



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA COLEGIO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE MEDICIONES SIN
REFLECTOR EN ESTACIONES TOTALES**

TESIS

Que para obtener el Título de:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA**

Presenta:

LEONARDO REYES NARANJO

Asesor y Director de Tesis:

ING. MARCOS ARELLANO DÍAZ

Agradecimientos.

A mi Padre.

Por haberme introducido y concedido una sólida base de lo que significa ser un Ingeniero Topógrafo, por su exigencia, dedicación, crítica, consejos e interesantes debates mantenidos de como ejercer esta profesión con responsabilidad.

A mi Madre.

Por su apoyo incondicional, su incansable entusiasmo y alegría, por siempre estar cuando necesitaba su ayuda, además de animarme constantemente a terminar esta tesis cuando parecía que no tendría fin.

A mis profesores.

De toda mi carrera profesional, por compartir sus conocimientos, experiencias y sobre todo su amistad, todos aportaron para lograr para mi desarrollo académico.

En general a todos mis amigos que me han acompañado durante mi formación profesional y humana.

Gracias.

Leonardo Reyes Naranjo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 NOCIONES GENERALES	4
1.1 Definición y Objetivos de la Topografía.....	5
1.2 Antecedentes Históricos de la Topografía.....	7
1.3 Mediciones en la Topografía	11
1.4 Exactitud y Precisión en las Mediciones Topográficas.....	17
1.5 Errores y Equivocaciones.....	19
1.5.1 Clasificación de Errores	19
1.5.2 Fuentes de Error	20
1.5.3 Actividades Complementarias.....	21
CAPÍTULO 2 MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE DISTANCIAS	23
2.1 Antecedentes de los Instrumentos EDM	25
2.2 Fundamentos de la Medición Electrónica de Distancias	29
2.3 Precisiones en Instrumentos EDM	32
2.4 Errores en las Mediciones EDM.....	34
2.5 Estación Total	35
CAPÍTULO 3 MEDICIÓN DE DISTANCIAS SIN REFLECTOR	38
3.1 Confiabilidad de las Mediciones sin Reflector	40
3.2 Situaciones y Condiciones con Incertidumbre en las Mediciones sin Reflector	41
3.3 Fuentes de Error y su Administración	44
3.4 Descripción del Equipo Topográfico Utilizado	46
3.4.1 Comprobación y Ajuste de la Estación Total	49
3.5 Errores en el distanciómetro de la Estación Total	64

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE MEDICIONES SIN REFLECTOR CON ESTACIONES TOTALES	66
4.1 Metodología	69
4.2 Mediciones a Diferente Magnitud de Distancia	69
4.3 Incertidumbre Debida a la Divergencia del Haz	71
4.4 Mediciones con Angulo de Incidencia	76
4.5 Mediciones a Objetivos de Diversos Materiales.....	80
4.6 Mediciones A Esquinas.....	83
CONCLUSIÓN.....	85
BIBLIOGRAFÍA	87

TÍTULO

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE MEDICIONES SIN REFLECTOR EN ESTACIONES TOTALES

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación expone el grado de confiabilidad de las mediciones sin reflector realizadas con Estaciones Totales, esta tecnología de medición se adiciono recientemente a dichos instrumentos lo cual agrego una mayor versatilidad al equipo; últimamente la gran mayoría de fabricantes de Estaciones Totales incluyen por defecto en todos sus instrumentos la capacidad de realizar mediciones sin necesidad de un reflector.

La característica principal de este tipo de mediciones es que se pueden realizar prácticamente sobre cualquier superficie, lo cual representa el realizar mediciones en objetivos donde es imposible acceder para colocar un prisma o una diana reflectante, ya sea por zonas peligrosas, zonas inaccesibles o por situaciones restrictivas; la medición sin reflector es una ventaja que puede aumentar la productividad siempre y cuando seamos conscientes de que este tipo de mediciones esta propensa a diversas variables que afectan la confiabilidad de dichas mediciones, y que por su propia naturaleza al ser mediciones sin reflector probablemente no puedan ser comprobadas, por lo cual debemos realizarlas con responsabilidad para obtener la mayor certeza en dichas mediciones.

La información relacionada con las mediciones sin reflector es escaza, así como, la información relacionada a las mediciones con reflector, para tener confianza en las mediciones que realizamos es necesario que tengamos conocimiento de los principios de medición que emplean los distanciómetros y comprender las ventajas y desventajas de cada uno, así como las fuentes de error en cada medición realizada.

Además, se debe prestar atención a la seguridad debido al manejo de diversas clasificaciones de laser que se emplean para las mediciones, cada laser se clasifica diferente y algunos tienen restricciones que deben respetarse para evitar poner en riesgo nuestra salud.

Poseer una Estación Total representa ser competitivo en el ámbito laboral debido a las ventajas que obtenemos con este instrumento, por ejemplo, reducción de tiempos de trabajo. Gran parte de los trabajos que se llevan a cabo dentro de la Topografía se ejecutan con ayuda de una Estación Total, en consecuencia es de vital importancia operar correctamente y responsablemente el equipo, y mantener en condiciones óptimas nuestras Estaciones Totales, debemos comprender y aceptar que estos instrumentos no son infalibles, por lo tanto no están exentos de errores, y que por sí solos no harán todo el trabajo, una combinación de una mala operación y un mantenimiento inadecuado puede ocasionar errores graves en nuestro trabajo.

OBJETIVO GENERAL

Identificar en que situaciones se ve afectada la confiabilidad en las mediciones sin reflector realizadas comúnmente en trabajos topográficos, resaltar las restricciones de seguridad con el manejo de diferentes clases de láser, a su vez señalar como mantener los instrumentos con un mantenimiento adecuado, esto con la finalidad de poder recomendar técnicas de medición adecuadas aplicadas a mediciones sin reflector para garantizar su confiabilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer los fundamentos de la medición electrónica de distancias.
- Identificar las fuentes de error en las mediciones electrónicas de distancia sin reflector.
- Identificar situaciones donde la confiabilidad de las mediciones se ve afectada.

- Conocer y aplicar las revisiones a los instrumentos para que estén en óptimas condiciones, con la finalidad de que se realicen las mediciones dentro de los estándares marcados.
- Obtener y analizar los resultados de las mediciones realizadas con los diferentes equipos de medición electrónica, para determinar la incertidumbre bajo diferentes condiciones de uso y realizar correctamente las mediciones sin reflector.

CAPITULO 1

NOCIONES

GENERALES

1.1 Definición y Objetivos de la Topografía

El término Topografía, procede del griego topos (lugar) y graphen (describir), y se puede definir como la descripción de un lugar.

Para Montes de Oca, la Topografía, *“Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.”*

Según Ibarra define Topografía como: *“La Topografía puede definirse como la disciplina que tiene bajo su responsabilidad la captación de información física y su procesamiento numérico, para lograr la representación geométrica, ya sea en forma gráfica o analítica, del espacio físico que nos rodea.”*

De las definiciones anteriores podemos entender la Topografía como; La ciencia, la técnica y el arte para obtener, procesar y representar características de la tierra, sobre y por debajo de la superficie terrestre, así como la infraestructura realizada por el hombre, representándola ya sea en medios físicos (planos impresos), o digitales (dibujo a computadora).

Dentro de la Topografía se puede considerar dos divisiones para su estudio que son: Planimetría y Altimetría. La Planimetría se emplea cuando, se representan los detalles topográficos sin tomar en cuenta el relieve de la superficie, considerando una proyección plana. Mientras que la Altimetría, representa los detalles topográficos considerando la altura o “cota”, de cada uno de los detalles topográficos, todo eso tomando un plano de referencia, comúnmente el relieve es representado con “curvas de nivel”.

La Topografía tiene una gran relación con la Cartografía y la Geodesia; la Geodesia es la ciencia que se encarga de determinar la forma y las dimensiones de la tierra,

y la Cartografía se encarga de la representación gráfica de una parte de la superficie de la tierra o de su totalidad.

Las bases de la Topografía son la Geometría Plana, Geometría del Espacio, Trigonometría y las matemáticas en general. Además del conocimiento de estas materias, se hacen necesarias algunas cualidades personales, por ejemplo: Habilidad para manejar los instrumentos topográficos, manejo de personal y buen criterio para la toma de decisiones.

En la Topografía podemos considerar dos actividades principales, las actividades de campo y las actividades de gabinete, dentro de las actividades de campo se incluyen los levantamientos y los replanteos; y dentro de las actividades de gabinete se consideran los dibujos y los cálculos.

Comúnmente en nuestro país, las actividades necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente representarlas en un dibujo, ya sea físico o digital, se le conoce como “Levantamiento Topográfico”, el cual puede ser del tipo Planimétrico, Altimétrico o combinado; estas representaciones pueden ser para representar límites y superficie de una propiedad o, estudios de preingeniería, los cuales son fundamentales para definir y realizar un proyecto de ingeniería.

La siguiente actividad de campo conocida como “Replanteo”, son trazos sobre el terreno para la realización de obras de ingeniería o para definir límites de propiedad, en base a condiciones de un proyecto establecido o un plano de propiedad. Los levantamientos preliminares tanto como los proyectos posteriores deben tener en común el estar referenciados a una misma base (X, Y, Z), para una correcta ejecución.

En resumen, los pasos a seguir para la ejecución de trabajos topográficos son:

1. **Definir un control vertical y horizontal:** el cual puede ser definido arbitrariamente o estar ligado a un sistema coordenado, este control debe de ser puntos inamovibles que son definidos cuidadosamente, ya que gracias a

este control cualquier información relacionada pueda ser replanteada fácilmente en un futuro.

2. **Recopilación de Datos:** es la obtención de información de posiciones para localizar características físicas (árboles, infraestructura, límites, etc.) de modo que puedan ser representadas a escala en un dibujo físico o digital.
3. **Replanteo de información:** estas actividades consisten en marcar (empleando estacas, varillas, pintura, plumones, etc.) características de un dibujo de proyecto, por ejemplo, división de propiedades; o para diversos trabajos de ingeniería como edificaciones, caminos, etc.

Las actividades de gabinete consisten en realizar un dibujo topográfico con la información recopilada en campo, así como la ejecución de cálculos, ya sea de área, volúmenes entre otros, dependiendo de la finalidad del trabajo topográfico.

Los productos generados por las actividades topográficas son de carácter gráfico en su mayoría, son representados a escala ya sea en un medio físico, papel, por ejemplo, o dibujos digitales asistidos por computadora.

1.2 Antecedentes Históricos de la Topografía

La Topografía tiene sus orígenes desde el momento que las personas tuvieron la necesidad de distinguir una propiedad de otra, hay evidencias históricas de más de cinco mil años de topógrafos en China, India y Egipto, en Egipto existió el llamado *Harpodonapata* (Estirador de cuerdas), que era el encargado de recuperar los linderos agrícolas perdidos a las continuas inundaciones por el desbordamiento del río Nilo, utilizaban cuerdas con nudos atados a medidas fijas para determinar distancias. Los primeros topógrafos descubrieron la relación 3:4:5 la cual definía triángulos rectos, para realizar esta tarea contaban con una cuerda de 12 unidades con nudos atados en 3 y 7 unidades, un topógrafo tomaba el nudo de 3 unidades en "X", el segundo tomaba el nudo de 7 unidades en "Y", y el tercero tomó ambos extremos sueltos de la cuerda estirándola firmemente lo que resultó en la ubicación

del punto "Z". También pudieron deducir que sus múltiplos (30:40:50) proporcionarían un posicionamiento más preciso.

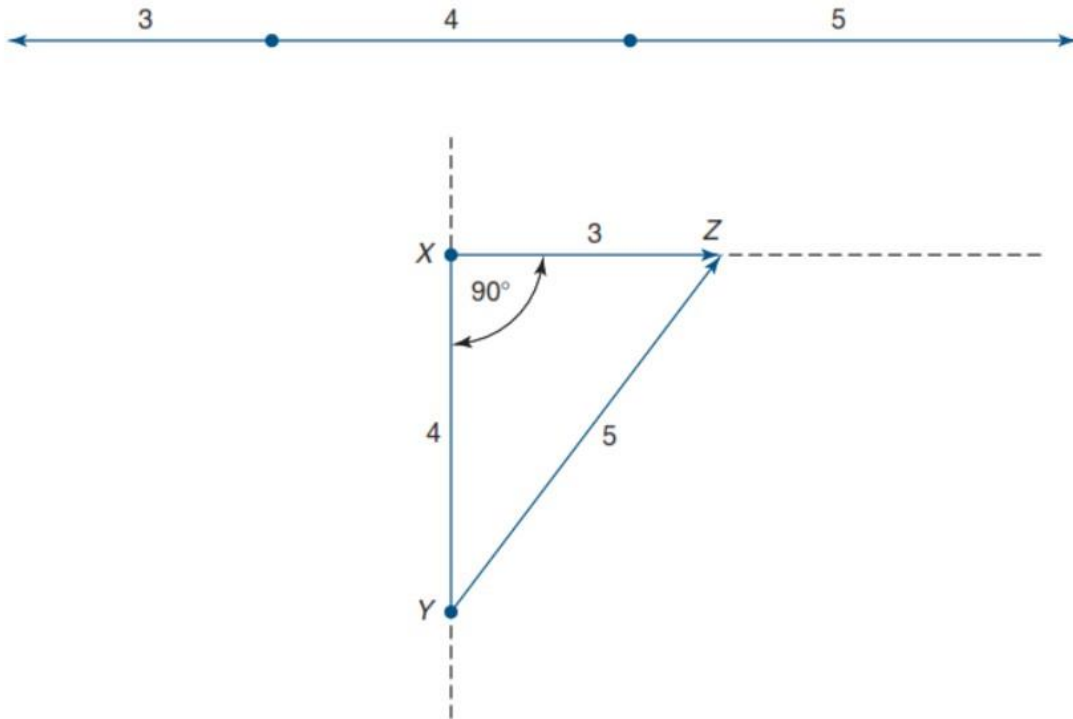


Fig. 1, Cuerda anudada con relación 3:4:5, (Kavanagh & Mastin, 2014)

Se tiene conocimiento que las grandes pirámides fueron trazadas con cuerdas anudadas, estas técnicas fueron empíricas probadas en campo; los griegos se encargaron de proporcionar el razonamiento matemático, Pitágoras (550 a.C.) por ejemplo, fue uno de los muchos matemáticos griegos que desarrollaron teorías de geometría, así como, de los primeros en deducir que la tierra era esférica, observando la forma de la sombra de la tierra proyectada sobre la luna.

Arquímedes (250 a.C.) había registrado que la circunferencia de la tierra es de 30 miríadas de estadios (300,000 estadios), pero Eratóstenes que era matemático y encargado de la biblioteca de Alexandria en Egipto, ocupó la siguiente técnica, él tenía de conocimiento que la ciudad llamada Syene tenía 5000 estadios al sur de Alexandria, también sabía que el solsticio de verano, el sol al mediodía estaba directamente sobre Syene y no había sombras, lo comprobó a observar el reflejo

del sol perfectamente centrado en un pozo de agua. Eratóstenes razonó que en el solsticio de verano el sol, los pueblos de Syene y Alexandria, y el centro de la tierra estaban en el mismo plano.

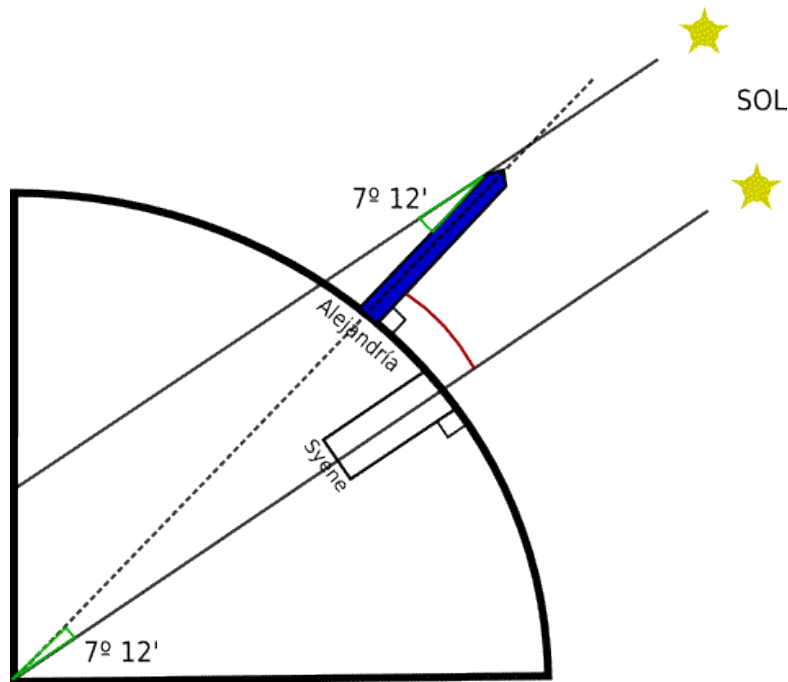


Fig. 2, Técnica de Eratóstenes

Eratóstenes determinó que el ángulo que formaban los rayos de sol con la vertical que por construcción es igual al ángulo cuyo vértice está en el centro de la tierra, este ángulo resultó ser $7^{\circ}12'$, que junto la distancia conocida entre las dos ciudades dio como resultado que la circunferencia de la tierra era de 250,000 estadios, un estadio actualmente equivale a 160 metros, por lo tanto, el resultado es de 40,000 kilómetros. Lo cual es una cifra muy cercana a la aceptada actualmente de 40,075 kilómetros.

La exploración también fomentó el desarrollo de la topografía debido a la necesidad de navegación, fue así como una piedra naturalmente magnetizada fue utilizada por primera vez para localizar el norte magnético, lo que originó la brújula la cual sería utilizada para navegación terrestre como marítima.

A mediados del siglo XVII se inició la modernización de la Topografía con el desarrollo del anteojo astronómico gracias a Johannes Kepler y la cadena desarrollada por Edmund Gunter, que introdujo el primer estándar en la medición de distancias, el británico Thomas Digges definió por primera vez el término teodolito para describir un instrumento graduado que se utilizó para medir ángulos; se le atribuye a Jean Piccard ser el primero en usar telaraña en un telescopio, así mismo como de usar escalas de vernier para mejorar la visión previa a una medición angular.



Fig. 3, Cadena Gunter

Los refinamientos de los teodolitos continuaron con el transcurso de los años con mejores ópticas, micrómetros, materiales de fabricación entre otras mejoras a Heinrich Wild se le atribuyen muchas mejoras significativas sobre los teodolitos.

Fue entre los años de 1950 y 1960 cuando se introdujeron los instrumentos de repetición europeos y japoneses caracterizados por mejores lecturas micrométricas entre 10 y 20 segundos y con plomadas ópticas, posteriormente estos instrumentos han sido reemplazados por instrumentos electrónicos, además la medición electrónica de distancias (EDM), fue utilizada por primera vez en 1950 por Geodimeter, Inc.; que en conjunto a un teodolito se inventó la Estación Total.

Actualmente la Estación Total está presente en la mayoría de los trabajos topográficos, aunque, se desarrollaron más instrumentos como los equipos GNSS, y la fotogrametría aérea, los cuales están enfocados a dar una mayor cobertura de trabajo.

1.3 Mediciones en la Topografía

McCormac considera que: *“La Topografía es la encargada de medir cantidades cuyo valor exacto o verdadero no puede determinarse, como en el caso de las distancias, elevaciones, volúmenes y direcciones.”* Donde podemos tomar en cuenta que para obtener esos valores adecuadamente depende de la correcta aplicación de técnicas y empleo del equipo, también dependerá de precisión del equipo utilizado.

La palabra medir es un verbo que proviene del latín *“metiri”*. La cual consiste en comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda contiene a la primera. Entonces se necesita un Sistema de Unidades, el cual es un conjunto de unidades de medida consistente, normalizado y uniforme.

Existen diversos sistemas de unidades, por ejemplo, el Sistema Internacional (SI), el Sistema Métrico Decimal, el Sistema Cegesimal (CGS), entre otros; pero la mayoría de los países en el mundo adoptaron el Sistema Internacional de Unidades y México es uno de ellos.

Las magnitudes principales en la Topografía son: longitud, área, volumen y ángulos. La unidad empleada en la longitud es el metro (m). que según el Sistema Internacional ha sido definido como: la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de $1 / 299\,792\,458$ de segundo.

Para el área se ocupa generalmente el metro cuadrado (m²), el cual es: el área de la superficie contenida en un cuadrado de un metro por lado, para grandes superficies se emplea la hectárea (ha), equivalente a 10 000m². En cuanto a la

unidad utilizada para el volumen se emplea el metro cúbico (m³), el cual se define como el volumen contenido en un cubo de 1 metro por lado.

Para el Sistema Internacional los ángulos planos se definen por el radián (rad), que equivale a un ángulo plano que, teniendo su vértice en el centro de una circunferencia, le corresponde un arco de longitud igual al radio de la circunferencia. Pero en las actividades topográficas en nuestro país lo común es representar ángulos en grados, minutos y segundos, que es un sistema sexagesimal.

