

TEMA 3: MEDICIÓN DE DISTANCIAS

INTRODUCCIÓN

Cuando la superficie a representar es suficientemente pequeña, puede prescindirse de la curvatura de la tierra, con tanto menor error cuanto menor sea el ámbito de que se trate. En dicho supuesto, la proyección de los puntos de la tierra sobre un plano de comparación tangente a ella será obviamente una representación fiel del tema en estudio, si se hace abstracción del relieve.

Si suponemos un plano de comparación del nivel adoptado como cero, se señalan los puntos antes mencionados por su altitud sobre dicho plano, y si se unen por una línea continua aquellos puntos que presenten la misma altitud, formando una red de “curvas de nivel”, simultáneamente se dispondrá de la representación planimétrica y altimétrica del terreno.

El resultado será un “plano topográfico”, su sistema de representación es el definido en geometría descriptiva como de planos acotados. Cada plano, representación fiel del terreno, guarda con éste una relación de semejanza conocida como escala, variable con la utilidad que del mismo se pretende.

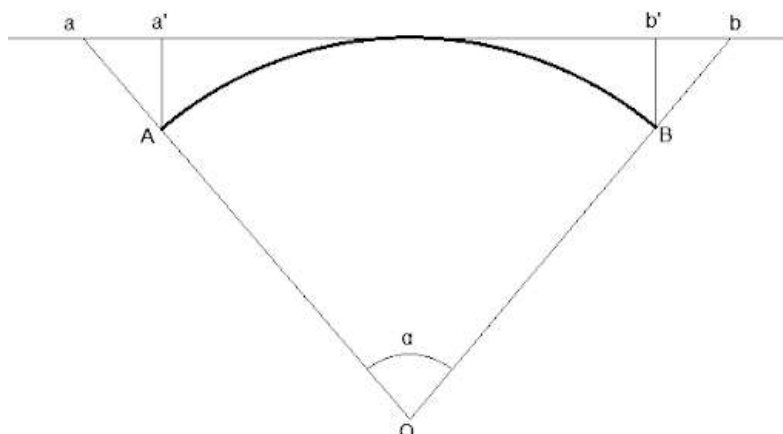
Cuanto menor sea dicha relación de semejanza, más difícil será definir, a partir de cierta magnitud, los detalles de este. Se define como límite de la percepción visual del ojo humano hasta $\frac{1}{4}$ de milímetro con error no superior a $\frac{1}{5}$. En el mismo sentido, conociendo una escala 1:m, es inútil pretender representar sobre el plano elementos que tengan dimensiones reales menores a $0,2Xm$ milímetros.

INFLUENCIA DE LA CURVATURA TERRESTRE EN PLANIMETRÍA

Mediciones radiales

Supuestos dos puntos A, B sobre la esfera local, al unirlos por su arco de círculo máximo y estableciendo como plano de comparación la tangente en el centro del mismo, la representación en planos acotados de A y B debería ser a' , b' . Sin embargo, al realizar el levantamiento, la plomada seguirá la dirección AO, o bien la BO, por lo que se obtendrá realmente la representación de A y B en a y b. El error será, pues, aa' y bb' .

En tanto aa' , bb' sean despreciables, podrá realizarse el levantamiento de AB por medios topográficos.



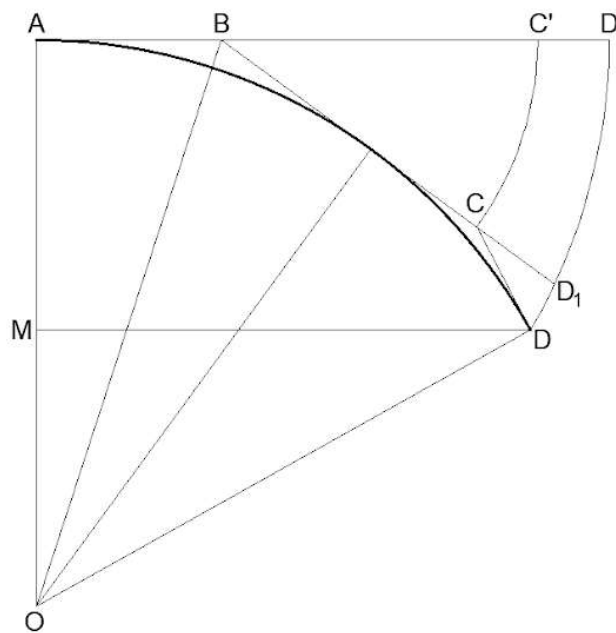
Si $\alpha = 5'$ supuesto el radio medio de la tierra $R = 6375\text{km}$, la cuerda y el arco AB difieren en menos de 1 milímetros, siendo su valor absoluto de aproximadamente 10 kilómetros.

El máximo alcance de los instrumentos topográficos (no geodésicos) es inferior al referido y, por lo tanto, se puede afirmar que el error en mediciones radiales, a partir de un punto P cualquiera de la tierra es despreciable, en los supuestos ya mencionados.

