

EL TEODOLITO ELECTRÓNICO COMO INSTRUMENTO PARA LA ALINEACIÓN DE COMPONENTES DEL SATÉLITE

María Victoria Bilbao González
e-mail: mbilbao@abae.gob.ve

RESUMEN: *Este artículo trata sobre el teodolito electrónico, el cual es un instrumento de medición imprescindible que se utiliza en las pruebas de alineación durante los procesos de fábrica y puesta en órbita de un sistema satelital, para asegurar que la estructura del satélite y sus componentes a bordo sean confiables durante su vida útil en el espacio, garantizando que todo el sistema funcione correctamente. Este instrumento permite realizar la medición de ángulos tanto verticales como horizontales con gran precisión y reflejarlos en la pantalla para luego guardar en la memoria o descargar los datos en la computadora donde se encuentre conectado. Este posee un accesorio llamado trípode que le garantiza una estabilidad, está conformado por tres patas, las cuales son regulables para así poder tener mejor manejo al momento de subir o bajarlas.*

PALABRAS CLAVE: Alineación, satélite, teodolito electrónico.

1 INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de ensamblaje de un satélite se debe garantizar que ciertos componentes como sensores, impulsores, carga útil, la estructura y antenas estén en la posición exacta para los cuales fueron diseñados. Para garantizar que esto suceda se deben realizar las pruebas de alineación. Dichas pruebas se ejecutan durante el ensamblaje, antes y después de las pruebas dinámicas y luego que el satélite es transportado al sitio de lanzamiento, ya que existe la posibilidad que los componentes se muevan de su posición original y afecte el rendimiento, la vida útil o incluso causen una falla total del satélite.

Uno de los equipos principales de las pruebas de alineación es el teodolito, el cual es un instrumento de medición y de observación, que fue diseñado especialmente con fines de topografía civil para determinar el azimut, el rumbo o el norte. Normalmente, tiene un pequeño telescopio conectado a los dispositivos que miden ángulos y tiene una variedad de piezas móviles. Este equipo es utilizado en diferentes áreas debido a su calidad y precisión; algunas son: en construcción de obras, aerolíneas ya que se dice que los primeros instrumentos de medición y control de mástiles de reactor fue este equipo, en puestos de vigilancia para localizar a los animales en el mar y en el área satelital.

2 ANTECEDENTES

Aunque sus orígenes no están claros, el teodolito parece remontarse al siglo XVI, aunque en diferentes fuentes se puede encontrar atribuciones del invento al Inglés Leonard Digges y Alemán Joshua Habermel. Se debe reconocer que este equipo ha desempeñado un papel formidable en proyectos de ingeniería civil y los avances en todo el mundo. Muchas carreteras, ferrocarriles y vías fluviales se despejaron con la ayuda de este equipo, un ejemplo es que en el siglo XVII, el ahora conocido Canal du Midi en Francia fue construido por Pierre-Paul Riquet, con la ayuda de un teodolito, este se utilizó para marcar el mejor camino y canalizar el agua hacia el canal mediante la búsqueda de la tierra llana. Para esa época fue toda una hazaña, ya que ese conducto conecta el Océano Atlántico con el Mediterráneo.

En 1571, apareció por primera vez la palabra “theodolitus”, la cual se encontraba en el libro Pantometría escrito por Leonard Digges, y publicado por su hijo Thomas Digges, en Londres. En dicha obra aparece descrito el instrumento, el cual decía que constaba de un círculo horizontal graduado en 360° que podía girar y con el que se pueden medir ángulos horizontales, Digges también describe lo que él denomina “Topographical instrument” que lleva montado un semicírculo graduado con una aliada, con el que también se pueden medir ángulos verticales [1].

Leonard Digges fue un matemático y topógrafo muy conocido, que fue acreditado por muchos, por sus inventos como el teodolito y el telescopio, fue un hombre popular de la ciencia a través de sus muchas otras publicaciones en inglés.

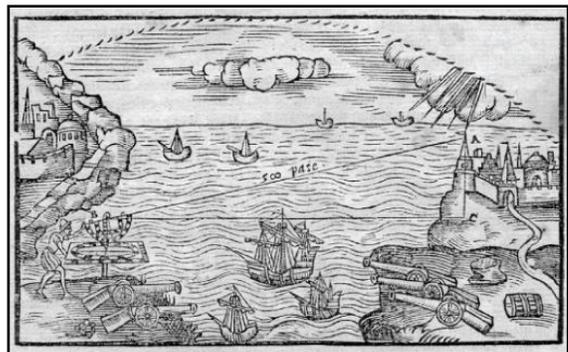


Figura 1. Dibujo del libro pantometría [2].