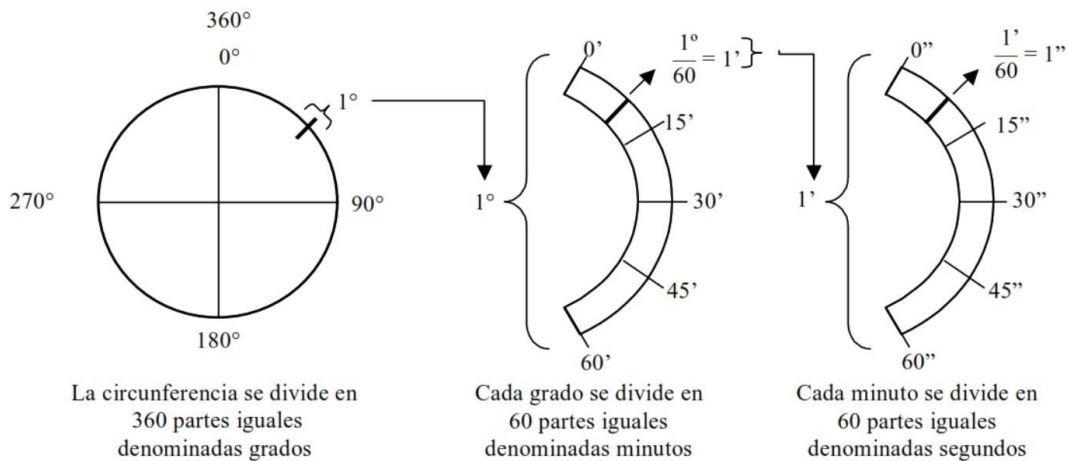


Fig. 4, Sistema Sexagesimal, (Jauregui, 2008)

También McCormac menciona: "Las mediciones topográficas deben tener una aproximación la cual se acerque al valor más real, pero nunca será posible determinar ese valor de forma exacta, entonces un principio fundamental de la Topografía es que ninguna medición es exacta y nunca se conoce el valor verdadero de la cantidad que se está midiendo. La realización de mediciones es la tarea principal de un Topógrafo".

Dentro de la Topografía la medición de distancias y la medición de ángulos son actividades fundamentales y necesarias para determinar la posición de un elemento topográfico, la mayoría de estas mediciones en la actualidad se realizan utilizando cintas o instrumentos EDM.

Las distancias entre dos puntos pueden ser horizontales, verticales e inclinadas, las distancias horizontales e inclinadas pueden ser medidas con cinta (acero, fibra de vidrio, etc.) o con un instrumento EDM (Estación Total, distanciómetro de mano); al realizar una medición siempre es necesario obtener la distancia horizontal con la finalidad de la elaboración de dibujos, las distancias inclinadas pueden convertirse trigonométricamente a distancias horizontales utilizando el ángulo de pendiente o la diferencia de elevación entre los dos puntos, esas diferencias de nivel se obtienen con cinta, con un nivel automático o con una Estación Total.

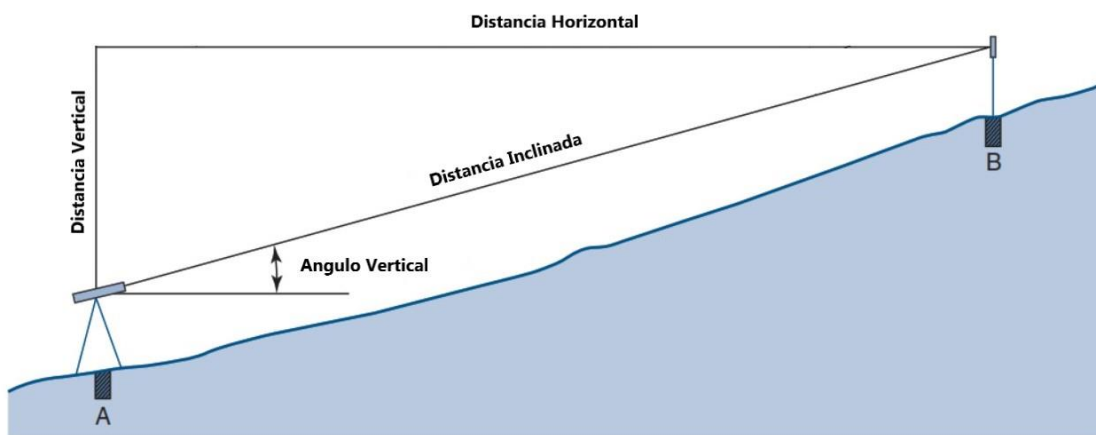


Fig. 5, Distancias en la Topografía, (Kavanagh & Mastin, 2014)

En la Topografía moderna hay métodos directos e indirectos para la obtención de una distancia, un ejemplo de una obtención directa de distancia es encintar con una cinta métrica entre dos puntos; y una obtención indirecta es la que se puede determinar mediante cálculos geométricos o trigonométricos sin la necesidad de encintar entre los dos puntos. Se debe considerar que la precisión depende de la técnica y método correcto apropiado según sea la condición del trabajo.

Algunos ejemplos de técnicas de medición de distancias son:

1. **Pasos:** es una técnica útil pero muy imprecisa, cada individuo debe conocer cuántos pasos hay en una distancia determinada, por ejemplo, 12 pasos en 10 metros, esta técnica es más útil para localizar puntos de control

previamente establecidos, la precisión de esta técnica puede llegar a ser de 1:50

2. **Odómetro:** suele utilizarse para medir distancias al mismo tiempo que se recorre, ya sea caminando o en un vehículo, un ejemplo de aplicación puede ser el registro de las huellas de frenado en un accidente automovilístico, su precisión puede llegar a ser de 1/200.
3. **Medición Electrónica de Distancias (EDM):** se puede clasificar como una medición indirecta de distancia, ya que la distancia se obtiene después de determinar el desplazamiento de fase entre una señal emitida y recibida o midiendo el tiempo de viaje de la transmisión de una luz pulsada, la precisión puede ser de $\pm 0.04'$ a $\pm 1/300000$.
4. **Barra Subtensa:** considerada como medición indirecta de distancias es una barra horizontal montada en un trípode con un par de objetivos colocados a una distancia precisa de 2.000m. Debe estar perpendicular a la vista del teodolito, la precisión alcanzada es de 1/5000.
5. **Cinta:** ya sea de fibra de vidrio, acero o de fabricación mixta, se sigue utilizando para mediciones cortas, su precisión si se usa de manera correcta va de 1/3000 a 1/5000.

En algunos trabajos puede ser suficiente medir sólo ángulos para obtener información, pero ese tipo de técnicas ya no son muy recomendables al no tener una buena precisión comparada con métodos más actuales.

Los ángulos por medir en la Topografía pueden ser horizontales, los cuales representan el barrido horizontal que describe el instrumento entre dos visuales consecutivas, o verticales, que representan el ángulo de inclinación del anteojo al realizar una observación a un objetivo.

En la Topografía el ángulo medido con el $0^\circ 0' 0''$ en dirección al norte se llama *azimut topográfico*, pero cuando el ángulo cero coincide con el norte magnético el cual es señalado por la aguja magnética de una brújula se determina como *rumbo*;

el rumbo difiere del *acimut topográfico* en el ángulo que forma la aguja imantada con el norte geográfico, esa diferencia se conoce como *declinación magnética*.

Para medir ángulos horizontales se miden normalmente con un teodolito o con una Estación Total, sin importar en qué posición se encuentre nuestro cero de arranque, si se desea medir el ángulo ACB formado por dos visuales, se dirige la visual al punto A y después al B, tomando las lecturas correspondientes la diferencia matemática de esas visuales nos dará como resultado el ángulo que se desea medir, en caso de que nuestro cero de arranque quede entre las dos visuales la lectura a la segunda visual será menor que la primera, entonces para obtener el ángulo se tiene que sumar 360° a la visual más alejada en el sentido que aumenta la graduación angular.

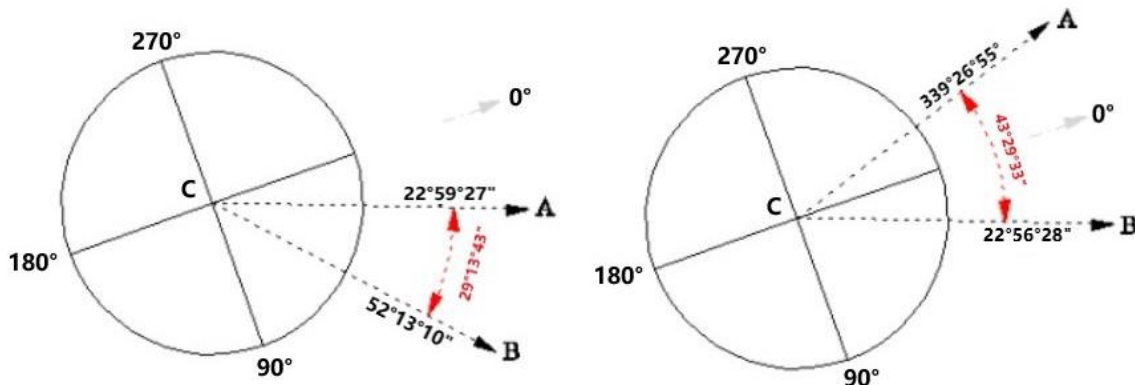


Fig. 6, Medición ángulos horizontales, (Sanz & Santamaria, 2005)

Los ángulos verticales se utilizan en correcciones de distancia de pendientes o en la determinación de alturas, se refieren en función de la posición del cero ya sea en el Zenit, Nadir o al Horizonte; Zenit y Nadir son términos que describen puntos en una esfera celestial, el Zenit está encima del observador y el Nadir por debajo del observador, ambos están en la misma línea vertical.

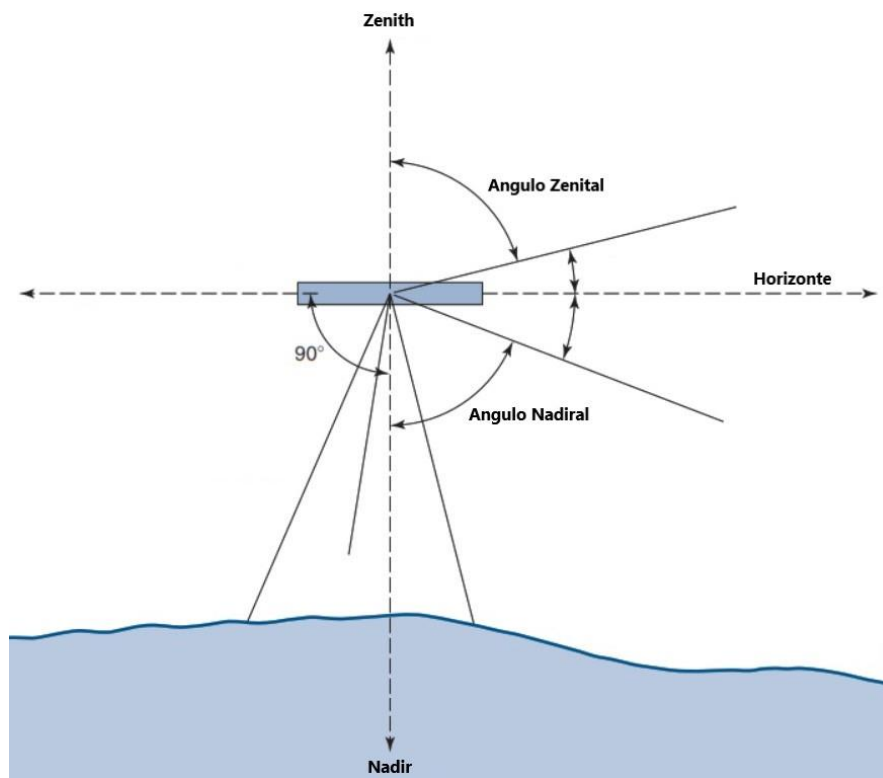


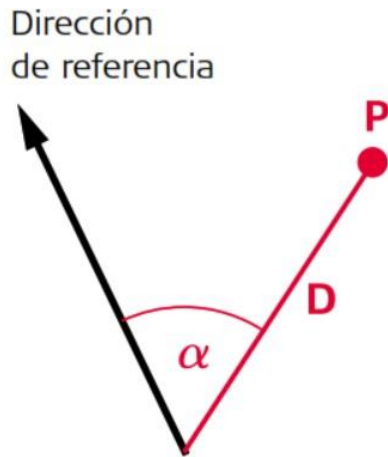
Fig. 7, Ángulos de Referencia Zenit, Nadir, Horizonte, (Kavanagh & Mastin, 2014)

Como es de nuestro conocimiento las mediciones realizadas en la Topografía tienen la finalidad de determinar la posición de puntos en el espacio para posteriormente representarla en un dibujo, para lograr ubicar estos puntos podemos emplear coordenadas polares o coordenadas rectangulares, ya sea que utilicemos coordenadas polares o rectangulares pueden transformarse de una a otra ya que son equivalentes.

Las coordenadas polares de un punto se obtienen con la distancia horizontal y el ángulo de dirección con respecto a un punto inicial dado y una línea de referencia, el ángulo se mide en el sentido de las agujas del reloj.

Las coordenadas rectangulares de un punto se determinan con las distancias perpendiculares entre el punto y los tres ejes coordenados ortogonales entre sí.

Coordenadas polares



Coordenadas cartesianas

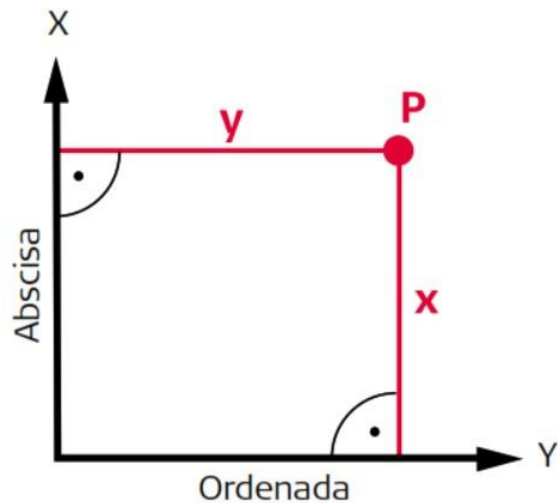


Fig. 8, Tipo de coordenadas en la Topografía, Leica (2013)

1.4 Exactitud y Precisión en las Mediciones Topográficas

Los términos “*exactitud* y *precisión*”, son conceptos utilizados frecuentemente en la Topografía, pero es difícil entender su significado correcto y en algunas veces pueden llegar a confundir o intercambiar definiciones entre ellas.

La **exactitud** se refiere al grado de perfección que se obtiene en las mediciones. Representa que tan cerca se encuentra una medición determinada del valor verdadero de la magnitud.

La **precisión** es el grado de refinamiento con el que se mide una determinada cantidad. En otras palabras, es la cercanía de una medición a otra. Si se mide una cantidad varias veces y los valores que se obtienen son muy cercanos entre sí, se dice que la precisión es alta.

En la medición de distancias, la precisión se define como la relación entre el error de la medición y la distancia medida, y se reduce a una fracción cuyo numerador es igual a la unidad, por ejemplo, se mide una distancia de 1 000 m y, posteriormente, se estima que el error es igual a 0.05 m, entonces, la precisión de la medición es $0.05/1,000 = 1/20,000$. Lo cual significa que, por cada 20,000 m medidos, el error sería de un metro. “El objetivo del Topógrafo es realizar mediciones precisas y exactas”.

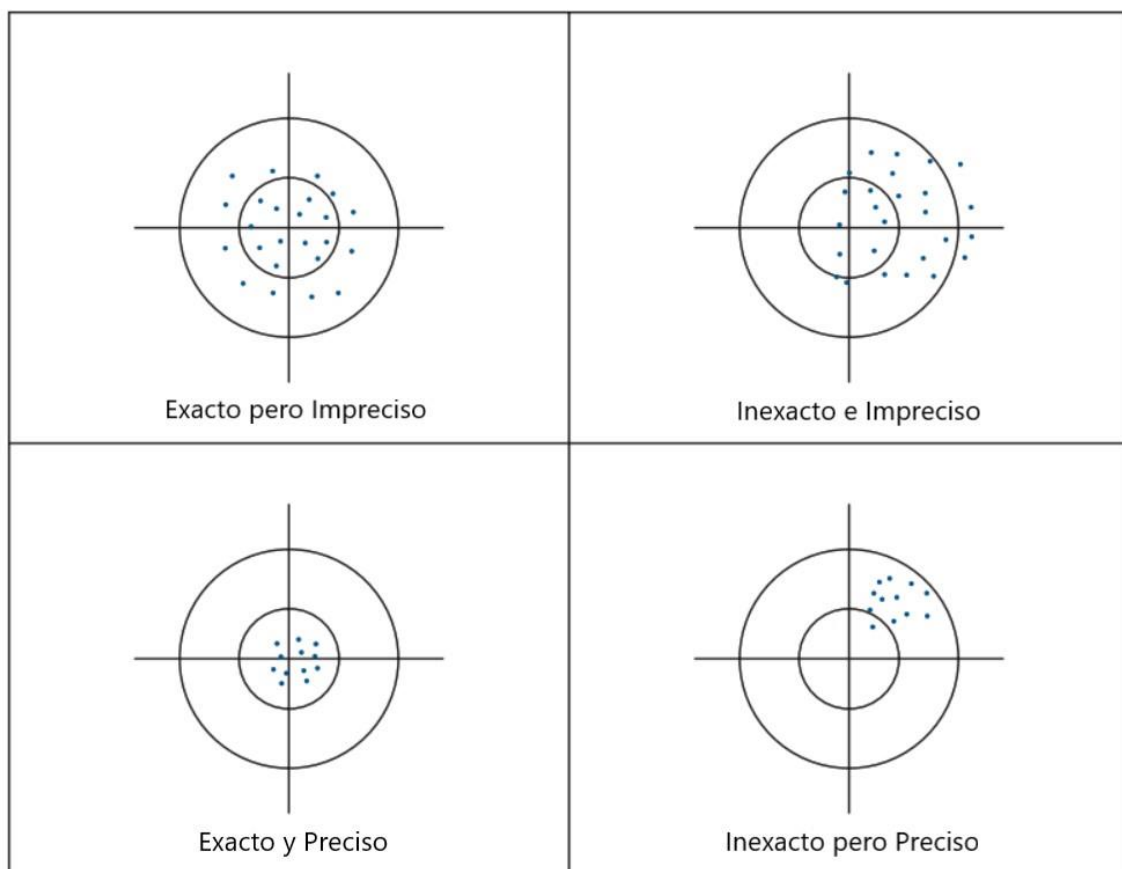


Fig. 9, Exactitud y Precisión, (Kavanagh & Mastin, 2014)

1.5 Errores y Equivocaciones

Es imposible que una persona sea tan perfecta al momento de medir cualquier cantidad de forma exacta y tampoco existen instrumentos perfectos para lograrlo. Por lo tanto todas las mediciones son imperfectas. Siempre van a existir diferencias entre las cantidades medidas y las magnitudes verdaderas, y esas diferencias se clasifican como equivocaciones o errores.

Según McCormac, *“Una **equivocación**, es una diferencia con respecto al valor verdadero, causada por falta de atención del topógrafo.”*; por ejemplo, en vez de leer un número 6 es un 0, escribir mal una coordenada, o usar el sistema “YXZ” en vez de “XYZ”. En resumen, las equivocaciones son causadas por falta de concentración.

También para McCormac, *“Un **error**, es una diferencia con respecto al valor verdadero, ocasionado por la imperfección de los sentidos de una persona, por la imperfección de los instrumentos utilizados o por efectos climáticos.”*, también el autor señala que, *“Los errores no pueden eliminarse, pero pueden minimizarse con un trabajo esmerado, combinado con la aplicación de ciertas correcciones numéricas.”*

1.5.1 Clasificación de Errores

Los **errores sistemáticos** son definidos como aquellos errores cuya magnitud y signo algebraico pueden ser determinados. Como errores sistemáticos se pueden considerar los siguientes ejemplos: En la medida de una distancia con longímetro, error por la diferencia con la longitud verdadera, por catenaria, por falta de alineación, por exceso o falta de tensión, entre otros. En la nivelación, por refracción vertical, por no estar bien graduada el estadal, por hundimiento o elevación de las estacas, por no estar bien nivelado el aparato, etc.

Los **errores aleatorios o accidentales** están presentes en cada medición debido a que ningún ser humano puede realizar sus actividades perfectamente, algunos

errores tienden a cancelarse por sí mismos, estos errores son los más temibles ya que pueden ocasionar graves problemas al efectuar mediciones. Como ejemplo de errores accidentales se pueden enunciar: errores por apreciación de la lectura en la cinta, por variaciones de la tensión aplicada al longímetro, por no apreciar con exactitud una fracción de división al leer la mira, porque no quede en el centro la burbuja al hacer una nivelada, por mala puntería, mal centrado, etc.

