y para ello deben ser usados adecuadamente.

A menudo se piensa que el empleo de normas y control de calidad dará lugar a más trabajo. Sin embargo, este no es el caso en absoluto. La correcta aplicación de las mismas, es generalmente bastante sencillo.

Los procedimientos de campo simplificados y completos descritos por las normas ISO 17123 pueden ser llevados a cabo por los docentes de las asignaturas de las carreras de Ingeniería que empleen instrumental óptico topográfico- geodésico y en especial por los docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería en Agrimensura, así como por el personal técnico especializado del Taller Laboratorio de Instrumental del Departamento de Agrimensura de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, los cuales, mediante estos

procedimientos pueden mantener el instrumental en condiciones mediante verificaciones y/o comprobaciones dentro de sus posibilidades, durante todo el ciclo lectivo.

Sería recomendable que cada instrumental corroborado llevara una planilla o un pequeño informe, para ser usado didácticamente por los profesores de las diferentes cátedras en el desarrollo de sus clases tanto teóricas como prácticas.

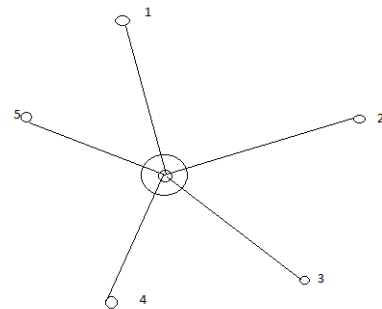
### APÉNDICE

#### ISO 17123-3:2001- Teodolitos

#### Medida de ángulos horizontales

Configuración del campo de observación:

Se observan 4 o 5 blancos situados aproximadamente en el mismo plano horizontal a una distancia de entre unos 100 m y 250 m, distribuidas dentro de lo posible a intervalos regulares.



Medidas:

Para el procedimiento completo se toman cuatro series de medidas bajo diferentes pero no extremas condiciones ambientales, compuestas de tres conjuntos de direcciones a los cinco blancos de puntería.

Los blancos se observan, en cada conjunto de medidas, en el círculo directo en el sentido de las agujas del reloj y en el círculo inverso en sentido contrario.

Se gira el limbo del instrumento unos 60° o físicamente la plataforma nivelante unos 120° después de cada conjunto de medidas.

Cálculos:

1. Cálculo de la media de las lecturas en círculo directo y círculo inverso para cada dirección

$$X_{i,j} = \frac{x_{i,jI} + x_{i,jII} \pm 180^\circ}{2} ; i=1, 2, 3 ; j = 1, 2, 3, 4$$

2. Reducción de las lecturas promedio a la dirección correspondiente al primer blanco

$$X'_{i,j} = X_{i,j} - X_{i,1} ; i=1, 2, 3 ; j = 1, 2, 3, 4$$

3. Cálculo de los valores promedio de las direcciones resultantes de los tres conjuntos de medidas promedio a cada blanco

$$\bar{X}_j = \frac{x'_{1,j} + x'_{2,j} + x'_{3,j}}{3}, \quad j = 1, 2, 3, 4$$

4. Cálculo de la diferencia entre los valores promedio y el promedio de cada dirección en cada conjunto de lecturas. Cálculo de los residuos correspondientes

$$d_{i,j} = \bar{X}_j - x'_{i,j}; \quad i=1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4$$

$$\bar{d}_i = \frac{d_{i,1} + d_{i,2} + d_{i,3} + d_{i,4}}{4}; \quad i=1, 2, 3$$

$$r_{i,j} = d_{i,j} - \bar{d}_i; \quad i=1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4$$

$$\sum_{j=1}^4 r_{i,j} = 0; \quad i=1, 2, 3$$

$$\sum r^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 r_{i,j}^2$$

5. Para tres conjuntos de observaciones a blancos cinco para cada serie el número de grados de libertad es:

$$v_i = (3-1) * (5-1) = 8$$

y la desviación típica experimental  $s$  de una dirección angular tomando un conjunto y observada en círculo directo y en círculo inverso viene dada por:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{8}}$$

6. Cálculo de la desviación típica experimental  $s$  de una dirección angular promedio del círculo directo y círculo inverso

$$v = 4 * v_i = 32$$

$$s = s_{ISO-THEO-HZ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}}$$

Test estadísticos

Pregunta	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$

$$a) s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v)}{v}}; \quad s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(32,32)}{32}}$$

$$s \leq \sigma * 1,20$$

$$b) \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v,v)} \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v,v);$$

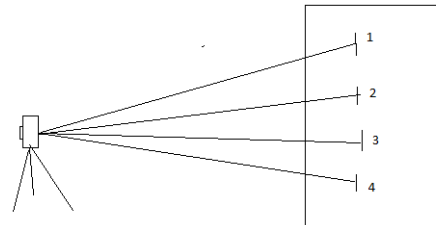
$$\frac{1}{F_{0,975}(32,32)} \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq F_{0,975}(32,32)$$

$$0,49 \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq 2,02$$

### Medida de ángulos verticales

Configuración del campo de observación:

El teodolito debe estacionarse a una distancia aproximada de 50 m de un edificio alto. En el edificio se fijan placas de puntería, para establecer un rango de cobertura de un ángulo vertical de aproximadamente 30°



Medidas:

Para el procedimiento completo se toman cuatro series de medida bajo diferentes pero no extremas condiciones ambientales, compuestas de tres conjuntos de direcciones a los cuatro blancos de puntería.