Alrededor de 1785, Jesse Ramsden Inglés, matemático y astronómico; proporcionó un teodolito de treinta y seis (36) pulgadas para el General William Roy, este tardó tres años para su construcción, tenía un círculo base de 914mm y su peso total era de 200 libras. El instrumento fue utilizado para una nueva encuesta de la distancia entre Greenwich, Londres y Paris; en la actualidad se encuentra en el Museo de la Ciencia de Londres. Ramsden fue elegido como miembro de la Royal Society en 1786, y fue galardonado con la Medalla Copley en 1795 por sus instrumentos, también hizo importantes contribuciones a los campos como la óptica y la electrostática.

La ilustración que aparece en la figura 2 fue realizada en un campamento de Hassler, se dice que puede haber aparecido en el año 1800. El teodolito que aparece en la imagen fue realizado por Ferdinand Hassler, era de 24 pulgadas, pesaba 200 libras y se encontraba dentro de una tienda de campaña.



Figura 2. Campamento de Hassler [3].

Aproximadamente en 1836 Inglaterra, se fabricó el gran teodolito, que se muestra en la figura 3, pesaba 300 libras y tenía un círculo de treinta (30) pulgadas de diámetro. Este tenía una plataforma construida a su alrededor, fue tan bien construido que se mantuvo en uso continuo desde su momento de la compra en el año 1836 hasta noviembre de 1873, cuando fue golpeado por un tornado mientras estaba en uso en Georgia y sufrió un daño irreparable.

Entre 1849 y 1881 apareció el teodolito de William Würdemann de seis (6) pulgadas, era minúsculo en comparación con el gran teodolito, ver figura 4. El material era latón con círculos plateados, el telescopio era de once (11) pulgadas de largo y el círculo horizontal de seis (6) pulgadas de diámetro. El círculo vertical se leía con la ayuda de una lupa, por un vernier; este era la escala auxiliar que permite una lectura precisa de las partes fraccionarias de la escala principal [3].



Figura 3. Gran teodolito [3].



Figura 4. Teodolito de seis pulgadas [3].

En 1926 fue tomada una foto que aparece en la figura 5, donde se muestra un teodolito montado cuidadosamente en la parte superior de un tanque de agua en Nueva Jersey.



Figura 5. Teodolito montado en un tanque de agua [3].

En el siglo XX, Heinrich Wild, Ruso, inventor, diseñador y fundador de Wild Heerbrugg y en la actualidad conocido como Leica Geosystems; construyó teodolitos que se hicieron populares entre los topógrafos, algunos de los instrumentos son: Wild T2, T3 y A1. Wild en 1932 decidió dejar la compañía Heerbrugg y ser un diseñador independiente [4].

3 EL TEODOLITO

Es un instrumento de medición mecánico-óptico que sirve para medir ángulos verticales y horizontales con gran precisión. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría, se puede medir distancias y con otras herramientas auxiliares también se pueden medir desniveles. La taquimetría se puede definir como la parte de la topografía que se ocupa de los procedimientos existentes para confeccionar o levantar un plano por medio de diversos instrumentos como lo son los teodolitos, taquímetros y distanciómetros. Un distanciómetro es un instrumento electrónico de medición que calcula la distancia desde el dispositivo hasta el siguiente punto al que se apunte con el mismo.

Básicamente el teodolito es un telescopio montado sobre un trípode y con dos círculos graduados, uno vertical y otro horizontal, con los que se miden los ángulos con ayuda de lentes, posee además un sistema

de niveles que tiene la función de verificar que la plataforma se encuentre completamente horizontal [5].

Este equipo es portátil y está hecho con fines topográficos e ingenieriles, sobre todo en las triangulaciones. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría, puede medir distancias. Algunas veces se pueden leer o escuchar a los topógrafos referirse a los teodolitos como tránsito. El tránsito es en realidad un subtipo del teodolito que se desarrolló mucho más tarde que el teodolito. Originalmente, el tránsito era un teodolito con un telescopio en movimiento montado en él. El telescopio de un teodolito de tránsito rota 360° en el plano vertical, el propósito del mismo es de doble control para minimizar los errores.