1.5.2 Fuentes de Error

Las fuentes de error se pueden clasificar por tres causas diferentes, al observador mismo (personales), a la clase de aparatos empleados (instrumentales) y a las condiciones en las que se efectúan las observaciones (naturales).

Los **errores personales** son a causa de la imperfección de nuestros sentidos, no es posible que se pueda hacer una lectura exacta o una coincidencia perfecta, o que se pueda llevar con toda certeza la burbuja de un nivel, o que se haga sin error el centrado de un aparato. A veces hay tendencia por parte del observador al hacer una lectura ya sea siempre mayor o menor a la verdadera, y en este caso se produce un error sistemático que se suele llamar “ecuación personal”.

Los **errores instrumentales** pueden ser fuente de errores accidentales o sistemáticos, Por sus desajustes debidos a una mala construcción, por el calentamiento de las piezas, torsión de los ejes, introducción del polvo o de pequeñas partículas, etc. Algunos de los errores sistemáticos como el de colimación, excentricidad, etc., pueden eliminarse operando de forma conveniente.

“Aunque en las últimas décadas se han desarrollado instrumentos más precisos, el objetivo de lograr la perfección no se ha alcanzado hasta ahora.” (McCormac, 2004).

“Aun cuando en la actualidad las mediciones de distancia se realizan con equipo electrónico, no están exentos de errores instrumentales.” (Toscano, 1926).

Los **errores naturales** como su nombre lo indica son los que son causados por efectos naturales como, temperatura, humedad, iluminación, entre otros factores. Un topógrafo no puede eliminar la causa de los errores de este tipo, pero, utilizando una buena toma de decisiones se pueden reducir al mínimo sus efectos.

1.5.3 Actividades Complementarias

A pesar de que los equipos de Topografía actuales almacenan grandes cantidades de información como distancias, ángulos, coordenadas y descripciones, los cuales pueden transferirse a una computadora de manera fácil, nosotros como Ingenieros Topógrafos nos hemos dado cuenta que no es bueno confiarse y deducir que esos instrumentos son infalibles, entonces debemos dar gran importancia a notas, y croquis de campo elaborados a mano alzada, que son útiles para describir las características de las observaciones y mediciones realizadas con instrumentos topográficos digitales.

Estas notas son importantes para el procesamiento de datos en gabinete, cuando utilizamos software para aplicaciones topográficas y dibujo asistido por computadora (CAD), principalmente cuando nos surgen dudas para complementar la información calculada y dibujada, debemos considerar que estas notas y croquis tomados en campo deben ser legibles y claros, los croquis son de gran utilidad cuando es imposible recabar información con instrumentos topográficos, al tener estas notas bien hechas estamos asegurando que la información se represente lo más fidedigno a las características observadas en campo.

Otra herramienta es la cámara fotográfica, la cual nos permite capturar detalles topográficos en campo que pueden pasar desapercibidos y a su vez para realizar reportes fotográficos de los estudios topográficos para respaldar las actividades realizadas durante el levantamiento de campo.

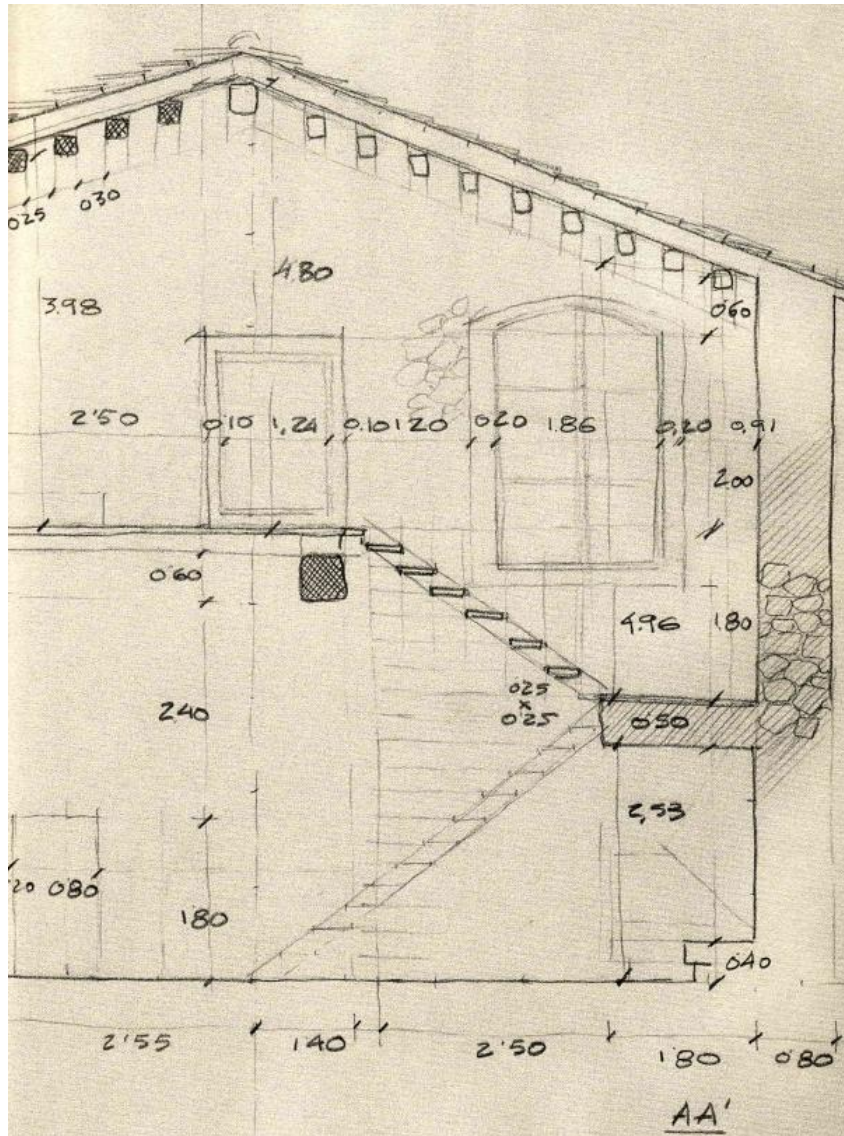


Fig. 10, Croquis a mano alzada, (Parramón Ediciones, 2007)

CAPÍTULO 2

MEDICIÓN

ELECTRÓNICA DE

DISTANCIAS

Con la llegada de las tecnologías EDM, (por sus siglas en inglés: “Electronic Distance Measurement”), la medición de distancias cambió para siempre, revolucionó la forma de ejecutar las mediciones en las actividades topográficas, los levantamientos topográficos se basan en medir triángulos, para determinar la longitud de un lado de un triángulo es necesario conocer la longitud de al menos un lado o más; los ángulos se podían medir con precisión con un teodolito, pero antes de las mediciones EDM no había otra opción más que medir cuidadosamente un lado del triángulo utilizando en la mayoría de ocasiones con cintas de acero mantenidas en tensión.

Las mediciones realizadas en las diferentes actividades topográficas eran muy laboriosas, para lograr las precisiones deseadas era necesario mantener el alineamiento y la nivelación, además de eso, la cinta tenía que mantener cierta tensión y cuidar las variaciones de temperatura; algunos trabajos tenían el objetivo de medir líneas base para un proyecto de mapeo que fácilmente tenían longitudes de más de 15 kilómetros.

La utilización de estas técnicas de medición eran lentas y demandantes las cuales requerían de un número considerable de personal como, brechadores, conductores, cocineros, personal de seguridad, entre otros, que eran necesarios para acompañar al personal topográfico, comparado con el que se requiere en la actualidad utilizando instrumentos de medición electrónica de distancias. Todo ese trabajo y personal se disminuyó gracias a las mediciones EDM, reduciendo costos y tiempo.

Diversos autores mencionan que esta tecnología fue introducida por primera vez en 1950, y desde entonces ha tenido un continuo perfeccionamiento, los primeros instrumentos eran capaces de medir largas distancias con gran precisión, pero tenían la desventaja de ser voluminosos, pesados, complicados en su operación y sobre todo costosos, pero el costo-beneficio era mejor al realizar los trabajos con ellos. Los avances tecnológicos fueron rápidos y ahora se convirtieron en instrumentos económicos, ligeros y sencillos de operar.

2.1 Antecedentes de los Instrumentos EDM

Registros indican que los primeros indicios de una medición EDM fueron realizados con un Fatometro en 1919 por Reginald Fessenden, en el momento que realizó la medición desde un barco hasta el fondo del océano tomando el tiempo en que una onda de sonido se refleja y es devuelta al origen.

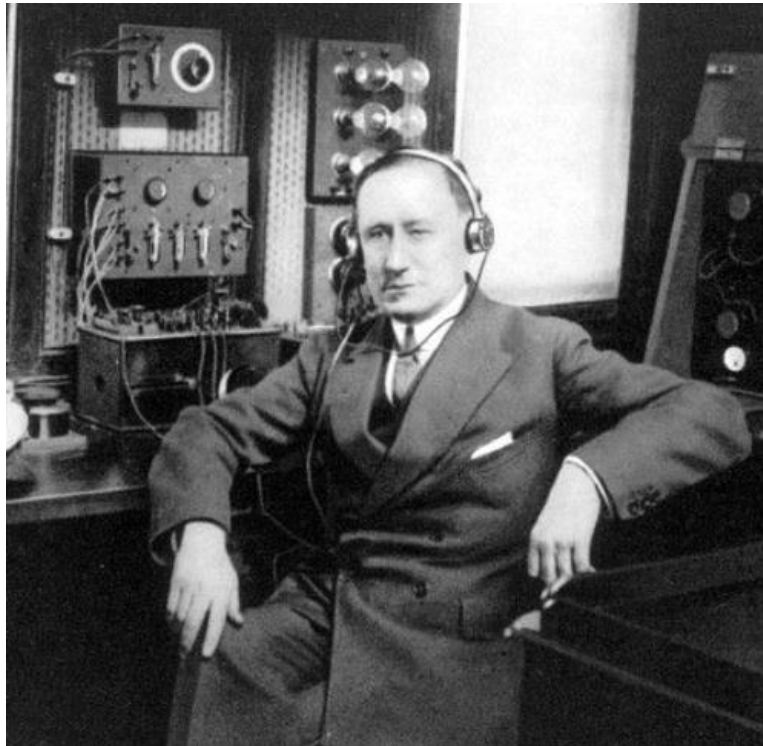


Fig. 11, Reginald Fessenden

Posteriormente en Suecia en el año de 1948, los fundadores de Geodimeter Inc. encabezados por el Dr. Erik Bergstrand introdujeron un instrumento que hacía uso de pulsos de luz de frecuencia y de intensidad variable proyectados sobre una línea y devueltos a una unidad receptora cercana al transmisor, la distancia desde el instrumento hasta el reflector y de regreso se expresaba como un número de ciclos completos y una fracción de ciclo, logrando así precisiones de milímetros. Este instrumento fue el primer Geodimeter® (**GEO**detic **D**istance **METER**).

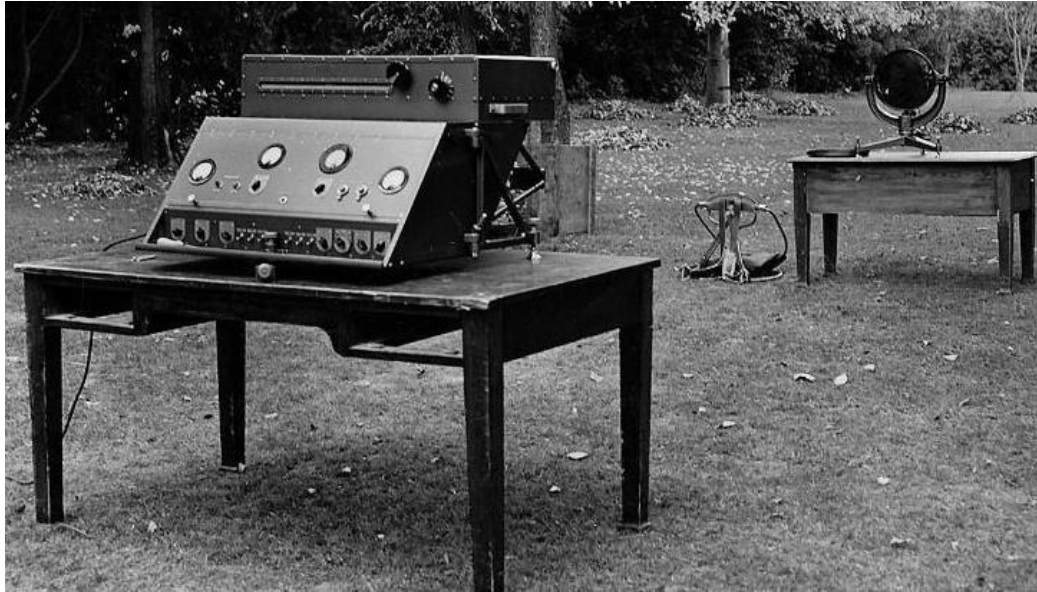


Fig. 13, Geodímetro NASM-1

Otro instrumento EDM histórico se desarrolló en el año de 1957 por el británico Dr. Trevor Lloyd Wadley, el utilizó ondas electromagnéticas en lugar de ondas luminosas, lo que representaba una ventaja al tener mayor alcance al no estar limitado por la visibilidad, llamado Telurómetro (del latín **telluris**, tierra y del griego **metron**, medida), funcionaba con una onda de radio que era capaz de penetrar la mayoría de condiciones climatológicas y alcanzar distancias de hasta 150 kilómetros, otra de sus ventajas fue el ser fácil de manejar por topógrafos no familiarizados con la electrónica, así como ser ligero, portátil y versátil.



Fig. 12, Telurómetro

A partir del año de 1960 el desarrollo de tecnología se centró en luz infrarroja, donde Wild desarrollo el DI10, su funcionamiento era proyectando una onda de luz en el espectro infrarrojo a un reflector (prisma) y midiendo el tiempo de la señal de retorno se podría calcular con facilidad la distancia, a diferencia de las tecnologías de radio o luz visible se prescindió de colocar en ambos extremos de la línea a medir un transmisor y un receptor de mayor dimensión que el DI10.

Este instrumento significó que los topógrafos tuvieran una herramienta ligera que se podía montar en un trípode y realizar mediciones fáciles y fiables, a medida que fue mejorando los EDM a finales de los años 60, fue posible combinar un teodolito y un distomat juntos en un trípode, así logrando medir ángulos y distancias simultáneamente.

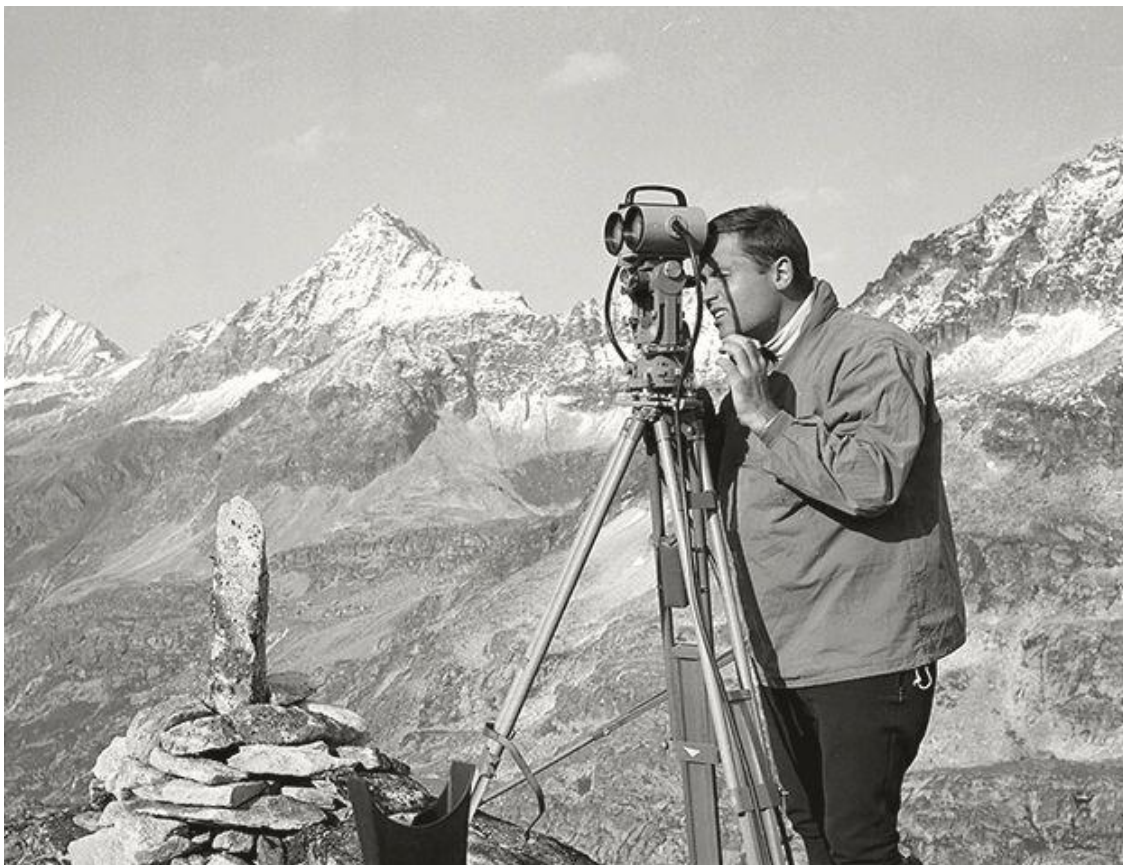


Fig. 14, Leica DI10, Leica Geosystems

La introducción de tecnologías EDM cambió completamente la manera en que se ejecutaban las actividades topográficas; realizar un trabajo en 20 minutos y con 2 profesionales, el cual se debería haber tardado seis semanas y requerido un numeroso personal, representó un ahorro humano y económico, además de utilizar la trilateración en vez de la triangulación.

Los instrumentos EDM, tienen muchas ventajas con respecto a otros métodos de medición convencionales. Son útiles en la medición de distancias en zonas de difícil acceso, por ejemplo, a través de ríos o lagos, carreteras transitadas, barrancas, etc. Para determinar la distancia entre dos puntos utilizando los instrumentos EDM, estos la determinan en algunos segundos o en fracción de segundos dependiendo de la longitud a medir, y del tiempo que tarde el ayudante en colocar el reflector en el otro extremo del EDM el cual puede ser a varios miles de metros, en comparación de una medición convencional que puede tardar varios minutos o hasta horas como sería en caso de hacerlo con cinta. Ya que se realizan mediciones indirectas, al no tener que ir encintando directamente.

En la actualidad la medición EDM está incluida dentro del sistema óptico de una Estación Total, inclusive es capaz de medir distancias sin necesidad de un reflector ampliando aún más las posibilidades de medición en el ámbito topográfico, esto gracias al perfeccionamiento de su fuente emisora de luz ya sea infrarroja o LASER, del cual se describe a continuación.

Entre los años de 1960 y 1970 se desarrolló la tecnología láser la cual agrego otro plus a las mediciones en la Topografía, ofreciendo una forma de mantener el alineamiento y nivel, la palabra LASER es un acrónimo inglés de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. El láser puede ser de rubí o de gas helio-neón.

El láser permite diversas aplicaciones para la Topografía y para la medición de distancias, en las Estaciones Totales actuales es posible ver un punto sobre el objetivo enfocado a medir para saber exactamente en dónde estamos realizando

una medición, y en cuestión de medición de distancias un rayo láser puede ser reflejado de vuelta al instrumento para calcular una distancia con precisión.

La onda luminosa de un láser tiene mayor alcance que una onda infrarroja logrando medir distancias de hasta 60 kilómetros, las mediciones con láser requieren un prisma reflectante al extremo opuesto del emisor para calcular la distancia. En la actualidad la tecnología láser se encuentra en Estaciones Totales, distanciómetros de mano, niveles y en escáneres terrestres.

2.2 Fundamentos de la Medición Electrónica de Distancias

El funcionamiento de un instrumento EDM se basa en el tiempo que tarda una onda electromagnética o un pulso luminoso en recorrer una determinada trayectoria y ser reflejada al punto inicial, a partir de esa información se obtiene la distancia. Estas ondas o láser son afectadas por el medio en donde se transmiten, pero, se determinó que estas afectaciones pueden corregirse matemáticamente, así se reducen al mínimo errores en las mediciones, un ejemplo de estas afecciones puede ser la variación en la temperatura ambiente o en la presión atmosférica.

Existen diversos principios de la medición electrónica de distancias, pero solo dos tienen aplicación en las actividades de medición topográfica, el método de pulso y el método de diferencia de fase, los instrumentos de medición electrónica actuales cuentan solo con uno de los dos métodos antes mencionados, eso depende del fabricante y del objetivo de cada instrumento.