Los cuatro blancos se observan en cada conjunto en el círculo directo en el sentido de 1 a 4 y en el círculo inverso en sentido de 4 a 1.

Cálculos:

1. Cálculo de la media de las lecturas en círculo directo y círculo inverso para cada blanco las cuales no vienen afectadas por el error de índice vertical  $\delta$

$$x'_{i,j} = \frac{x_{i,jI} - x_{i,jII} + 360^\circ}{2}; \quad i=1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4$$

2. Cálculo del error de índice vertical  $\delta$  para cada una de las cuatro series.

$$\delta_i = \frac{1}{nxt} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \frac{x_{ijI} - x_{ijII} + 360^\circ}{2}$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i}{4}$$

3. Cálculo de los valores promedio de los ángulos verticales de los tres conjuntos de medidas promedio a cada blanco

$$\bar{X}_j = \frac{x'_{1,j} + x'_{2,j} + x'_{3,j}}{3}, \quad j = 1, 2, 3, 4$$

4. Cálculo de los residuos correspondientes

$$r_{i,j} = X'_{i,j} - \bar{X}_{1,j} \quad i=1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 r_{i,j} = 0$$

$$\sum r^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 r_{i,j}^2$$

5. Para tres conjuntos de observaciones a blancos cinco para cada serie el número de grados de libertad es:

$$v_i = (3-1)*(5-1) = 8$$

y la desviación típica experimental  $s$  de una dirección angular tomando un conjunto y observada en círculo directo y en círculo inverso viene dada por:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{8}}$$

6. Cálculo de la desviación típica experimental  $s$  de una dirección angular promedio del círculo directo y círculo inverso

$$v = 4 * v_i = 32$$

$$s = s_{ISO-THEO-v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}}$$

Test estadísticos

Pregunta	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$
c)	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

$$a) \quad s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v)}{v}}; \quad s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(32,32)}{32}}$$

$$s \leq \sigma * 1,20$$

$$b) \quad \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v,v)} \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v,v);$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(32,32)} \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq F_{0,975}(32,32)$$

$$0,49 \leq \frac{s^2}{\sigma^2} \leq 2,02$$

$$3. \quad |\delta| \leq s_\delta * t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v);$$

$$|\delta| \leq s_\delta * t_{0,975}(32)$$

$$s_\delta = \frac{s}{\sqrt{12 * \sqrt{4}}} = \frac{s}{\sqrt{48}}; \quad t_{0,975}(32) = 2,04$$

$$|\delta| \leq s * 0,3$$

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Córdoba en sus 400 años de vida. - 19 de junio 1613 - 19 de junio de 2013 -

## REFERENCIAS

- [1] Chueca Pazos M.; Herráez Boquera J.; Verné Valero J.L. (1996). Tratado de Topografía. Tomo I: Teoría de errores e instrumentación. Ed. Paraninfo. Madrid. España.
- [2] García-Balboa, J.L.; Ruiz-Armenteros, A.M.; Mesa-Mignorance, J.L. (2010). Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico. En: I Congreso Internacional sobre Catastro Unificado Multipropósito (CICUM). Universidad de Jaén. Jaén, España.
- [3] García-Balboa, J.L.; Ruiz-Armenteros, A.M.; Mesa-Mignorance, J.L. (2011). Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica. En: Mapping Interactivo – Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, ISSN: 1131-9100, Núm.149, pp. 6-27
- [4] García-Balboa, J.L.; Reinoso-Gordo, J.F.; Ruiz-Armenteros, A.M. (2012). Metrología y Calibración de equipos en Información Geográfica. En: Experto Universitario en Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª edición). Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª edición). Universidad de Jaén. Jaén, España.
- [5] ISO (2001). International Standard ISO 17123-3:2001(E). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments- Part 3: Theodolites. International Standardization Organization.
- [6] JCGM (2008). JCGM 100:2008. GUM 1995 con ligeras correcciones. Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de incertidumbre de medida. Primera Edición digital en español (traducción 1ª Ed. Sept. 2008 original en inglés). Centro Español de Metrología (CEM). España.

- [7] JCGM (2008). JCGM 200:2008. Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 3ª Edición en español 2008, traducción de la 3ª edición del VIM 2008. Centro Español de Metrología (CEM). España.
- [8] Márquez A. (2010). La Normativa DIN 18723 y su aplicación en la Certificación de estaciones Totales, Teodolitos y Niveles. BSEE Columbia University. N.Y. - MSEE UCV Caracas MECINCA-Caracas.Venezuela.  
[www.mecinca.net/papers/paperDIN.doc](http://www.mecinca.net/papers/paperDIN.doc)
- [9] Mingo O.; Ortiz Basualdo E. (1996). CÁLCULO DE COMPENSACIÓN de mediciones topográficas. Buenos Aires, Argentina.
- [10] Nikon DTM-322. Estación Total. Manual de Instrucciones. Disponible en [www.trimble.com](http://www.trimble.com)
- [11] Sevilla Anton, C.; García-Asenjo, L.; Bisbal Martín, J (2008). La normalización en el sector del instrumental topográfico. En: Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topografía. IX Congreso Nacional Top-Cart. FIG-Symposia Com 2&3. Valencia, España
- [12] Zeiske K. (2001). Current Status of the ISO Standardization of Accuracy Determination Procedures for Surveying Instruments. En: FIG Working, Seoul Korea.