Los teodolitos de tránsito son considerados menos precisos que los demás, porque no cuentan con características como la ampliación de escala o de las medidas en micrómetros. Se utilizan comúnmente en sitios de construcción, ya que son relativamente livianos y se pueden desplazar con facilidad. Aunque hay algunos teodolitos de tránsito de escala graduada que miden ángulos horizontales y verticales, mientras que otros sólo miden horizontalmente.

También existe el término denominado taquímetro o teodolito-taquímetro, este es uno de los instrumentos más utilizados en trabajos topográficos. Se trata de un instrumento universal, ya que a los elementos de medida de ángulos acimutales y verticales propios del teodolito, incorpora la posibilidad de medir distancias. De esta forma, es posible determinar las coordenadas de cualquier punto visado con relación al punto de estación. [6]

Algunas características propias y diferencias entre teodolito y taquímetro son las siguientes: el teodolito es el instrumento más adecuado para el método de intersección, debido a su capacidad de medir ángulos con gran precisión. El taquímetro se emplea ventajosamente en los métodos de itinerario y de radiación, por su posibilidad de medir distancias. El esquema del taquímetro es muy parecido al del teodolito mencionado anteriormente, con la única diferencia que el retículo del anteojo es estadimétrico en este caso. La estadimetría es un método aproximado de medición de distancias.

En la actualidad existen otros instrumentos modernos derivados del teodolito clásico como el teodolito electrónico y la estación total, que básicamente son teodolitos con la diferencia de que poseen un display para la lectura digital del ángulo. El display es el modo de pantalla donde se muestran datos de lectura e ingreso.

4 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CAMPO DE APLICACIÓN

- **Teodolitos de obra:** son instrumentos de escasa precisión (+/-30'), se les utiliza en replanteo de obra

vial y civil, están diseñados para resistir el trato en obra.

- **Teodolitos topográficos:** son instrumentos de gran precisión (+/-1") se les utiliza en replanteos y levantamientos topográficos. Es la gama más variada y de mayor cantidad de modelos se les construye en acero y aluminio para mayor duración.
- **Teodolitos geodésicos:** son de altísima precisión leen hasta la décima de segundo pudiéndose apreciar la centésima. Los últimos modelos son exclusivamente electrónicos. Se les utiliza en poligonales y triangulaciones, posicionamiento de puntos, entre otros.
- **Teodolitos astronómicos:** son los más precisos de la gama, leen igual que los anteriores la décima apreciando la centésima pero con mucho más aumentos y mayor nitidez y captación de luz estelar. Son de gran peso, ya que generalmente se les debe colocar sobre bases estables de hierro o cemento. Se les utiliza en astrometría, geodesia astronómica, entre otros.
- **Teodolitos meteorológicos:** están diseñados de tal manera que facilita la ubicación de un globo piloto o de radiosonda durante el ascenso. Con la ubicación del globo y la tasa de ascenso puede calcularse la velocidad y dirección del viento. El ángulo de elevación es el ángulo con respecto al horizonte, 0° indica la posición del horizonte y 90° indica la posición del cenit o punto ubicado verticalmente sobre el observador. El ángulo de azimut es el ángulo con respecto al norte geográfico, este ángulo es igual a cero hacia el norte, 90° hacia el este, 180° hacia el sur y 270° hacia el oeste.

5 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA LECTURA EFECTUADA

- **Teodolitos repetidores:** estos han sido fabricados para la acumulación de medidas sucesivas de un mismo ángulo horizontal en el limbo (círculos graduados para medir ángulos en grados, minutos y segundos, pudiendo así dividir el ángulo acumulado y el número de mediciones). Miden los ángulos en una escala graduada. La medición del ángulo se promedia entonces dividiendo el total de estas lecturas por el número de lecturas tomadas. Por lo general, se utilizan en lugares donde la base no es constante o donde el espacio es muy limitado para utilizar otros instrumentos. Los teodolitos de repetición se consideran más precisos que otros tipos de teodolitos, porque los errores se reducen al comparar los valores de las lecturas múltiples en lugar de una sola.

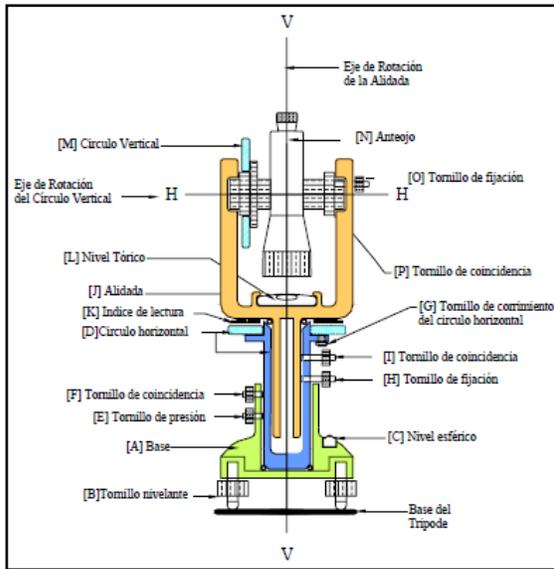


Figura 6. Teodolito repetidor [8].