El método de **Pulso (TOF)**, se fundamenta en la emisión de un pulso de luz que viaja desde el instrumento al objetivo, entonces se mide el tiempo electrónicamente del viaje con precisión de cuando el pulso sale y regresa, con esa información se calcula la distancia en función de la velocidad conocida de la luz y el tiempo de viaje de la luz, se resume en:

$$2D = c\Delta t$$

$$D = c\Delta t/2$$

Donde:

- "D" es la distancia medida
- "c" es la velocidad de la señal
- "t" es el tiempo que tardó en completar el viaje

Si el tiempo de salida del pulso desde el transmisor "A" es "ta", y el tiempo de la recepción en el receptor "B" es "tb", entonces $(tB - tA) = \Delta t$.

La determinación de la distancia depende de la velocidad de la luz en el medio y de su tiempo de tránsito, el tiempo de tránsito se mide electrónicamente, aunque para obtener una distancia puede ser necesario un solo pulso de luz, la precisión sería muy baja, para mejorar la precisión se emite una gran cantidad de pulsos cada segundo los cuales son analizados en cada medición para determinar una medición más precisa.

El tiempo del viaje del pulso es medido por el oscilador, como en las mediciones de este tipo se requieren altas precisiones es necesario una precisión en la toma del tiempo en picosegundos, este método es utilizado comúnmente en mediciones sin reflector, pero con la utilización de un reflejante puede obtener mayores distancias en comparación al método de diferencia de fase.

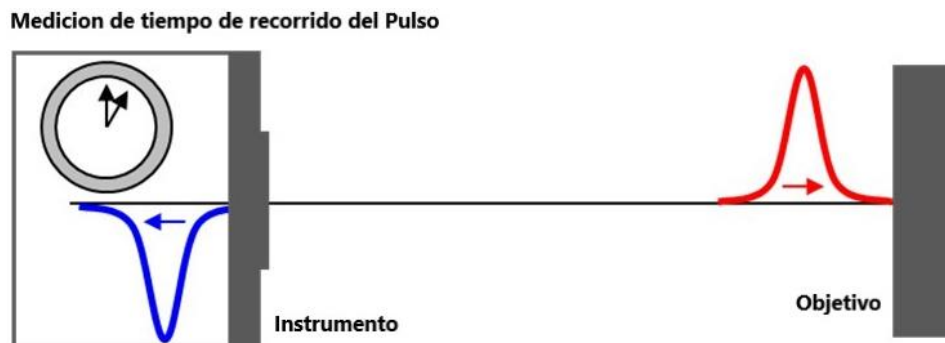


Fig. 15, Método de Pulso (Leica Geosystems, 2014)

El principio de **diferencia de fase** es probablemente el que permite realizar mediciones con un alto grado de precisión, en la actualidad la mayoría de los instrumentos EDM lo utilizan, ya sea que utilicen ondas de luz, infrarrojas o láser como ondas portadoras.

Para obtener la distancia, se emite una señal modulada que viaja a un reflector y de vuelta a un receptor en el instrumento EDM, en receptor se compara la fase de la señal emitida y la señal recibida.

Inicialmente una ambigüedad de ciclo impide que la distancia total sea estimada directamente. Esta ambigüedad de ciclo se resuelve usando múltiples longitudes de onda de modulación de medidas múltiples, lo que proporciona un número entero de ciclos único, una vez que se alcanza el número entero, la distancia al objetivo puede determinarse con gran precisión.

Una diferencia de fase se utiliza para determinar la longitud de una medición lo que sería equivalente a la mitad de la suma del número de longitudes de onda en el doble trayecto

Entonces para determinar la distancia se representa en:

$$D = \frac{1}{2}(n\lambda + d)$$

Donde:

- “*D*” es la distancia entre el instrumento y el objetivo
- “*λ*” es la longitud de onda del haz modulado
- “*n*” es el número de longitudes de onda en el doble trayecto de luz
- “*d*” es la distancia que representa el desplazamiento de fase

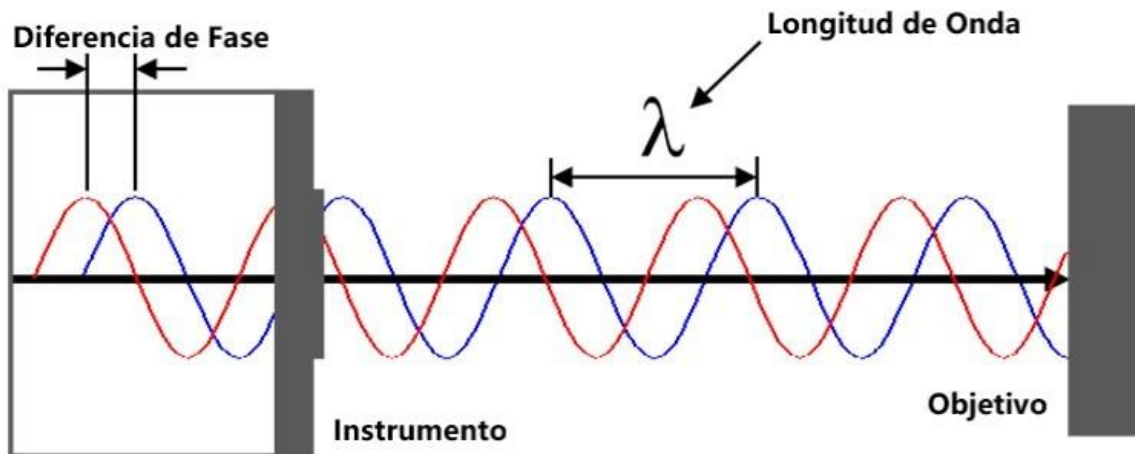


Fig. 16, Método de Diferencia de Fase, (Leica Geosystems, 2014)

En resumen, la medición por desplazamiento de fase es considerado como más preciso y tiene un haz de luz más estrecho, pero su desventaja es que su alcance es corto, y en contraparte la medición por tiempo de vuelo tiene un mayor alcance con un haz de luz más amplio, pero con una precisión menor.

2.3 Precisiones en Instrumentos EDM

Comúnmente los fabricantes de instrumentos EDM proporcionan valores de un error instrumental constante, el cual es independiente de la distancia, más un error de medición en partes por millón (ppm), el cual es variable según la longitud de la distancia a medir.

La precisión de un instrumento EDM debe ser manifestada por cada fabricante, la precisión en una distancia es ajustada mediante la siguiente ecuación:

$$M_d = a + bd$$

Donde:

- " M_d " es la desviación estándar de una distancia medida en milímetros
- " a " es constante en milímetros
- " b " es constante en milímetros
- " d " es la distancia medida

Esto quiere decir que la precisión de la distancia medida contiene la parte invariable y la parte variable la cual depende de la distancia medida, las constantes "a" y "b" tienen caracteres de desviaciones estándar; estas constantes las determinan los fabricantes en base a normas internacionales válidas.

La expresión más conocida para describir la precisión de un instrumento EDM es la siguiente:

$$m = (a)mm + (b)ppm$$

Ppm se interpreta como partes por millón, por ejemplo, un valor de 3mm + 2 ppm nos quiere decir que la precisión del instrumento es de 3 mm más 2 mm por cada kilómetro en una distancia medida, el primer valor de error es de poca importancia en distancias largas, pero puede ser significativo en distancias cortas, podemos determinar que la precisión en una distancia de 2 kilómetros es de 7 milímetros.

Entonces podemos tener en cuenta que la constante "a" incluye errores periódicos cortos, errores no lineales, compatibilidad de reflectores, etc. y la constante "b" contiene la desviación del oscilador en el rango de temperatura recomendado y los ajustes definidos de las ppm. Esta expresión de precisión contiene una mezcla de errores aleatorios y sistemáticos que son imposibles de separar.

Debemos de analizar que los valores de precisión proporcionada por los fabricantes pueden llegar a no ser confiables, además de que pueden variar con el paso del tiempo, además los valores de precisión pueden verse afectados

negativamente debido al uso inadecuado, la forma de transporte, el almacenamiento y la falta de mantenimiento.

2.4 Errores en las Mediciones EDM

Algunos profesionales creen que las mediciones efectuadas con equipo EDM son infalibles y están libres de errores. Pero claramente los errores siempre están presentes en cualquier tipo de medición, sin importar el método o, lo moderno y sofisticado que sea el instrumento utilizado.

Las fuentes de error son las mismas que se tienen en todo tipo de trabajos topográficos: personales, instrumentales y naturales.

ERRORES PERSONALES

- Inexactitud en las configuraciones iniciales de los EDM
- No colocar los instrumentos y reflectores exactamente sobre los puntos
- No medir correctamente las alturas de los instrumentos
- No determinar correctamente las presiones atmosféricas y la temperatura

ERRORES INSTRUMENTALES

- Errores en la calibración del equipo EDM
- La no coincidencia de la línea de la plomada con el centro electrónico
- La constante errónea del prisma

ERRORES NATURALES

- Variaciones atmosféricas en temperatura, presión y humedad
- Refracción múltiple de las señales
- Nieve, neblina, lluvia y polvo
- Reverberación

Es de gran importancia estar alerta para minimizar la probabilidad de tener errores en las actividades topográficas, mantener el equipo con un mantenimiento adecuado, y tomar buenas decisiones con respecto a ejecutar actividades en condiciones climáticas adversas.

2.5 Estación Total

La Estación Total es un instrumento topográfico, que probablemente sea el más empleado en las actividades topográficas, se considera como Estación Total ya que es un instrumento con el cual podemos realizar actividades propias de un teodolito, un nivel, un distanciómetro y un procesador de datos en un solo instrumento, es un instrumento adaptable a diversas situaciones de trabajo por lo cual ha tenido una enorme aceptación dentro del gremio de la Topografía, se ha vuelto un instrumento indispensable que va de la mano con los profesionales de Topografía.

Gracias a la Estación Total se revolucionó la forma de obtener datos de campo, y los cálculos que eran necesarios resolver en gabinete, ahora es posible realizarlos en campo, esto ha mejorado la productividad en la toma de datos y replanteo, así como la disminución de errores.

Actualmente en el mercado existe una gran variedad de modelos de Estaciones Totales, de diferentes fabricantes, con variedad de funciones, diversas precisiones y precio, Franco Rey comenta: *"A la hora de elegir una Estación Total debemos tener en cuenta nuestras necesidades actuales y futuras, así como la rentabilidad que vamos a obtener del aparato, no siempre el más caro va a ser el más adecuado a nuestro trabajo."*

Podemos describir una Estación Total como un instrumento capaz de medir y registrar ángulos horizontales y verticales, así como distancias inclinadas, con un microprocesador incluido capaz de efectuar operaciones matemáticas con la finalidad de obtener resultados con las magnitudes medidas. Un ejemplo sería obtener una distancia horizontal con una medida inclinada y un ángulo vertical o,

determinar coordenadas rectangulares a partir de coordenadas polares, entre otros diversos cálculos.

Las Estaciones Totales se presentan con diferentes precisiones angulares, que pueden ir desde los 7 segundos a 0.5 segundo de precisión angular, rangos de medición con prisma reflectante de hasta 3 000 metros, y últimamente medición sin necesidad de un reflector con rangos desde 150 metros hasta 1 000 metros; además de contar con software para cálculos topográficos con pantalla de tinta electrónica o poseer un sistema operativo con pantalla a color con las bondades de tener un software CAD a bordo. Además, pueden contar con otras características como, rastreo satelital, conexión inalámbrica para transferencia de datos, captura de fotografías, etc. Como detalle extra todas las Estaciones Totales deben contar con protección IP contra agua y polvo.



Fig. 17, Leica TPS1200, (Leica Geosystems, Bayoud Fadi).

Como en todos los instrumentos electrónicos, mientras más elevado sea el costo, tendrá mejores características y en contraparte mientras más económico sea, estará más limitado en sus características, aunque últimamente fabricantes en su mayoría de origen chino, están introduciendo equipos con precios de equipos básicos de marcas de prestigio con funciones de los mejores equipos de dichas marcas, por ejemplo ofrecen un equipo con precisión angular de 2" a precio de un equipo de marca reconocida de 5".

La Estación Total desde su origen ha seguido evolucionando, sigue a la par de los desarrollos de equipos GNSS, drones fotogramétricos y escáneres terrestres, se debe entender que estos equipos se complementan entre sí y son insustituibles ya que van enfocados a trabajos específicos, por ejemplo, un equipo GNSS va enfocado a obtención de datos en gran cobertura y una Estación Total va enfocado a recopilación de datos con menor cobertura, pero mayor detalle.

CAPÍTULO 3

MEDICIÓN DE

DISTANCIAS SIN

REFLECTOR

Una de las últimas tecnologías que se adicionaron al distanciómetro de una Estación Total, es la posibilidad de poder realizar mediciones sin la necesidad de colocar un prisma o una diana reflectante en donde se desea realizar la medición, el funcionamiento de esta tecnología se basa en los principios de **Tiempo de Vuelo** o **Desplazamiento de Fase**, mencionados anteriormente.

El primer antecedente de una medición sin reflector fue en el año de 1986 de la mano de Leica, ese instrumento podía medir hasta 350 metros en óptimas condiciones, esta tecnología ya es un estándar en las Estaciones Totales, inclusive los instrumentos más sofisticados se pueden equipar con esta tecnología de medición para obtener la altura instrumental.

Esta tecnología ha proporcionado grandes ventajas con respecto a una Estación Total con medición convencional, es de gran ayuda para obtener información de, alturas de edificaciones, puentes o cables de alta tensión; podemos obtener mediciones remotas donde es imposible el acceso, ya sea por ser una zona insegura o por ser propiedad privada, entre otras ventajas. Las tareas topográficas se han vuelto más eficientes al reducir tiempo en mediciones, lo que además se ve reflejado en el aspecto económico.

Aunque esta tecnología está dirigida a trabajos topográficos de corto alcance, muchos profesionales la están empleando como una técnica topográfica de medición, para recabar información e inclusive para replantear información, debemos de tener en cuenta que a pesar de que nos permite realizar mediciones rápidas, fáciles y precisas, si no se ejecutan correctamente y no se consideran sus limitaciones, pueden dejar de ser precisas y ocasionar problemas.

Se debe tener en cuenta, que es necesario el conocimiento de la tecnología que se emplea en dichas mediciones, así como, las situaciones en las que pueden ser afectadas dichas mediciones, el promedio de alcance en mediciones sin reflector de las Estaciones Totales que hay en el mercado es de 500 metros, la cual puede ser un rango suficiente, hay equipos con rangos de medición de 1 000 metros que puede ser considerada una distancia inadecuada para realizar una

medición sin reflector, tomando en cuenta que a mayor distancia es difícil el apuntado con precisión y que el haz de luz se ve afectado, mientras más larga sea la distancia a medir, se debe tener buen criterio para toma de decisión que garantice que esas observaciones se realizaron de la manera adecuada.

3.1 Confiabilidad de las Mediciones sin Reflector

Cuando realizamos una medición electrónica de distancia del modo en que es necesaria la colocación de un reflector al otro extremo de la medición, estamos asegurando que donde está ubicado el reflector es el objetivo al que deseamos realizar la medición, además de garantizar la posición del punto a medir al colocar el reflector y de reflejar correctamente la señal de regreso al equipo.

El propósito de una medición sin reflector es el poder prescindir de un reflector para obtener distancias, estas mediciones sin reflector reflejan directamente en cualquier superficie, haciendo de esta tecnología una gran herramienta para medir puntos remotos, pero a su vez la propia naturaleza de estas mediciones de reflejar en cualquier superficie nos hace tener dudas acerca de donde verdaderamente está reflejando la señal emitida, por ejemplo, en una hoja de árbol que interfiera en la trayectoria, además, físicamente la divergencia de un haz electromagnético aumenta mientras mayor sea la distancia a medir.

Estudios debaten sobre la confiabilidad de estas mediciones debido a que hay una gran cantidad de parámetros y situaciones que afectan dichas mediciones, estos estudios han demostrado que existen situaciones como, el ángulo de incidencia, divergencia del haz luminoso, texturas y colores donde reflectara la señal, longitud de la distancia a medir, entre otras variables, pueden reducir la precisión en las mediciones, estos estudios son realizados fuera de nuestro país, con diversos equipos topográficos. En nuestro país no existe información acerca de cómo pueden verse afectadas las mediciones sin reflector, y en que situaciones pueden tener mayor incertidumbre.

Según los fabricantes de equipos topográficos, este tipo de mediciones llegan a tener precisiones similares a las que se obtienen midiendo con un reflector, pero en las actividades cotidianas podemos observar que no son de todo ciertas, además podríamos decir que hay infinitas situaciones de medición diferentes, por lo cual es imposible cuantificar y realizar correcciones a esas mediciones sin reflector, los equipos pueden ser muy precisos como nos aseguran los fabricantes pero, si no se utilizan adecuadamente no podemos garantizar que las mediciones se llevaran a cabo correctamente.

3.2 Situaciones y Condiciones con Incertidumbre en las Mediciones sin Reflector

Se tiene un ligero conocimiento acerca de los efectos que pueden ocasionar diversos factores a las mediciones sin reflector, este conocimiento permite ejecutar una toma de decisión correcta sobre la adecuada medición sin reflector o descartarla, dentro de las actividades topográficas las técnicas para realizar mediciones son muy diversas y de acuerdo con la situación se elige la técnica apropiada para realizar la medición.

Según la experiencia en actividades topográficas podemos definir situaciones y condiciones en las que la incertidumbre en las mediciones es alta, siendo las más comunes:

- a) Incidencia de la divergencia de haz
- b) Mediciones a distancias largas
- c) Mediciones con diferente ángulo de incidencia
- d) Mediciones a objetivos con diferentes texturas y colores
- e) Mediciones a esquinas

a) Divergencia del Haz Laser

Todos los rayos luminosos de los distanciómetros divergen a razón del aumento de la distancia desde el instrumento, la divergencia se entiende como el fenómeno que ocurre durante la propagación de un haz, la energía se disemina sobre un área mayor que donde se propaga, lo cual reduce la efectividad de la radiación; una emisión laser en comparación a otra emisión luminosa sufre una menor divergencia. La divergencia de un haz láser es proporcional a la longitud de onda e inversamente proporcional al diámetro del haz en su punto más angosto.

Entonces, a mayor distancia mayor será la divergencia de un haz, por ejemplo 5 centímetros a 100 metros de distancia, lo cual no representa que la precisión de cada medición disminuya a 5 centímetros, esto indica que el área de la huella del haz en esa medición es de 5 centímetros; dependiendo de la situación ya sea mayor o menor esa huella tiene sus pros y contras, una huella más grande a mayor distancia permite medir objetos más pequeños, por ejemplo líneas eléctricas; con una huella pequeña se aprovecha mejor cuando se miden esquinas en una distancia más corta.

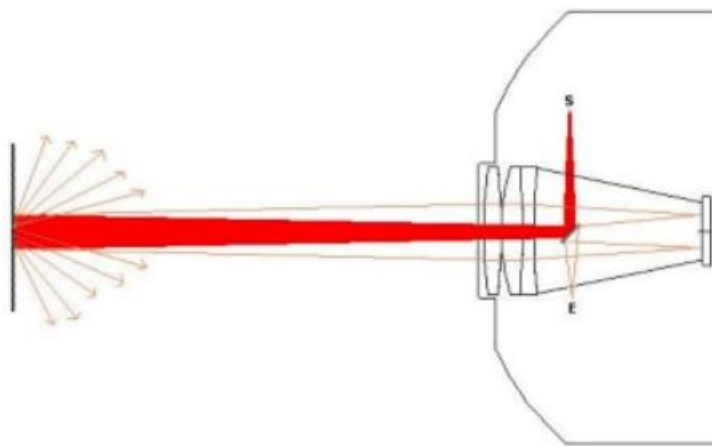


Fig. 18, Divergencia del Haz, Nikon-Trimble Co. Limited.

Un ejemplo de afectación debido a la divergencia es cuando sobre la misma línea de puntería se encuentren otras superficies ya sea por delante o por detrás, puede que una parte del haz refleje en la superficie más cercana al instrumento y otra parte refleje más alejada, entonces si donde refleja la señal no es una superficie homogénea puede ser una medición errónea a la deseada. Se entiende que mientras las diferencias de profundidad no excedan la mitad de la longitud del pulso, se considera que el pulso reflejado viene de una sola superficie.

b) Ángulo de Incidencia

El ángulo de incidencia ocurre debido a que el objetivo no es perfectamente perpendicular a la Estación Total, esta es una situación que es muy difícil controlar cuando nos encontramos realizando trabajo de campo, no siempre va ser posible colocarnos perpendicularmente al objetivo a medir, mientras mayor sea el ángulo de incidencia el nivel de la señal de retorno disminuirá, el ángulo de incidencia combinado con la divergencia del haz es una situación con incertidumbre en las mediciones sin reflector.

Considerando la huella de la divergencia del haz y un ángulo de incidencia grande, se crea incertidumbre debido a un problema de perturbación de la profundidad, esto debido a que la medición puede reflectarse en cualquier punto donde el haz tiene contacto ya sea por delante o por detrás del objetivo que estamos observando y centrando con el instrumento.

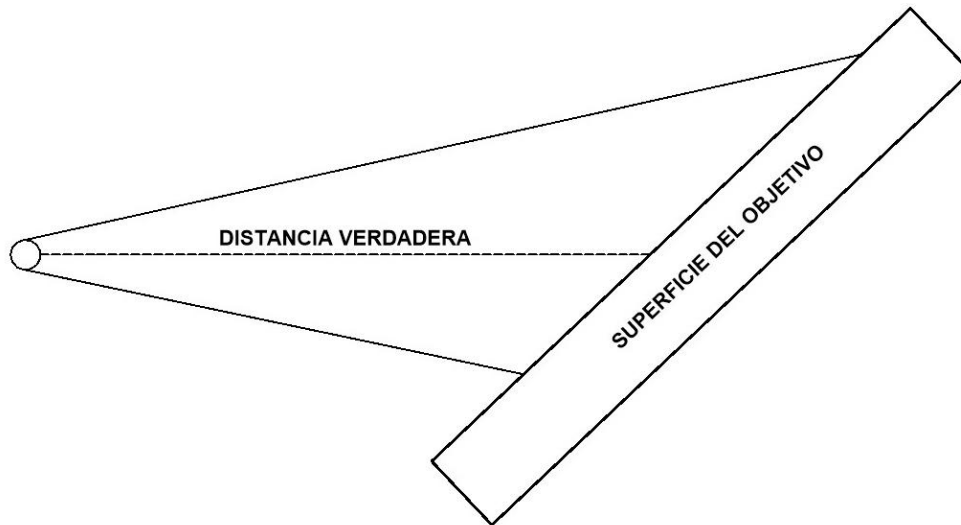


Fig. 19, Ángulo de incidencia

3.3 Fuentes de Error y su Administración

Es de gran importancia que nosotros como Ingenieros Topógrafos procuremos ser pacientes y cuidadosos al momento de llevar a cabo nuestras actividades ya sea en campo y en gabinete al momento de procesar datos, para así disminuir considerablemente los errores o mejor aún, evitarlos; orientado a las mediciones sin reflector podemos considerar como errores más comunes a: falta de mantenimiento del instrumento, deriva del instrumento, error en el apuntado, error en la observación e interferencias al fondo de la medición.

- **Mantenimiento del Instrumento**

Todos los instrumentos topográficos y en especial las Estaciones Totales requieren de un mantenimiento periódico el cual garantiza que las mediciones que se realicen estarán dentro de los parámetros que especifica el fabricante, este mantenimiento es recomendado cuando se va a usar el instrumento por primera vez, después de largos periodos de tiempo almacenado, tras cambios bruscos de temperatura, después de transportarlo durante un largo tiempo debido a vibraciones. Además de que es recomendable anualmente llevar el instrumento a un laboratorio certificado por el fabricante para una limpieza profunda y calibración.

- **Deriva del Instrumento**

Este error es cuando el equipo pierde su correcto centrado y nivelado ya sea por condiciones de suelo inestables, mal anclado de las patas del trípode, vientos fuertes, golpes al instrumento ya sean mínimos, entre otras cosas, se debe poner la debida atención al instrumento ya que estas condiciones pueden ser extremas es probable que el instrumento sufra una caída, lo que llevaría a una pérdida total del instrumento.

- **Error en el Apuntado**

Este error se presenta cuando no realizamos un correcto apuntado con el instrumento al objetivo que deseamos realizar una medición, debido al realizar observaciones de forma apresurada sin asegurar que estamos apuntando al objetivo deseado, además de condiciones climatológicas como la reverberación pueden dificultar un correcto apuntado.

- **Error en la Observación**

Los errores en la observación en parte se deben a la atenuación del láser cuando se realizan mediciones de distancia, por ejemplo, cuando el objetivo está ubicado con respecto al equipo de forma oblicua, cuando el objetivo está a una distancia considerable, condiciones atmosféricas (radiación solar, lluvia, niebla, etc.)

- **Interferencias al Final de la Medición**

Las distintas características de la superficie a la cual se realiza la medición deben de ser lo más lisa y plana preferentemente, esto para disminuir la dispersión al final de la medición sin reflector, cuando es una superficie irregular la medición puede recopilar datos de distancia erróneos.

El objetivo de este proyecto es realizar mediciones en un ambiente semi controlado, realizando estas en situaciones y condiciones que encontramos en un actividad cotidiana de mediciones sin reflector, dichas mediciones nos servirán

para poder determinar en qué situaciones y condiciones se ve afectada la credibilidad de una medición sin reflector, a partir de la identificación de las variables podremos determinar una serie de recomendaciones para una correcta ejecución de mediciones sin reflector.

3.4 Descripción del Equipo Topográfico Utilizado

El equipo seleccionado para este proyecto serán dos Estaciones Totales, una de marca reconocida **Spectra Precision modelo Focus 8** y otra de marca emergente **FOIF modelo RTS-362**, estas Estaciones Totales cuentan con especificaciones similares, pero el precio y tamaño son diferentes entre sí, además de comprobar las incertidumbres en las mediciones podremos realizar una comparativa de resultados entre estos equipos.



Fig. 21, Estación Total FOIF RTS-362, Suzhou FOIF Co., Ltd.



Fig. 20, Estación Total Spectra Precision Focus 8, Nikon-Trimble Co. Limited.

ESPECIFICACIONES	FOCUS 8	FOIF RTS-362
AUMENTOS EN TELESCOPIO	30x	30x
PRECISIÓN ANGULAR	5"	2"
PRECISIÓN EN DISTANCIA MODO REFLECTOR	2mm+2ppm	2mm+2ppm
PRECISIÓN EN DISTANCIA MODO SIN REFLECTOR	3mm+2ppm	3mm+2ppm
RANGO DE MEDICIÓN CON UN PRISMA	1.5m a 5000m	1m a 3000m
RANGO DE MEDICIÓN EN MODO SIN REFLECTOR	1m a 250m	1m a 500m
CLASE DE LASER PARA MEDICIÓN CON REFLECTOR	CLASE 1	CLASE 1 Y CLASE 2*
CLASE DE LASER MODO SIN REFLECTOR	CLASE 1	CLASE 3R

*Según las especificaciones del fabricante a partir de 200 metros ocupa laser de clase 2.

Estas Estaciones Totales utilizan distintas clases de láser, las cuales tienen restricciones y recomendaciones de seguridad que vienen muy claras en el manual de operación, además de contar con calcomanías de advertencia con la información de la clase de laser que emplea.

Las clases de laser relevantes son clase 1, clase 2 y clase 3R; los láseres de clase 1 son invisibles, el daño no es probable aun con exposición directa a los ojos o la piel, el uso común es en mediciones con reflector, este tipo de laser es común en la mayoría de los instrumentos topográficos que no tienen la tecnología de medición sin reflector.

Una laser de clase 2 emite radiación visible que puede ser peligrosa a la vista si el haz se dirige directamente al ojo, no se debe de mirar el haz directamente con instrumentos topográficos, inclusive se recomienda que al momento de enfocar el objetivo retirar la vista del telescopio para realizar la medición, son seguros de usar en lugares públicos, esta clase de laser se encuentra en distanciómetros de mano y los punteros laser de bolsillo.

Un láser clase 3R se emplea para mediciones de gran alcance, es un láser con una fuente de luz potenciada, eso lleva a que los riesgos en el uso de ese laser aumenten, de hecho el uso de este laser debe ser empleado por personal calificado y capacitado en cuestión de instalar y operar el instrumento laser, así como de los efectos a la salud como daño a los ojos y la piel, se debe utilizar una señalización adecuada de advertencia en el área de trabajo, el rayo láser no se debe dirigir a superficies equivalentes a un espejo, no es recomendado el uso en áreas públicas, el uso va dirigido dentro de una construcción o espacios controlados.



Fig. 22, Calcomanías de advertencia de Radiación Laser

“CLASE” DE SISTEMA LÁSER	RIESGOS DERIVABLES
Clase 1	No generan riesgos si se usan con normalidad. No es previsible que causen daño ocular aunque el operador emplease algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
Clase 1M	No generan riesgos si se usan con normalidad, pero podrían causar daño ocular si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
Clase 2	Podría causar daños oculares. A priori los mecanismos de aversión como el <i>reflejo parpebral</i> * son suficientes (normalmente) como protección. El riesgo de padecer daño ocular aumenta si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
Clase 2M	Puede causar daños oculares. El riesgo de padecer daño ocular aumenta muy notablemente si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
Clase 3R EXTREMAR PRECAUCIÓN.	La visión directa del haz es potencialmente peligrosa, aunque en menor medida que láser 3B. Pueden causar daños oculares agudos y crónicos. EXTREMAR PRECAUCIÓN.
Clase 3B EXTREMAR PRECAUCIÓN.	La visión directa del haz es siempre peligrosa. La visión de reflexiones difusas podría según casos, se peligrosa también. Pueden causar daños oculares agudos y crónicos. EXTREMAR PRECAUCIÓN.
Clase 4 EXTREMAR PRECAUCIÓN.	Pueden causar daños oculares y cutáneos agudos o crónicos si se entra en contacto directo, indirecto, o por reflexión, con el haz láser. También pueden originar incendios. EXTREMAR PRECAUCIÓN.

* Reflejo parpebral: acto reflejo (valga la redundancia) consistente en el cierre rápido de los párpados cuando se produce un súbito destello, iluminación, o ruido intenso.

Fig. 23, Clases de láser y su riesgo a la salud, (Servicio Integrado de Prevención y Salud Laboral, Universitat Politècnica de València)

3.4.1 Comprobación y Ajuste de la Estación Total

Siempre antes de ejecutar un trabajo topográfico con Estación Total es recomendable familiarizarse con el instrumento, para utilizarlo correctamente, además de estar al tanto de las precisiones que nos indica el fabricante, todo esto con la finalidad de obtener resultados dentro con las condiciones que debe cumplir el equipo, cuando ya conocemos como funciona el equipo podemos verificar que esté funcionando correctamente dentro de sus parámetros correspondientes, en caso de inconsistencias será necesario realizar el ajuste correspondiente.

Actualmente las Estaciones Totales están fabricadas con partes mecánicas y electrónicas muy complejas, que a su vez se combinan con softwares igualmente complejos, las partes internas de una Estación Total comúnmente son piezas muy delicadas y sensibles, es por eso por lo que una Estación Total se debe cuidar y comprobar periódicamente.

La mayoría de las Estaciones Totales están diseñadas para resistir duras condiciones de trabajo, pero al ser instrumentos de precisión requieren de cuidado y mantenimiento, los fabricantes recomiendan una serie de pasos para mantener el instrumento en las mejores condiciones.

- No sacudir el instrumento violentamente ni exponerlo a un trato negligente.
- Mantener las piezas ópticas limpias con un paño adecuado y producto de limpieza óptico, el exceso de polvo puede provocar rayaduras en los lentes.
- Siempre mantener el instrumento en posición vertical y protegido siempre en su estuche.
- Evitar transportar el instrumento cuando está montado sobre el trípode, ya que se pueden dañar los tornillos de la base nivelante, o bien transportar el equipo en posición vertical con las patas del trípode encima del hombro.
- No exponer el instrumento a cambios bruscos de temperatura.

Si no se siguen estos pasos se puede ocasionar la pérdida de precisión del instrumento, asimismo una Estación Total se considera un instrumento de alta precisión, por lo cual es recomendable comprobar y ajustar de vez en cuando el instrumento, los procedimientos para la comprobación y ajuste pueden realizarse en campo, son correctamente guiados en el manual de operación y se deben ejecutar de manera cuidadosa y precisa tal como lo indica el fabricante.

Además, el fabricante indica que los errores instrumentales pueden aparecer después de diversas situaciones como:

- Antes de un primer uso al equipo nuevo.

- Antes de realizar mediciones con alto grado de precisión.
- Después de intensos periodos de trabajo.
- Después de un largo tiempo de almacenamiento.
- Después de que el equipo haya sufrido golpes o exceso de vibraciones.

Entonces estos errores instrumentales deben ser cuidadosamente identificados y eliminados.

Antes de realizar la comprobación se debe dejar que el instrumento se adapte a la temperatura ambiente aproximadamente durante 15 minutos. Pero se debe evitar que el instrumento no quede expuesto a los rayos solares directos, esto para evitar la expansión térmica.

Para empezar a determinar los errores instrumentales se debe verificar que la base nivelante, el trípode y el terreno donde se monta el equipo sean estables y seguros, además de estar libre de vibraciones o cualquier otra perturbación. Posterior a esto el equipo se debe nivelar muy bien con el nivel electrónico, esta pantalla por lo regular es la primera que muestra el instrumento al encenderlo.

Errores instrumentales en la Estación Total

Se dice que una Estación Total está libre de los errores instrumentales cuando cubre estos requerimientos:

- a) El eje de puntería ZZ debe ser perpendicular a la inclinación del eje KK
- b) La inclinación del eje KK debe ser perpendicular al eje vertical VV
- c) El eje vertical VV debe ser absolutamente vertical
- d) La lectura del círculo vertical debe indicar cero al apuntar al cenit.

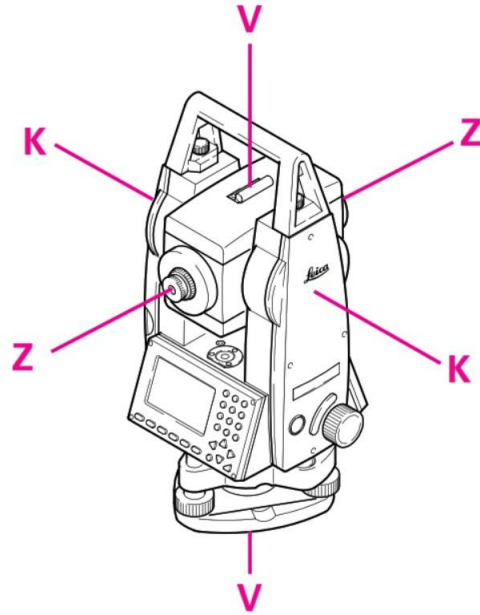


Fig. 24, Esquema de ejes en una Estación Total, Leica Geosystems

Si no se cumplen estas condiciones se emplean los siguientes términos para describir cada error en particular.

- a) Error de la línea de puntería
- b) Error del índice vertical

Estos errores se eliminan al tomar mediciones a dos caras del equipo, pero en la práctica y por cuestiones de tiempo esa práctica no es aplicada comúnmente, estos errores se pueden determinar y ajustar, para que al medir un ángulo estos errores se ajustan automáticamente en las mediciones a una sola cara del instrumento.

- c) Error de la inclinación vertical

Este error no se considera ya que es un error instrumental debido a una nivelación del instrumento errónea.

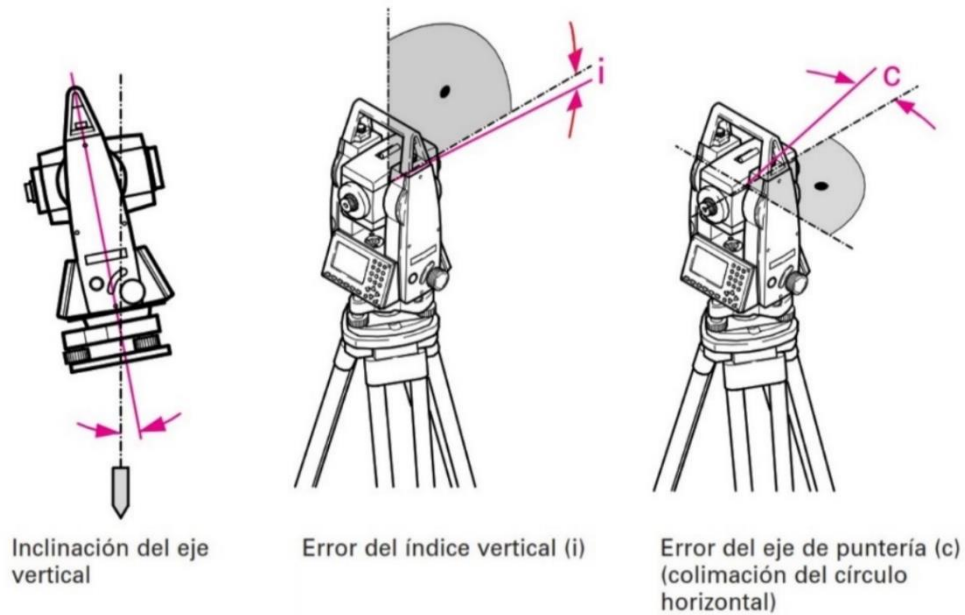
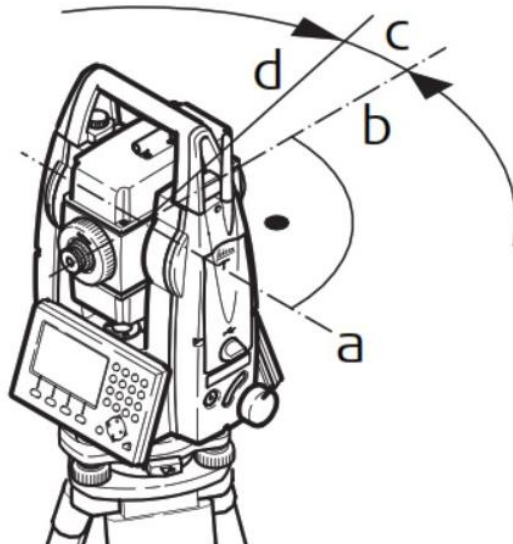


Fig. 25, Representación de los errores instrumentales, Leica Geosystems

Error de la línea de puntería y el error de índice de círculo vertical

El error de la línea de puntería también conocido como **error de colimación horizontal**, es la desviación del ángulo recto formado por el eje de muñones y la línea visual, la influencia del error de colimación en el ángulo horizontal aumenta con la altura sobre el horizonte.



- a) Eje de muñones
- b) Línea perpendicular al eje de muñones
- c) Error de colimación horizontal o de la línea de puntería
- d) Línea de puntería

Fig. 26, Error de Colimación, Leica Geosystems

Cuando la línea visual es horizontal, la lectura que nos da el círculo vertical debe ser exactamente 90° (grados). Si existe una diferencia de este valor se denomina **error de índice vertical**, el cual es un error constante que afecta a todas las lecturas verticales.

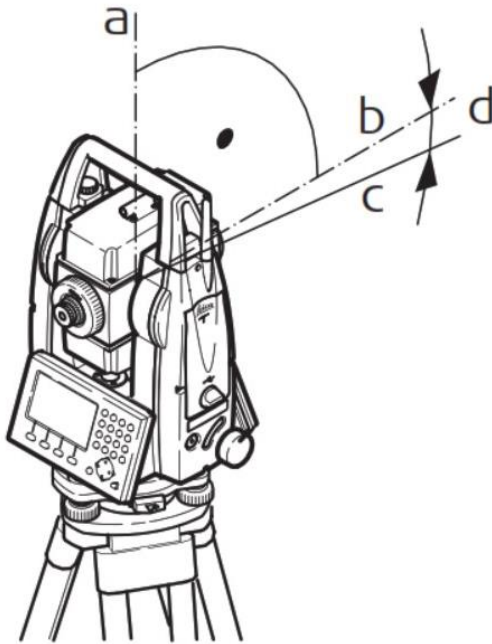


Fig. 27, Error índice vertical, Leica Geosystems

- a) Eje vertical del instrumento, también nombrado eje principal.
- b) Eje perpendicular al eje vertical, debe ser de 90°
- c) Lectura de la dirección vertical es de 90°
- d) Error de índice del círculo vertical

✓ *Al determinar el error de índice vertical se ajusta automáticamente el nivel electrónico.*

Comprobación y ajuste de colimación e índice vertical

FOIF RTS-362

A) Verificación de error de colimación

- 1) Colocar el instrumento sobre el trípode y nivelar con precisión, tomando en cuenta las recomendaciones anteriores.
- 2) Dirigir la visual a un objetivo situado aproximadamente a 100 metros del instrumento, tomando en cuenta que la visual horizontal no se separe más de 5° .

- 3) Obtener el valor del ángulo de la cara 1 del instrumento, posteriormente girar el equipo 180° y observar el mismo objetivo con la cara 2 del instrumento.
- 4) Para calcular el error de colimación horizontal (C) se utiliza: **$C = (\text{Angulo horizontal cara 1} - \text{Angulo horizontal cara 2} \pm 180^\circ) / 2$** , si $C < 8''$, no será necesario realizar un ajuste, en caso de que el error exceda los 8" será necesario realizar un ajuste.