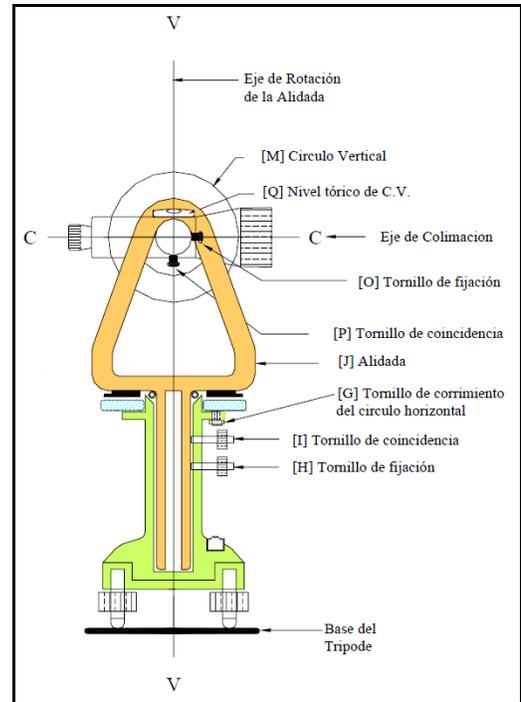


Figura 7. Teodolito reiterador [8].

- **Teodolitos reiterados:** llamados también direccionales, estos tienen la particularidad de poseer un limbo fijo y sólo se puede mover la alidada. La alidada es una montura en forma de Y, que puede girar por su eje vertical (eje de rotación) y sostiene en sus extremos al eje horizontal, al cual van fijados el anteojo y el círculo vertical. El limbo es muy exacto y sus lecturas van desde 10" hasta 1/10 segundos, de acuerdo con el modelo. La precisión angular puede ser aumentada por el método de reiteración [7].

Algunas diferencias y semejanzas entre los teodolitos repetidores y los reiterados son las siguientes: si se observa las figuras 6 y 7 se puede notar que el círculo del repetidor (D) puede girar alrededor del eje vertical. Para la fijación del círculo a la base se dispone del tornillo de presión (E), y para pequeños movimientos de colimación se utiliza el tornillo de coincidencia (F). Mientras que círculo de del reiterador está fijo a la base y puede ser deslizado o rotado mediante un tornillo de corrimiento (G). Para la fijación del círculo a la alidada y para los pequeños movimientos de colimación en ambos teodolitos, existen los tornillos de fijación (H) y coincidencia (I). La alidada (J) gira alrededor del eje vertical de rotación. Sobre la alidada van los índices de lectura (K) y el nivel tórico (L) del círculo horizontal; el nivel tórico consiste en un tubo de vidrio, lleno casi su totalidad de éter, quedando una burbuja de aire mezclada con los vapores del líquido. Sobre los montantes de la alidada se apoyan el círculo vertical (M) y el anteojo (N). El anteojo se fija a la alidada mediante el tornillo de fijación (O), y los pequeños movimientos de colimación se realizan con el tornillo de coincidencia (P) [8].

- **Teodolito brújula:** como dice su nombre lo indica, tiene incorporada una brújula de características especiales, ver figura 8. Éste tiene una brújula imantada con la misma dirección al círculo horizontal. Sobre el diámetro 0 a 180 grados de gran precisión.



Figura 8. Teodolito analógico brújula. Tomado de [9].

- **Teodolito electrónico:** se utiliza para medir el ángulo horizontal, ángulo vertical y registrar los datos de los resultados.

6 TEODOLITO ELECTRÓNICO

Es la versión del teodolito óptico, con la incorporación de electrónica para hacer las lecturas del círculo vertical y horizontal, desplegando los ángulos en una pantalla y es más fácil su uso. Este equipo se ha convertido en el instrumento estándar en la industria aeroespacial, así como para la alineación de sistemas y pantalla de visualización frontal de aviones de combate.

Actualmente existen en el mercado diferentes marcas comerciales de fabricantes de teodolitos y trípodes, algunas son las siguientes: LEICA (considerados de alta precisión angular), SOKKIA, SOUTH, NIKON, TOPCON, FOIF, KOLIDA, entre otras.

6.1 PARTES DE UN TEODOLITO ELECTRÓNICO

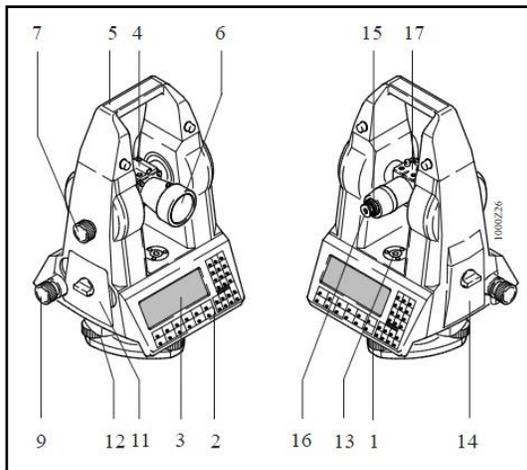


Figura 9. Descripción del teodolito electrónico (versión TM) [10].

Descripción de partes del teodolito electrónico que aparecen en la figura 9:

1. Tornillo de nivelación.
2. Teclado.
3. Pantalla.
4. Dispositivo de puntería.
5. Asa para el transporte.
6. Anteojo.
7. Tornillo para movimiento vertical.
9. Tornillo para movimiento horizontal.
11. Compartimiento para baterías.
12. Botón giratorio para fijación de la base nivelante.
13. Nivel de burbuja.
14. Compartimiento para tarjeta de memoria.
15. Anillo de enfoque.
16. Ocular intercambiable.
17. Adaptador para distanciómetro superponible [10].

6.2 TRÍPODE

El trípode es un instrumento que no se considera parte del teodolito, pero sí un accesorio que le garantiza una estabilidad y sirve para soportar un equipo de medición como un teodolito o un nivel. Está conformado por tres patas, las cuales son regulables para así poder tener mejor manejo al momento de subir o bajarlas y en su parte superior es circular. En la actualidad están hechos con un material de aleación de aluminio o madera y su longitud puede variar, ver figuras 10 y 11.



Figura 10. Trípode de aluminio [11].



Figura 11. Trípode de madera, marca TOPCON [12].

6.3 INSTALACIÓN Y NIVELACIÓN DEL TEODOLITO

Antes de la utilización de este equipo se debe realizar la instalación del trípode al teodolito y luego la nivelación, a continuación se explica paso por paso como se realizan estas operaciones.

Primero se realiza la instalación del trípode: las tres patas del trípode deben colocarse a una distancia suficiente como para que tenga estabilidad, no muy grande porque puede afectar la movilidad del operador. Luego el siguiente paso es el ensamblaje del teodolito en el trípode: se saca el teodolito del estuche, tomándose por el asa, hasta ser trasladado para proceder a enroscarlo en la parte superior del trípode hasta que quede firme, como aparece en la figura 12.

Y por último la nivelación del teodolito: inicialmente se debe verificar que la plataforma teodolito-trípode esté lo más horizontal posible, para luego proceder a nivelar el teodolito manipulando los tornillos de nivelación que se encuentran en la parte inferior. Una vez ubicados frente al teodolito, el operador observa el nivel de burbuja mientras mueve los tornillos como se muestra en la figura 13, luego de que ya se encuentre casi nivelado, se busca en la pantalla del teodolito la opción de nivelación digital y se nivela usando de la misma manera los tornillos pero esta vez observando los valores y la burbuja representada en la pantalla digital.

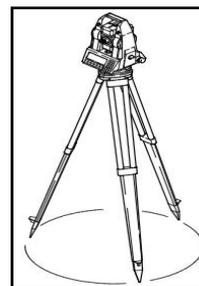


Figura 12. Teodolito [13].