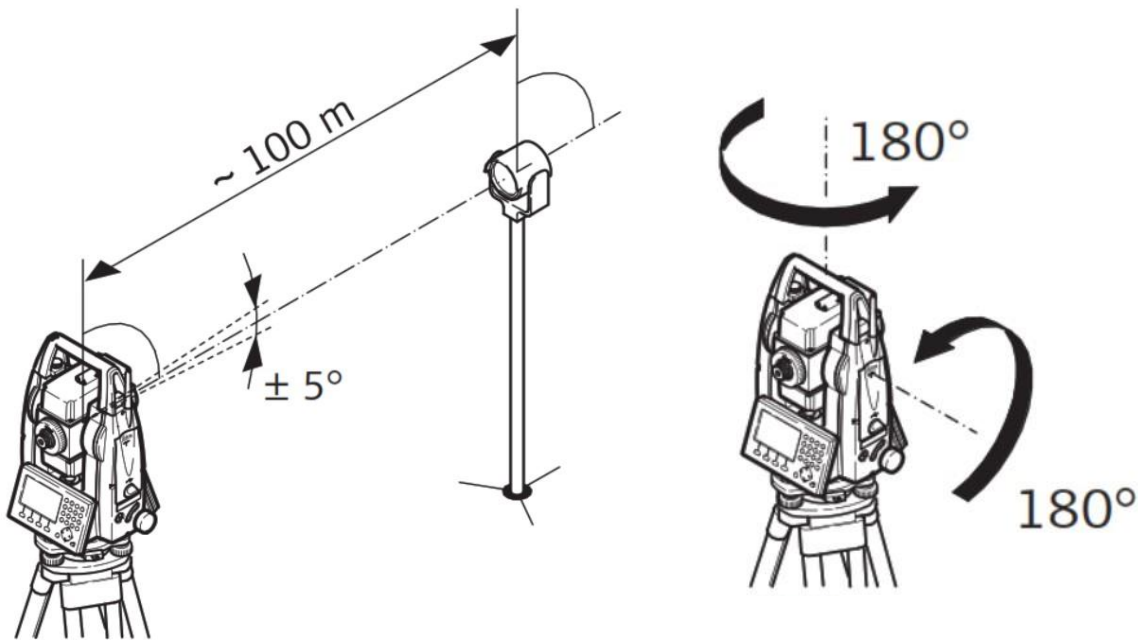


Fig. 28, Verificación del error de colimación e índice vertical, Leica Geosystems

B) Verificación de error de índice vertical

- 1) Colocar el instrumento sobre el trípode y nivelar con precisión, tomando en cuenta las recomendaciones anteriores.
- 2) Dirigir la visual a un objetivo situado aproximadamente a 100 metros del instrumento, tomando en cuenta que la visual horizontal no se separe más de 5° .
- 3) Obtener el valor del ángulo vertical de la cara 1 del instrumento y del valor del ángulo en la cara 2 del instrumento.

- 4) Calcular el error del índice con: $i = (\text{Angulo Vertical cara1} - \text{Angulo vertical cara 2} - 360^\circ) / 2$. Si $i < 10''$, no será necesario realizar un ajuste, en caso de que $i > 10''$ será necesario realizar el ajuste.

C) Ajuste del error de colimación y error de índice vertical

- 1) Colocar el instrumento sobre el trípode y nivelar con precisión, tomando en cuenta las recomendaciones anteriores.
- 2) Encender el instrumento y ejecutar el programa "Config. Inst", navegar a través de las pestañas para encontrar "Colimación".
- 3) Apuntar hacia el objetivo en la cara 1 del equipo y presionar "Val. Izq" para leer los valores de ángulo horizontal y vertical.
- 4) Apuntar hacia el objetivo en la cara 2 del equipo y presionar "Val. Der", para obtener los ángulos horizontal y vertical.
- 5) El programa calculara el error de colimación y el error de índice vertical automáticamente.
- 6) Pulsar "Entra" para guardar los nuevos valores, o presione "Cancel" para conservar los valores antiguos.



Fig. 29, Pantalla herramienta de colimación, Suzhou FOIF Co., Ltd.

Como advertencia importante el programa de ajuste está protegido con una clave de acceso, esto debido a que es muy fácil alterar estos valores, uno debe estar consciente del proceso que se está llevando a cabo en este instrumento.

SPECTRA PRECISION FOCUS 8

A) Verificación de error de colimación y el error de índice vertical

Para la verificación de estos errores podemos seguir el mismo procedimiento de verificación indicado anteriormente, en caso de ser necesario se realizará el ajuste correspondiente.

B) Ajuste del error de colimación y error de índice vertical

- 1) Colocar el instrumento sobre el trípode y nivelar con precisión.
- 2) Entrar al programa de calibración del instrumento.

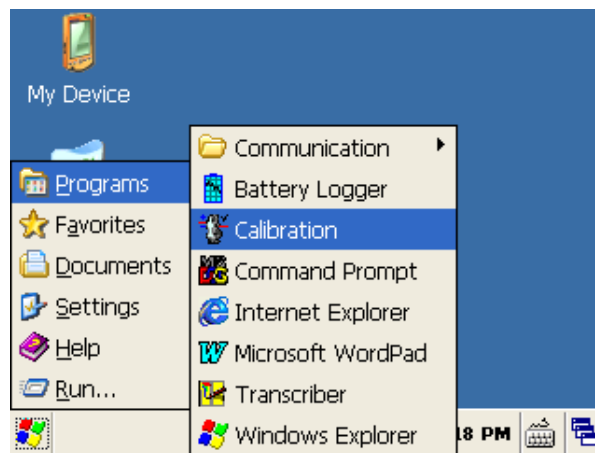


Fig. 30, Ruta al programa de Calibración, Nikon-Trimble Co. Limited.

- 3) Realizar una observación en cara derecha a un objetivo en el horizonte*, después presionar el botón [OK]. Donde:

VA1 = Es el ángulo vertical de la cara derecha

HA1 = Es el ángulo horizontal de la cara derecha

X1 = Valor de inclinación del eje X en la cara derecha

Y1 = Valor de inclinación del eje Y en la cara derecha

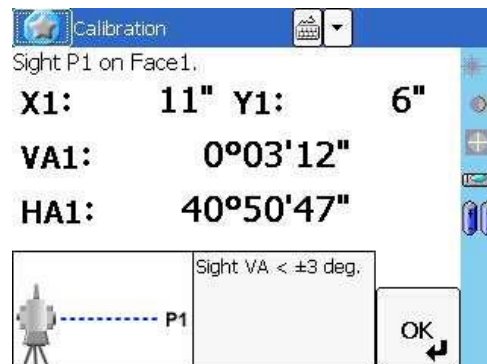


Fig. 31, Proceso de calibración, 1, Nikon-Trimble Co. Limited.

* Si apuntamos a un objetivo que tiene un AV de más de 3° se mostrara un mensaje de advertencia y el botón [OK] se deshabilitara.

Una vez que ha realizado la medición, el mensaje cambiará de: [DO NOT TOUCH!] a [TURN TO F2].

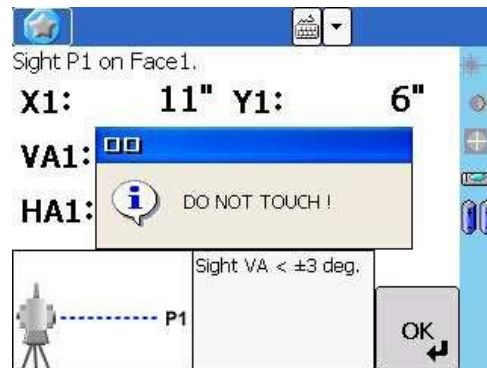


Fig. 32, Proceso de calibración, 2, Nikon-Trimble Co. Limited.

4) Realizar la medición al mismo objetivo con la cara izquierda del instrumento, después presionar [OK]. Donde:

VA2 = Es el ángulo vertical de la cara izquierda

HA2 = Es el ángulo horizontal de la cara izquierda

X2 = Valor de inclinación del eje X en la cara izquierda

Y2 = Valor de inclinación del eje Y en la cara izquierda

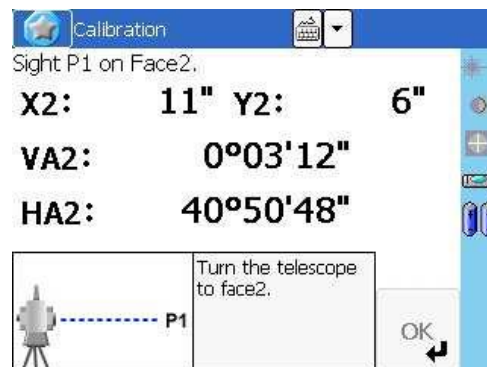


Fig. 33, Proceso de calibración, 3, Nikon-Trimble Co. Limited.

5) Después de completar la observación en cara izquierda se mostrarán tres parámetros.

- Para repetir el proceso de observación presionar [Redo]
- Para aceptar los parámetros en el instrumento presionar [OK]
- Para continuar con el proceso de compensación del eje de muñones, presionar [Trun]*.

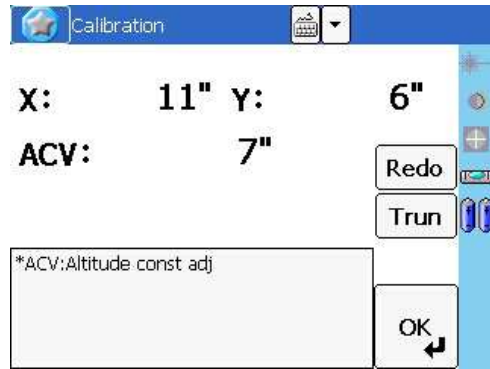


Fig. 34, Proceso de calibración, 4, Nikon-Trimble Co. Limited.

* La compensación del eje de muñones es un procedimiento adicional en esta Estación Total, por lo general es suficiente con realizar el ajuste anterior, pero si al verificar los errores de colimación y de índice vertical este excede de 30" será necesario realizar la compensación del eje de muñones.

Para este procedimiento será necesario establecer objetivos a una distancia mínima de 30 metros con respecto al equipo, un objetivo sobre la línea de apuntado y otro debe ser colocado a más de 30° con respecto al primer objetivo, el instrumento no puede almacenar una compensación de más de 30", en caso de que el error supere ese valor será necesario llevar el instrumento a un laboratorio.

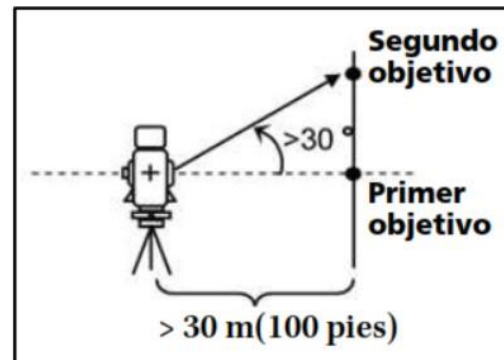


Fig. 35, Proceso de calibración, 5, Nikon-Trimble Co. Limited.

- 6) Continuando con el procedimiento, se debe visar al segundo objetivo que está ubicado a más de 30° sobre el plano horizontal
- 7) Presionar [OK] para realizar mediciones de ángulo en el siguiente orden:
 - Cara izquierda a P2
 - Cara derecha a P2

- Cara derecha a P1 (Horizontal)
- Cara izquierda a P1 (Horizontal)
- Cara izquierda a P2
- Cara derecha a P2
- Cara derecha a P1 (Horizontal)
- Cara izquierda a P1 (Horizontal)
- Cara izquierda a P2
- Cara derecha a P2

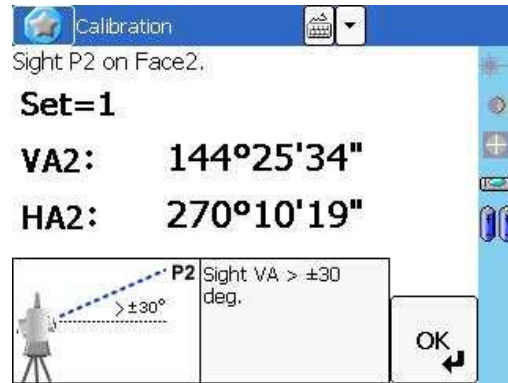


Fig. 36, Proceso de calibración, 6, Nikon-Trimble Co. Limited.

8) La tolerancia en la lectura del ángulo en cada dirección es de 10", entonces se deben realizar estas mediciones con mucho cuidado, si la diferencia en el ángulo horizontal es de más de 10" aparecerá un mensaje de error y se tendrá que repetir el procedimiento.

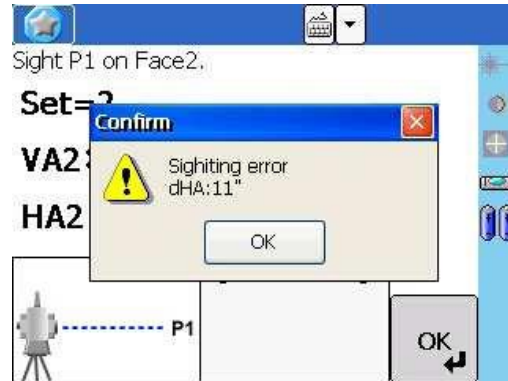


Fig. 37, Proceso de calibración, 7, Nikon-Trimble Co. Limited.

9) Después de realizar las mediciones de ángulos en cara derecha e izquierda, el instrumento calcula el parámetro del eje de muñones y de corrección de ángulo horizontal.

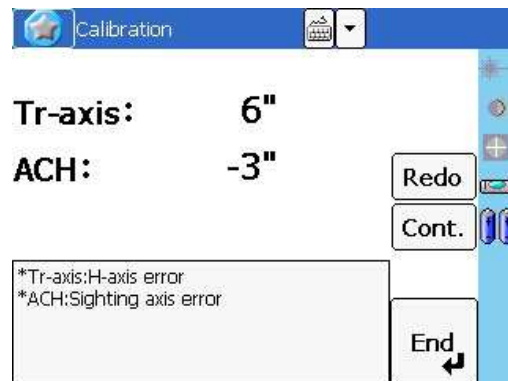


Fig. 38, Proceso de calibración, 8, Nikon-Trimble Co. Limited.

10) Seleccionar una de las siguientes alternativas:

- Para repetir el conjunto de mediciones presionar [Redo]
- Para ir a un siguiente conjunto de observaciones para lograr un resultado más preciso, presionar [Cont].
- Para finalizar el procedimiento, presionar [End].
- Para almacenar el parámetro y volver a la PMB, presione [End].

Comprobación y ajuste de los niveles de burbuja (tubular y esférico)

Una vez comprobado y ajustado el nivel electrónico, se procede a verificar las burbujas de nivel.

- 1) Montar el equipo sobre el trípode y nivelar el instrumento con el nivel electrónico.
- 2) Las burbujas de nivel deben estar correctamente centradas, de lo contrario se deberá realizar el ajuste
 - a. En el caso de las burbujas circulares se rotarán los tornillos de ajuste de nivel esférico hasta que la burbuja este centrada.

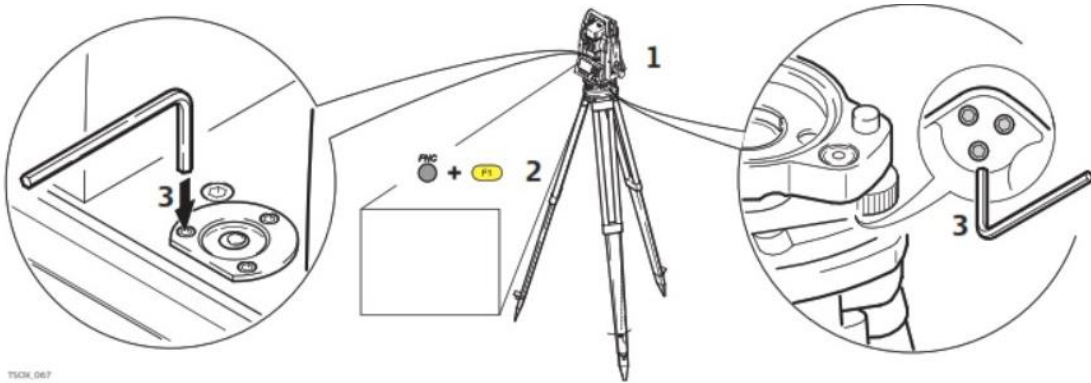


Fig. 39, Ajuste de burbuja esférica, Leica Geosystems

- b. En el caso de la burbuja tubular, se debe girar el instrumento para que la burbuja tubular este paralela a una línea que une dos tornillos de la base nivelante.
 - c. Posteriormente girar el instrumento 180° y ajustar el tornillo de ajuste para corregir la mitad del error de la burbuja.
 - d. Repetir la operación b y c hasta que la burbuja permanezca centrada en cualquier posición del instrumento.
- ✓ Al realizar este ajuste debemos ser cuidadosos al ajustar los tornillos ajustadores para que la tensión sea idéntica para todos.

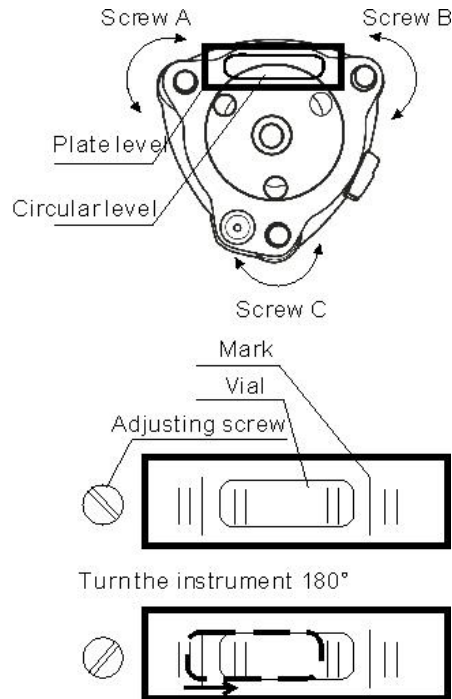


Fig. 40, Ajuste de nivel tubular, Suzhou FOIF Co., Ltd

Comprobación de la constante de instrumento

La constante del instrumento es un valor numérico que se utiliza para corregir automáticamente el desplazamiento entre los centros mecánico y electrónico del instrumento al medir distancias, esta constante está configurada por el fabricante del instrumento, pero es recomendable comprobarla periódicamente y después de un trato rudo al instrumento.

Para comprobar la constante del instrumento se puede hacer comparándola con una línea base correctamente medida o con el siguiente procedimiento:

1. Montar la Estación Total en el punto P, en un lugar lo más llano posible.
2. Colocar un prisma reflector en el punto Q, aproximadamente a unos 100 metros del punto P.
3. Medir la distancia entre el punto P y Q, asegurándonos de tomar en cuenta la constante del prisma.

4. Colocar un prisma en el punto P
5. Montar en instrumento a un nuevo punto R sobre la línea entre el punto P y Q.
6. Medir la distancia desde el punto R al punto P, y desde el punto R al punto Q.
7. Calcular la diferencia entre el valor de PQ con el valor de $RP+RQ$.
8. Mover el instrumento a diversos puntos entre el punto P y el punto Q y realizar varias comprobaciones.
9. Calcular un promedio de todas las diferencias. Si el error esta fuera del rango* se debe trasladar el equipo a un laboratorio.

* La tolerancia de error para la Estación Total FOIF es de 5mm, mientras que para la Estación Total SPECTRA es de 3mm.

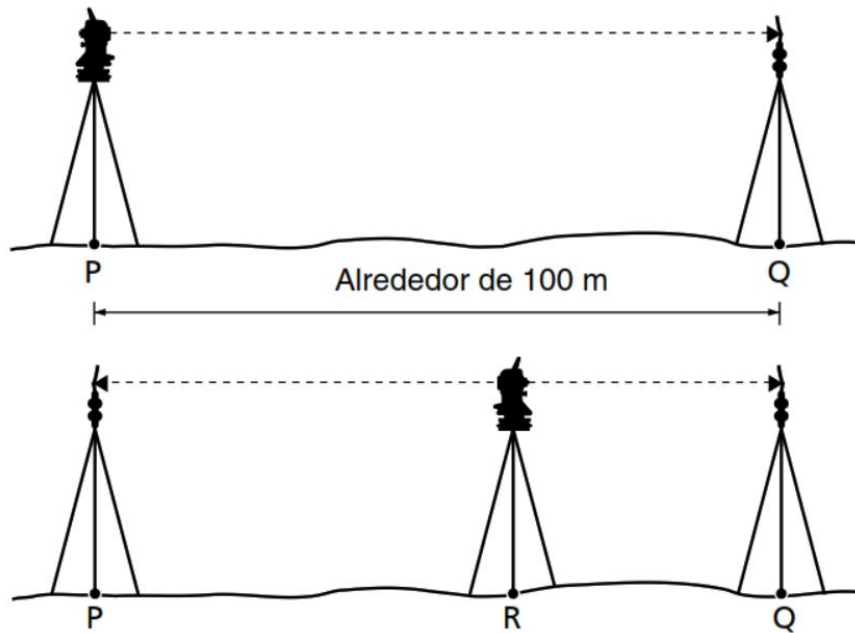


Fig. 41, Comprobación constante del instrumento, Nikon-Trimble Co. Limited.