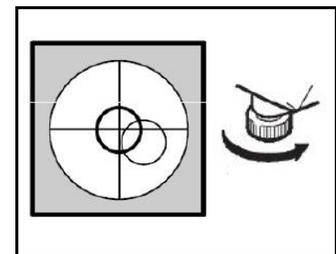


Figura 13. Nivelación del teodolito

6.4 VENTAJAS TEODOLITO ELECTRÓNICO

Algunas de las ventajas que posee el teodolito electrónico, son las siguientes:

- Fácil lectura de los ángulos, ya que estas medidas son mostradas en forma digital y con indicación de las unidades.
- Más ligeros y fáciles de trasladar de un lugar a otro.
- Pantalla a color, claramente visible para el operador a la hora de utilizar el instrumento.
- Tres tipos de conexiones básicas para conectarlo a una computadora, las cuales son: conexión por cable vía T-LINK, conexión por cable directa a través del cable de descarga USB y conexión bluetooth.
- Leer y registrar automáticamente ángulos horizontales y verticales, eliminando de esta manera errores de apreciación.
- Mucho más fácil su fabricación, ya que requiere menos piezas con parados con los antiguos.
- Mejora de la precisión respecto a un teodolito óptico mecánico del mismo error instrumental, ya que se elimina el error de estimación.
- Posibilidad de realizar cálculos de distancias reducidas y coordenadas, al instante de realizar las mediciones angulares y de distancia.
- Registro de los valores medidos y calculados en la memoria del instrumento, tarjetas de memoria o colectores externos, eliminando los errores de escritura en la libreta de campo. Los datos son transferidos directamente a la laptop para su posterior procesamiento.
- Programas de prueba, que ayudan a verificar la calibración y estado del equipo.
- Algunos poseen accesorios de auto colimación integrados. El auto colimador: es un instrumento medidor de pequeños ángulos mediante técnicas ópticas, de gran resolución y exactitud aunque con rango de medida muy reducido.

7 PRUEBAS DE ALINEACIÓN

Es un proceso importante para asegurar que el satélite, sus equipos y/o componentes a bordo sean confiables. Su objetivo es garantizar que este funcione correctamente durante su puesta en órbita y vida útil, para ello es necesario inspeccionar y ajustar la estructura principal del satélite en tierra y sus equipos que requieren la alta precisión en la instalación durante el ensamblaje, la integración y la fase de prueba.

Las pruebas de alineación participan en los trabajos de ensamblaje e integración del satélite, ya que posee un equipo con alto rendimiento, como lo es el teodolito electrónico, el cual es uno de los principales instrumentos de medición en la industria satelital.

8 CONCLUSIONES

En el ámbito espacial se hace uso del teodolito electrónico como un instrumento para la determinación de ángulos verticales y horizontales. El desarrollo tecnológico e informático ha permitido que las máquinas realicen las labores de los hombres, pero a pesar de su rapidez y eficacia siempre será el hombre quien tome la última decisión.

Gracias al avance de la tecnología en la actualidad contamos con la disposición de los teodolitos electrónicos, que nos permiten tener más seguridad al momento de dar la continuidad del proceso de ensamblaje e integración de los satélites artificiales.

9 REFERENCIAS

- [1] “El Teodolito”, [En línea]. Disponible: <http://tierradetopos.blogspot.com/2009/11/el-teodolito.html>
- [2] “A Field Test Engineering Company”, [En línea]. Disponible: <http://www.accidentsurveys.com/Surveyors.html>
- [3] “Instituto Nacional de Estándares y Tecnología Museo Virtual”, [En línea]. Disponible: <http://celebrating200years.noaa.gov/theodolites/welcome.html>
- [4] D. Wallis, “History of Angle Measurement”, pp.8-17.
- [5] N. Chacón, “Unidad 1: Principios de topografía”, Escuela de Ingeniería Civil-UTPL, pp. 4.
- [6] A. G. Martín, *Topografía Básica para Ingenieros*, Universidad de Murcia, 1994.
- [7] “Teodolito (Tránsito)”, pp.50 [En línea]. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/68/5/43 - 4 Capi 4.pdf>
- [8] L. Casanova, “Instrumentos Topográficos. Capítulo 2”, pp. 16 [En línea]. Disponible: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/Inova/Archivos/FO RMATO-PDF/CAPITULO-2.pdf>
- [9] *Manual de Instrucciones, Teodolito Brújula*, DQL6.
- [10] *Manual de Empleo Leica TPS-System 1000*, versión 2.4, Leica Geosystems, pp.18, Suiza, 2006.
- [11] “Leica GEosystems Metrology Products”, catalog version 1.2, Hexagon Metrology, pp 43.
- [12] “Catálogo Topográfico”, GEOTOP, pp 9, Lima Perú, 2011.
- [13] *Manual de Empleo Teodolito T105/T110*, versión 1.3, Leica Geosystems, Suiza, 2004 [En línea]. Disponible: <http://www.leica-geosystems.com>