3.5 Errores en el distanciómetro de la Estación Total

Independientemente del principio de medición que emplee un EDM, ya sea pulso laser o de fase, contienen errores inherentes, estos errores pueden ser a causa de una mala fabricación, su diseño o por la capacidad de sus componentes; los fabricantes antes de poner en circulación un instrumento están al tanto de la magnitud de esos errores y es inspeccionada por ellos, además de que esos errores son tomados en cuenta al momento de establecer la precisión de los instrumentos en su hoja de especificaciones.

Estos errores son variables con el paso del tiempo, es importante tener un conocimiento sobre sus causas y como pueden ser calibrados, dependiendo de la magnitud del error podemos ajustarlo personalmente o en un laboratorio.

Existen tres tipos de error que se determinan mediante un proceso de calibración los cuales son: error de constante aditiva, error de escala y error cíclico; en teoría los errores más comunes serían el error de constante y de escala además que pueden ser corregidos mediante una línea base, el error cíclico conforme se mejoró la tecnología de medición se volvió intrascendente.

Error de constante aditiva. Este error se debe a que el centro mecánico del instrumento y el centro electrónico normalmente no se encuentran en el eje vertical del equipo, se debe a una fabricación imperfecta, y con el tiempo y el uso del instrumento puede aumentar, para contener este error se aplica una corrección a todas las mediciones de distancia, esta corrección se puede definir como la constante del instrumento y corrige el desfase entre los centros mecánicos y eléctricos del equipo; esta constante también se encuentra en diversos prismas reflectantes, es muy recomendable verificar esta constante periódicamente ya sea comparando mediciones con una distancia ya conocida o una línea base de calibración.

Error de escala. Principalmente estos errores son causados por el mal estado del oscilador y los diodos emisores y receptores de señal, esto a causa de su

desgaste mecánico por su tiempo de vida; además estas partes mecánicas son afectadas siempre por las condiciones atmosféricas ya que estas condiciones afectan la velocidad de la propagación de la luz, por eso es muy importante que al momento de realizar mediciones de precisión se introduzcan los valores de presión y temperatura para que el instrumento pueda aplicar las correcciones adecuadas a la medición, algunas Estaciones Totales realizan estas correcciones gracias a su sensor de presión y temperatura incluido. Este error siempre es proporcional a la longitud de la distancia medida.

Error cíclico. Este error se presenta en equipos que miden con el principio de desplazamiento de fase, son causados principalmente por interferencias electrónicas, para evitar esas interferencias los fabricantes emplean carcasas con protección electromagnética, entre la señal de referencia y la señal de medida, principalmente se afecta la homogeneidad de las señales, puede ser la emitida o la recibida.

**CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE
CONFIABILIDAD DE
MEDICIONES SIN
REFLECTOR CON
ESTACIONES
TOTALES**

Dentro de las actividades topográficas nos encontramos con un sinfín de situaciones, condiciones y ambientes diferentes donde se ejecutarán mediciones, no en todas las actividades existe la necesidad de medir distancias en modo sin reflector, pero, cuando existe la necesidad debemos estar seguros de que las mediciones que se llevaron a cabo sean correctas y estén libres de incertidumbre, un ejemplo de trabajo se presenta en la siguiente imagen.



Fig. 42, Zona arqueológica Cacaxtla

Se solicitó efectuar un levantamiento topográfico de la zona arqueológica de Cacaxtla, la cual tiene acceso restringido, esto en cuestión de tener cualquier contacto con el basamento, por lo cual realizar mediciones con un reflector es imposible, en este trabajo aproximadamente el 90% de las mediciones fueron realizadas en modo sin reflector, entonces, encontramos situaciones que nos causan incertidumbre, como, mediciones a distancias largas, mediciones con diferente ángulo de incidencia, medición a diversos materiales (acero, concreto, etc.); así como situaciones donde la divergencia del haz puede causar recopilación de datos erróneos de las mediciones.

Otro ejemplo donde es necesario realizar mediciones sin reflector fue para un monitoreo a estructuras metálicas donde el acceso es imposible debido a

inestabilidad del terreno debido a mal clima, pero, el ritmo de obra exige realizar mediciones no importando las condiciones de la zona del trabajo.



Fig. 43, Monitoreo de estructuras metálicas

Otra situación donde fue necesario realizar mediciones sin reflector, el cual es poco común, es para un peritaje de afectaciones debido a un desastre ya sea meteorológico o en caso de este ejemplo, un incendio, las mediciones se realizaron con la necesidad de averiguar posible daño estructural, así como identificar el área afectada, las políticas de la empresa aseguradora no permite tener contacto con mercancía e inmobiliario siniestrado.



Fig. 44, Zona siniestrada

Para poder realizar estos trabajos con la precisión deseada es indispensable tener conocimiento de cómo realizar mediciones sin reflector con las técnicas adecuadas para minimizar posibles errores en las mediciones y así cumplir con los requerimientos de cada trabajo.

4.1 Metodología

A continuación de verificar y calibrar los instrumentos en caso de ser necesario, para garantizar el correcto funcionamiento de nuestros equipos de trabajo, podemos realizar la investigación. Esta investigación tiene como propósito evaluar la confiabilidad de las mediciones sin reflector en situaciones de trabajo cotidiano, entonces, las condiciones meteorológicas siempre serán diferentes, por eso las pruebas se realizaron por la mañana o por la tarde buscando no exponer el instrumento y el objetivo a luz solar directa, las correcciones de presión y temperatura fueron obtenidas con el sensor integrado de la Estación Total FOIF.

La puesta del equipo se hace tomando en cuenta todas las recomendaciones para evitar las fuentes de error, los instrumentos fueron verificados anteriormente por eso se considera que las mediciones realizadas con estos instrumentos son correctas, se estableció una línea de control para así poder identificar distancias cuando fuera necesario y realizar las mediciones sobre ella, los valores de las correcciones de las partes por millón se aplicaron a ambos equipos, aunque estas correcciones son más notables cuando realizamos mediciones a una distancia considerable, ya que a distancias cortas la afectación es mínima.

4.2 Mediciones a Diferente Magnitud de Distancia

Para este análisis se realizaron mediciones desde el instrumento hacia una superficie lisa y perpendicular al instrumento, la distancia entre el objetivo y el instrumento se fue incrementando gradualmente, estas distancias se tomaron con ayuda de una diana reflectante, a continuación se realizó la medición en modo sin reflector para poder realizar una comparativa de resultados entre la

medición con reflector y la medición sin reflector, esto con la intención de confirmar que la precisión en distancia señalada en la ficha técnica de los instrumentos es la indicada. Cabe mencionar que estas mediciones se efectuaron a un objetivo perpendicular a los instrumentos para evitar influencia por otra fuente de incertidumbre.

Spectra Precision Focus 8

REFLECTOR	SIN REFLECTOR	DISTANCIA (M)
10.010	10.008	
19.998	19.997	
30.001	30.000	
40.002	40.001	
50.002	50.000	
60.004	60.002	
70.003	70.006	
79.998	80.000	
89.999	89.997	
99.997	99.996	

FOIF RTS-362

REFLECTOR	SIN REFLECTOR	DISTANCIA (M)
10.009	10.008	
19.999	20.002	
30.002	30.001	
40.011	40.012	
50.003	50.001	
60.005	60.004	
70.001	70.003	
80.010	80.009	
90.001	89.999	
100.002	100.003	

Analizando los resultados de las mediciones podemos encontrar que las diferencias de las distancias son milimétricas entre un modo de medición y otro, esa diferencia es aceptable ya que se encuentra dentro de las precisiones indicadas por los fabricantes, entonces podemos considerar que las mediciones realizadas en modo sin reflector son aceptables cuando el objetivo se encuentra con un ángulo de incidencia perpendicular, inclusive a cualquier distancia, pero dentro del rango de medición de cada instrumento.

4.3 Incertidumbre Debida a la Divergencia del Haz

Como es de nuestro conocimiento a razón de que la magnitud de la distancia a medir aumenta la huella del punto laser aumenta de igual manera, la divergencia del haz es diferente y depende del fabricante del equipo, esta información debería estar incluida en la hoja de especificaciones de todas las Estaciones Totales, pero, solo algunos fabricantes consideran mencionarlo en sus manuales de operación, es común encontrarlo solo en las especificaciones de Estaciones Totales robotizadas. Debido a eso dicha información para estos instrumentos utilizados es desconocida.

Para determinar a qué distancia esta divergencia empieza a causar incertidumbre se realizaron mediciones a una varilla de acero de media pulgada, la cual fue colocada por delante de un muro, empezando con mediciones a corta distancia y aumentando gradualmente; se obtuvo la distancia del instrumento al muro en modo reflector, con una cinta reflectante la cual fue colocada en el muro de forma perpendicular al instrumento, esto para evitar errores por ángulo de incidencia, dicha medición se considera como la distancia entre el muro y el equipo.

Así mismo para conocer la distancia entre la varilla y el instrumento se determinó en modo reflector con una diana reflectante, esto para confirmar que la varilla se encontraba a 0.616 metros por delante al muro, posteriormente se tomaron mediciones a diferente distancia entre el instrumento y la varilla, hasta encontrar distancias erróneas en modo sin reflector, comparadas con las distancias

verdaderas en modo reflector, la intención fue determinar a qué distancia la divergencia del haz afectaba a la medición sobre la varilla entregándonos información errónea.



Fig. 45, Objetivo pequeño.

Los resultados obtenidos de estas mediciones fueron muy diversos, y prácticamente en ninguna medición la distancia obtenida era la correcta, esto para los dos instrumentos.

Spectra Precision Focus 8

VARILLA (SR)	VARILLA (R)	MURO (R)	ERROR	DISTANCIA (M)
3.577	3.215	3.831	0.362	
5.854	5.283	5.899	0.571	
10.143	9.541	10.158	0.602	
18.683	18.078	18.694	0.605	
21.538	20.930	21.546	0.608	

Los resultados de las mediciones obtenidas con este instrumento nos confirman que ya sea a corta o larga distancia los resultados siempre van a ser erróneos al intentar medir objetos similares a una varilla, por ejemplo, señalamientos de tránsito, tuberías, entre otros. Además, también destaca que a partir de mediciones de 10 metros de longitud el instrumento nos entrega información de distancia del objeto que está ubicado por detrás de nuestro objetivo, en este caso del muro, lo cual no es la información de distancia que nosotros deseamos obtener al realizar este tipo de medición.



Fig. 46, Medición al objetivo pequeño con estación total Focus 8.

Por lo tanto, al encontrar errores en la medición, se complementó la prueba realizando mediciones a la misma varilla, pero sin tener algo por detrás que pudiera intervenir en resultado de la medición, igualmente se tomaron mediciones del instrumento hacia la varilla, en primer lugar, en modo reflector para obtener la distancia correcta y posteriormente en modo sin reflector, se compararon las mediciones y se encontraron los siguientes resultados.

VARILLA (R)	VARILLA (SR)	ERROR	
3.145	3.149	0.004	DISTANCIA (M)
3.986	3.989	0.003	
4.046	NO DETECTADA	N/A	
4.601	NO DETECTADA	N/A	
5.580	NO DETECTADA	N/A	

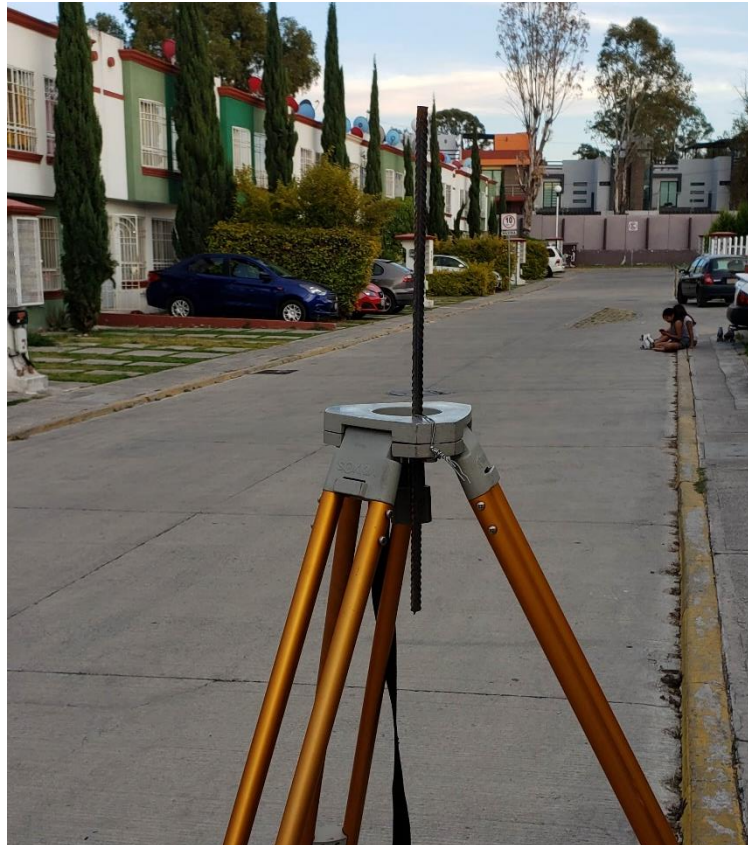


Fig. 47, Objetivo pequeño sin interferencia por detrás.

De acuerdo con los resultados, cuando no se encuentra algo por detrás de nuestro objetivo a medir la distancia obtenida es correcta, sin embargo, a partir de una distancia de 4 metros entre el instrumento y el objetivo simplemente la medición es cancelada por el instrumento al no ser capaz de medir el objetivo, además, podemos considerar que el alcance de 4 metros es mínimo y a esa magnitud de distancias se podría utilizar otro método para ejecutar esa medición. Estos resultados dejan mucho que desear con este instrumento.

FOIF RTS-362

VARILLA (SR)	VARILLA (R)	MURO (R)	ERROR	
3.938	3.760	4.381	0.178	DISTANCIA (M)
5.435	5.387	6.003	0.048	
10.951	10.886	11.502	0.065	
18.284	18.080	18.696	0.204	
20.215	19.944	20.561	0.608	

Mientras tanto el instrumento de marca FOIF curiosamente el error entre las mediciones cuando está cerca de su enfoque mínimo es mayor, hay un rango donde el error es menor, pero conforme aumenta longitud medida el error vuelve aumentar considerablemente, las mediciones son muy inconsistentes y prácticamente variaban cada vez que se realizaba una medición.

Podemos observar que las mediciones no tienen relación ni con la varilla ni con la distancia al muro, a continuación, se realizó la segunda prueba para comprobar la medición sin algo que pudiera intervenir en el resultado de la medición que este por detrás de nuestro objetivo donde los resultados fueron en principio aceptables.



Fig. 48, Medición al objetivo pequeño con estación total Foif RTS-362

VARILLA (R)	VARILLA (SR)	ERROR	
4.046	4.049	0.003	DISTANCIA (M)
5.978	5.980	0.002	
8.872	8.875	0.003	
20.021	20.019	0.003	
29.805	29.807	0.002	
35.964	35.950	0.014	
39.810	39.768	0.042	
45.349	45.280	0.069	

Las mediciones iniciaron cerca del rango donde el equipo Spectra le es imposible obtener una medición, y obtiene resultados aceptables hasta los 30 metros, a partir de ese rango las mediciones contienen errores fuera de la precisión del instrumento, y así aumenta el error conforme la distancia va aumentando.

Se deduce que, si detrás de nuestro objetivo existe un objeto cercano este afectara el resultado de nuestra medición en modo sin reflector y los resultados son inservibles, además los resultados demuestran que la incertidumbre puede considerarse igual para ambos instrumentos; en cuestión de rango de medición la Estación Total FOIF presenta el mejor, esta ventaja puede ser por el tipo de tecnología de medición, el equipo Spectra funciona mediante Desplazamiento de fase, y aunque para el instrumento FOIF no se encontró que tipo de tecnología emplea para realizar mediciones podemos deducir que es mediante Tiempo de vuelo, ya que esta tecnología emplea un haz visible y tiene mayor rango de medición, de cualquier manera las mediciones a objetivos pequeños no son recomendables.

4.4 Mediciones con Angulo de Incidencia

Las mediciones con ángulo de incidencia son muy comunes cuando realizamos mediciones sin reflector en las actividades topográficas, lo ideal siempre será tomar mediciones a un objetivo totalmente perpendicular a nuestro instrumento o con el mínimo ángulo de incidencia posible, pero esto se vuelve poco probable

debido a la pérdida de tiempo por el constante movimiento del instrumento para colocarlo perpendicularmente al objetivo, o la imposibilidad de colocar el instrumento en una zona adecuada por acceso restringido o inestabilidad del sitio.

Considerando que el ángulo de incidencia combinado con la divergencia del haz, la distancia obtenida puede no ser la deseada a donde estamos apuntando con el telescopio, esta puede estar por delante o por detrás dependiendo de la situación, como se muestra en la figura X.

Para esta prueba se colocó el instrumento a una distancia de aproximadamente 20 metros, en primer lugar se realizó una medición en modo reflector para obtener la distancia entre el instrumento y el objetivo, el objetivo fue una diana de color blanco que progresivamente se giró sobre su propio eje vertical cada 10 grados, esto hasta encontrar diferencias en la distancia obtenida y así determinar en qué rango de ángulo de incidencia las mediciones empiezan a presentar datos de distancia erróneos.

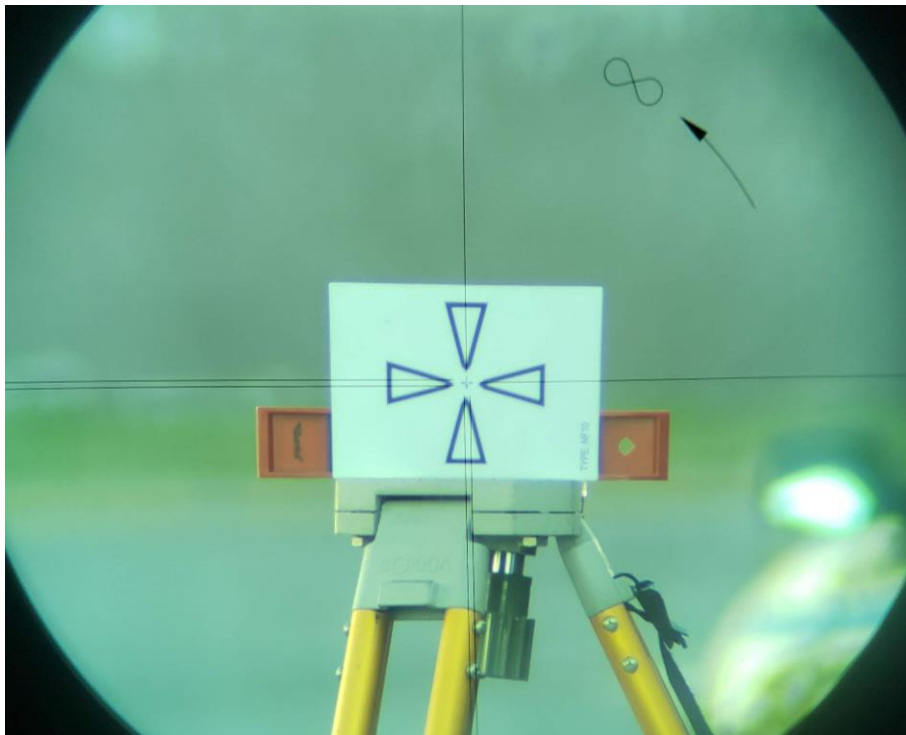


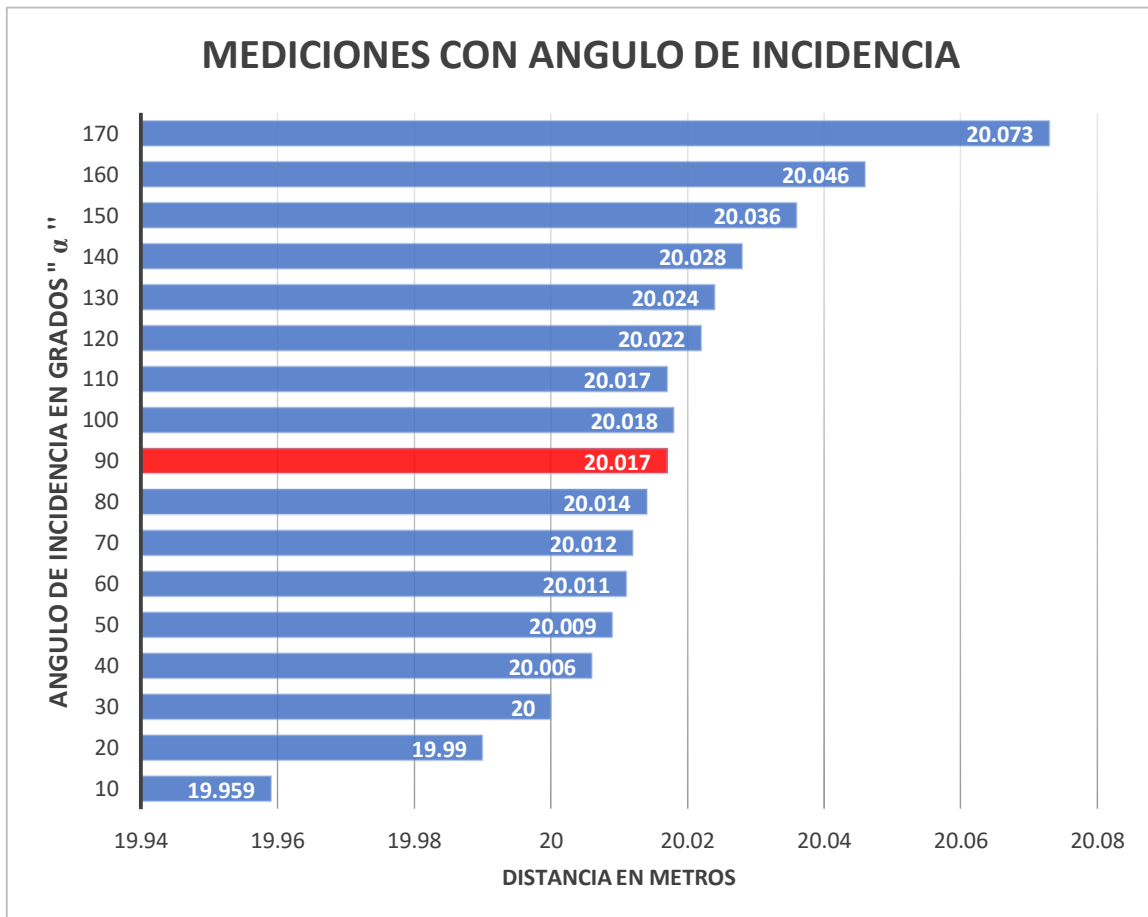
Fig. 49, Objetivo para mediciones con ángulo de incidencia.



Fig. 50, Representación de ángulo de incidencia, Leica Geosystems.

Spectra Precision Focus 8

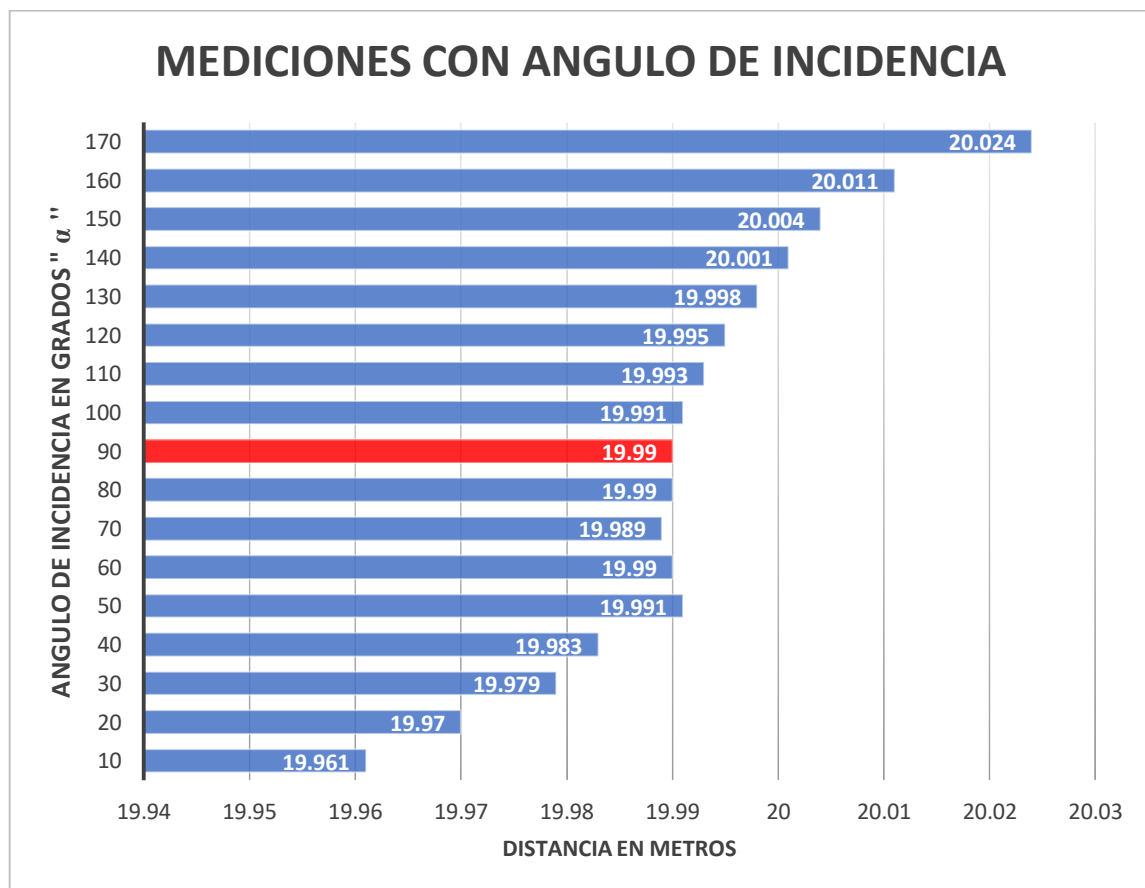
Distancia verdadera = 20.018



En cuestión del equipo Spectra a partir de ángulos (α) mayores de 120° y menores a 60° los resultados de la medición se ven afectados al estar fuera de la tolerancia de precisión del instrumento, conforme el ángulo de incidencia deja de ser perpendicular el error en la distancia aumenta gradualmente entregando distancias mayores o menores a nuestro objetivo.

FOIF RTS-362

Distancia verdadera = 19.990



Los resultados para este instrumento son similares al instrumento anterior donde a partir de ángulos mayores a 120° y menores a 50° se empieza a perder precisión en la distancia, se observa que el error igual aumenta a razón del incremento del ángulo de incidencia.

Con estos resultados podemos determinar que el ángulo de incidencia afecta en la precisión a las mediciones realizadas, si deseamos realizar mediciones o un monitoreo de precisión, es recomendable colocar nuestro instrumento de tal manera que no excedan los valores de ángulo de incidencia para mantener un buen grado de precisión en nuestras mediciones, esto aplica en ángulos de incidencia horizontales como verticales, podemos obtener el ángulo de incidencia por la suma de los ángulos internos de un triángulo formado por las visuales del instrumento, en este apartado los dos instrumentos se comportan de manera similar.

4.5 Mediciones a Objetivos de Diversos Materiales

En las actividades topográficas nos encontramos con necesidad de realizar mediciones sin reflector a diversos materiales que encontramos por ejemplo en postes de CFE, postes de Telmex, luminarias, arboles, muros, entre otros; estas mediciones sin reflector por lo regular se efectúan con la intención de ahorrar tiempo, ya que estos objetivos podemos acercarnos para colocar un reflector. Considerando que el ángulo de incidencia tanto como la divergencia de haz nos puede provocar error en las mediciones, falta comprobar si a pesar de evitar estas fuentes de error las mediciones a diferentes materiales contienen algún tipo de incertidumbre.

Para este procedimiento se colocaron diversos materiales a una distancia comprobada desde el instrumento, esto para verificar si existen afectaciones a causa de los materiales de fabricación de los objetivos, estas mediciones se realizaron eliminando la influencia negativa por el ángulo de incidencia y la divergencia del haz, la distancia fue aproximada a 20 metros para ambos instrumentos, los materiales seleccionados fueron concreto, madera, ladrillo y acero.



Fig. 54, Madera



Fig. 53, Acero



Fig. 52, Concreto



Fig. 51, Ladrillo

Los resultados se muestran a continuación para el equipo **Spectra** a una distancia de 19.989m.

MATERIALES	DISTANCIA	ERROR	DISTANCIA
MADERA	19.985	0.004	
ACERO	19.989	0.000	
CONCRETO	19.987	0.001	
LADRILLO	19.988	0.001	

Mientras que para el instrumento de marca **FOIF** los resultados para una distancia de 19.991m son los siguientes.

MATERIALES	DISTANCIA	ERROR	DISTANCIA
MADERA	19.993	0.002	
ACERO	19.992	0.001	
CONCRETO	19.994	0.003	
LADRILLO	19.991	0.000	

Los resultados nos demuestran que la precisión se ve afectada mínimamente y se encuentra dentro de las precisiones de los instrumentos, entonces podemos asegurar que tomando las precauciones para evitar ángulos de incidencia extremos y la divergencia del haz las mediciones son aceptables.

Como información complementaria en trabajos realizados anteriormente se observa que los colores de los objetivos afectan el tiempo de medición y a veces los objetivos pueden no medirse, esto se debe al coeficiente de reflectividad del objetivo, como resumen, colores muy claros presentan reflectancias elevadas iguales o mayores al 70%, mientras que colores oscuros presentan reflectancias bajas de 0 a 40%.



Fig. 55, Objetivos con diversos colores

4.6 Mediciones A Esquinas

Igualmente estas mediciones a esquinas ya sean internas o externas contienen un error debido a la divergencia del haz, cuando realizamos una medición directa a una esquina interna es posible que parte de haz luminoso refleje en las paredes antes de que el haz llegue a la esquina, a su vez en una esquina externa es probable que la señal refleje igualmente en las paredes dando como resultado una distancia por delante de la esquina deseada, esto se debe al tamaño de la huella del haz laser (zona de muestreo).

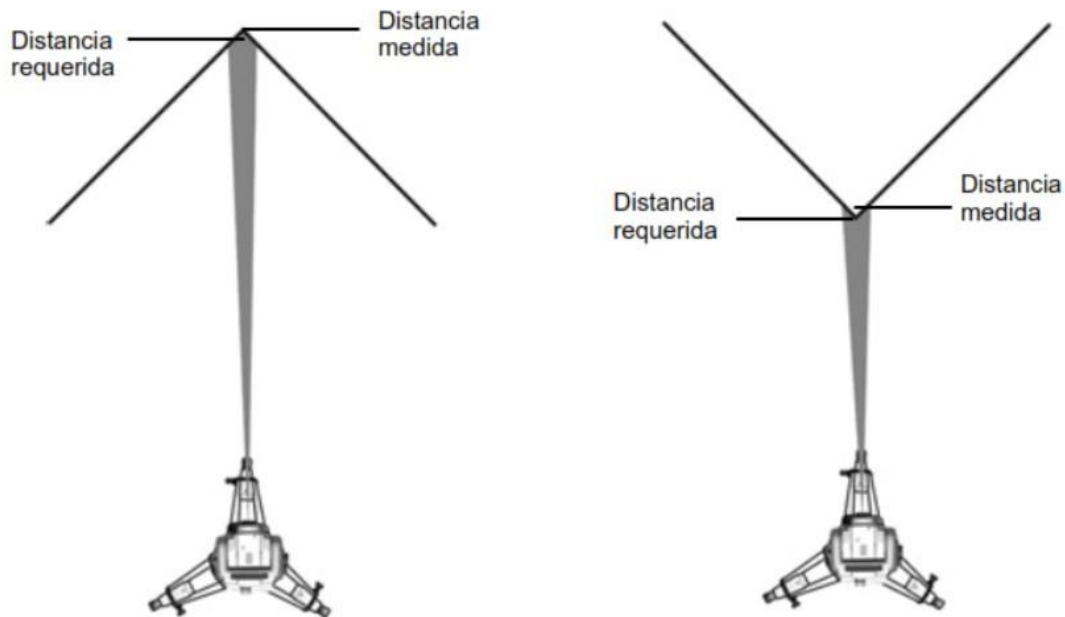


Fig. 56, Mediciones a esquinas internas y externas

Probablemente podamos evitar esta incertidumbre con un haz de medición menor estando muy cerca de la esquina deseada. Lo cual puede ser imposible por situaciones comentadas con anterioridad, además el error no se elimina por completo, las Estaciones Totales contienen programas a bordo para obtener dichas esquinas por métodos de desplazamiento, estos pueden ser, por ejemplo, intersección de dos líneas, desfase por línea y ángulo, etc.

Estos métodos nos pueden solicitar medir dos puntos y un ángulo, o medir 3 o 4 puntos para obtener una intersección, con esto el instrumento es capaz de calcular la ubicación de dicha esquina con precisión, esto depende del instrumento utilizado.

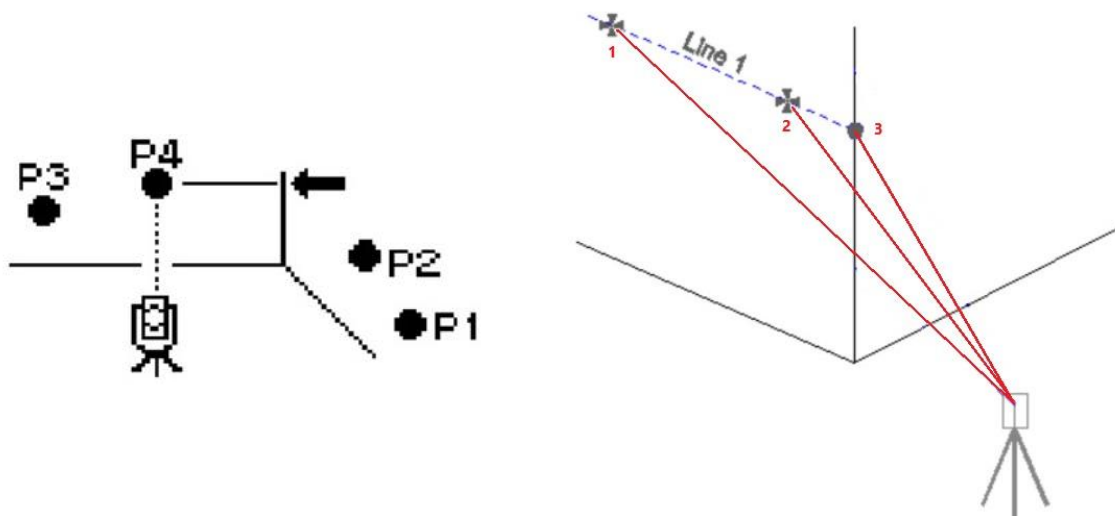


Fig. 57, Obtención de esquinas mediante intersección y/o prolongación

CONCLUSIÓN

En esta investigación se logró obtener resultados de las mediciones sin reflector en situaciones que son las más probables de encontrar en trabajos topográficos, a su vez identificar que hay una gran variedad de Estaciones Totales en nuestro país de diferentes características, de las cuales mucha información de sus principios de funcionamiento no viene informada por los fabricantes, pocas marcas como leica son flexibles en cuestión de información acerca de sus instrumentos.

Con los resultados obtenidos podemos comprender en que situaciones la credibilidad de una medición sin reflector puede verse afectada, y así poder tomar la decisión de aceptar esa medición o descartarla, también confirmamos que la divergencia del haz es un factor que siempre estará presente en todas las mediciones realizadas sin reflector, donde más interviene esta divergencia es al medir objetivos pequeños, y recae la precisión cuando existe un objeto justo por detrás del objetivo que deseamos medir, estos resultados siempre serán erróneos para los dos instrumentos utilizados en esta investigación.

Estos resultados también confirman que hay un rango donde el ángulo de incidencia no comprometerá la precisión en la medición así obteniendo mediciones dentro de las precisiones de los instrumentos, esto se entiende con ángulos de incidencia horizontales como verticales; a su vez las mediciones a distintos materiales no afecta a la medición, pero los colores de los objetivos pueden afectar al rendimiento del instrumento al medir, si es un color altamente reflectante la distancia se medirá adecuadamente mientras que colores con nula reflectividad pueden ser imposibles de medir provocando la cancelación de la tarea de medición del instrumento.

Entonces después de conocer estos factores que afectan a las mediciones, es muy importante tener un buen criterio para tomar decisiones, para poder elegir

técnicas de medición adecuadas, para así garantizar que nuestro trabajo se realice con precisión.

La introducción de la tecnología de medición de distancias sin reflector en las Estaciones Totales nos ayuda a tener más productividad y seguridad en las actividades propias de nuestra profesión, siempre y cuando comprendamos que estas mediciones pueden ser afectadas por diversas situaciones, realizando dichas mediciones con responsabilidad y un correcto criterio para evitar mediciones erróneas.

Debemos comprender que existen dos principios de medición de distancias: el desplazamiento de fase y el pulso laser, cada uno con sus respectivas ventajas y desventajas, por ejemplo un instrumento que mide por desplazamiento de fase es recomendable para levantamientos de interiores donde las magnitudes a medir son relativamente cortas, y a su vez un instrumento que mide por pulso laser es eficaz en trabajos al aire libre ya que su rango de medición es mayor que un instrumento de medición por desplazamiento de fase.

En el mercado existen diversas Estaciones Totales de distintas marcas y precios, podemos deducir que todas tienen el mismo propósito, pero la realidad es que los instrumentos no se desempeñan de la misma manera y están enfocados a diferentes aplicaciones y necesidades topográficas, al momento de adquirir un instrumento debemos no solo fijarnos en el precio, además es importante conocer las características físicas del equipo, la tecnología con la que mide ángulos y distancias, y el software instalado, ya que mientras más programas tenga más soluciones nos puede proporcionar en tiempo real al realizar nuestras actividades en campo. Además, no siempre el equipo más costoso nos va a dar los mejores resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergkvist, J. (2015). *Optimal Design of Network for Control of Total Station Instruments*. Stockholm, Sweden: School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH).
- Booth, S. (2014). *50 YEARS OF WILD HEERBRUGG & LEICA GEOSYSTEMS IN THE UK*. Ceredigion, Wales: Leica Geosystems.
- Bustos, G. N. (2009). LA ESTACION TOTAL., (págs. 1-41).
- CJ Hope & SW Dave. (2015). Precision survey monitoring with a reflectorless total. *Australian Centre for Geomechanics (ACG)*, 93-106.
- Coaker, L. H. (2009).
Reflectorless Total Station Measurements and their Accuracy, Precision and Reliability. Queensland, Australia.
- DVOŘÁČEK, F. (2012). *Calibration of Electronic Distance Meters* . Praga, Republica Checa: CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE.
- Fawzy, H. E.-D. (2015). *EVALUATE THE ACCURACY OF REFLECTOR-LESS TOTAL STATION* . Kafr El-Sheikh, EGYPT : International Journal of Civil Engineering and Technology .
- FOIF Co., L. (2013). *RTS360 Series Total Station Instruction Manual*. Suzhou: FOIF Co., Ltd.
- Ford, J. (2015). *Effect of environmental surroundings on accuracy and precision of total station measurements* . Queensland : University of Southern Queensland .
- Garcia, D. A. (2014). *Topografía y sus Aplicaciones*. México: Compañía Editorial Continental.
- García., J. A. (2012). *LA ESTACION TOTAL*. Santiago, Chile: UNIVERSIDADE DE SANTIAGO. ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LUGO. .
- Graesser, C., & Koehler, M. (2014). *Electronic Distance Meters inside Trimble's Geospatial Instruments* . Danderyd, Sweden: Trimble.

- Hannes, M., & Hans-Martin, Z. (2015). *WFD – Wave Form Digitizer Technology*. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG.
- Höglund, R., & Large, P. (2003). *Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer*. Westminster, Colorado, USA: Trimble Integrated Surveying Group.
- Ibarra, M. A. (2009). *Tratamiento de errores en levantamientos topográficos*. México: INEGI.
- J.R.Smith. (1998). *The History of Geodimeter®*. Danderyd, Sweden: Spectra Precision AB.
- James, J. (2016). *The Effect of Materials and Conditions on Reflectorless Electronic Distance Measurements from a Total Station*. Queensland: University of Southern Queensland.
- Kavanagh, B., & Mastin, T. (2014). *Surveying Principles and Applications*. New Jersey: Pearson Inc.
- Khalil, R. (2013). *EDM & Stadia*. Arabia Saudí: Faculty of Environmental Design-King AbdulAziz University.
- Lambrou, E., & Pantazis, G. (2010). Evaluation of the Credibility of Reflectorless Distance Measurement. *JOURNAL OF SURVEYING ENGINEERING © ASCE*, 165-171.
- Leica Geosystems. (2013). *Principios básicos de Topografía*. Heerbrugg, Suiza.
- McCormac, J. (2004). *Topografía*. Mexico: Limusa Wiley.
- Nikon-Trimble Co. Limited. (2009). *GUÍA DEL USUARIO Estación total Spectra Precision Focus 8*. Westminster: Nikon-Trimble Co. Limited.
- Reda, A., & Bedada, B. (2012). *Accuracy analysis and Calibration of Total Station based on the Reflectorless Distance Measurement*. Stockholm, Suecia: Royal Institute of Technology (KTH).
- Sánchez Espeso, J., & Pereda García, R. (2013). *Topografía y Geodesia-G337*. Cantabria: Universidad de Cantabria.

Smith, J. R. (2009). *Invention of the Tellurometer – A giant leap forward in surveying* . PositionIT.

Toscano, R. (1926). *Elementos de Teoria De Los Errores*. México: IMPRENTA REVLIX´S.

Trimble Inc. (2017). *Guía del usuario Spectra Precision® FOCUS® 35*. Westminster: Trimble Inc.