Por otro lado, si realizáramos el levantamiento del itinerario ABCD, con plano de comparación tangente en A, el resultado es como si desarrollamos el arco AD sobre ABC'D', tal que:

$$AD = AB + BC' + C'D'$$

$$\text{Con: } BC' = BC \text{ y } C'D' = CD_1 = CD$$



No existe error de curvatura, pues, en ningún plano itinerario, independientemente de la longitud de este. Carreteras, ferrocarriles, vías fluviales, pueden levantarse sin vacilación.

MEDICIÓN DIRECTA DE DISTANCIAS

El relevamiento topográfico, se resume en la medición de distancias y de ángulos. La cinta métrica es un instrumento de precisión. Sólo su incomodidad y lentitud de manejo hace que sea sustituida por otros procedimientos y métodos de relevamiento. En topografía, hasta la aparición de los instrumentos de distancimetría electrónica ofrecía las precisiones más elevadas.

Para conseguir una correcta utilización, es necesario atender las debidas correcciones por diversas causas.

Se dice que una distancia es medida directamente cuando se aplica el instrumento de medición o se recorre efectivamente el intervalo entre los extremos a medir. En el caso de relevamiento con cinta métrica, la metodología puede ser por pendientes o por resaltos o bancadas.

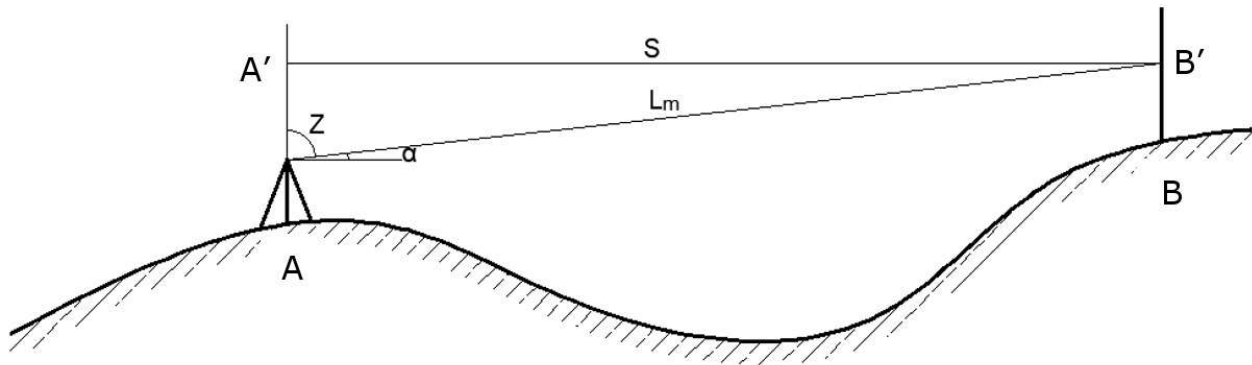
En cualquiera de los dos casos, y a los efectos de la topografía, es necesario determinar la distancia horizontal o "distancia topográfica".

Medición de distancia directa por pendientes

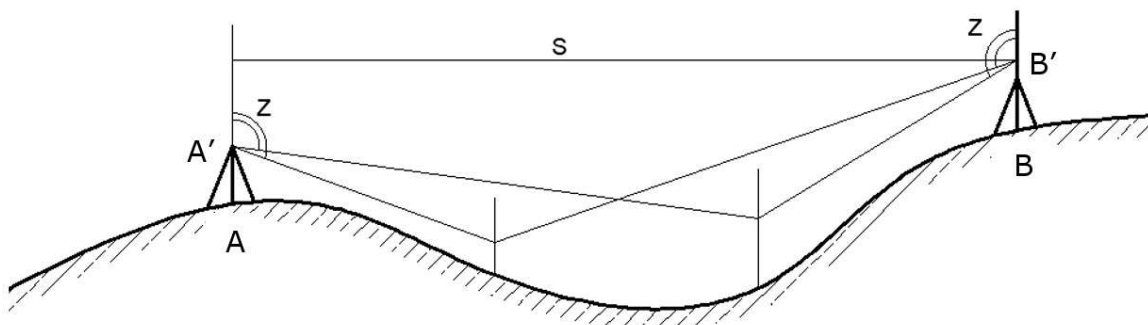
Considerando dos puntos A, B, tal que la distancia entre ambos puntos es L_m , es necesario determinar mediante mediciones, bien el ángulo cenital (Z) o el ángulo de altura α .

La distancia topográfica vendrá dada por la expresión:

- $S = L_m \text{ sen}(Z)$
- $S = L_m \text{ cos}(\alpha)$



Si la distancia a medir es mayor que la longitud de la cinta, uno de los procedimientos a realizarse es realizar mediciones desde o hacia dos puntos intermedios, adoptando como valor final el promedio de los dos valores obtenidos. La diferencia entre ambos valores será medida de la precisión del trabajo realizado.



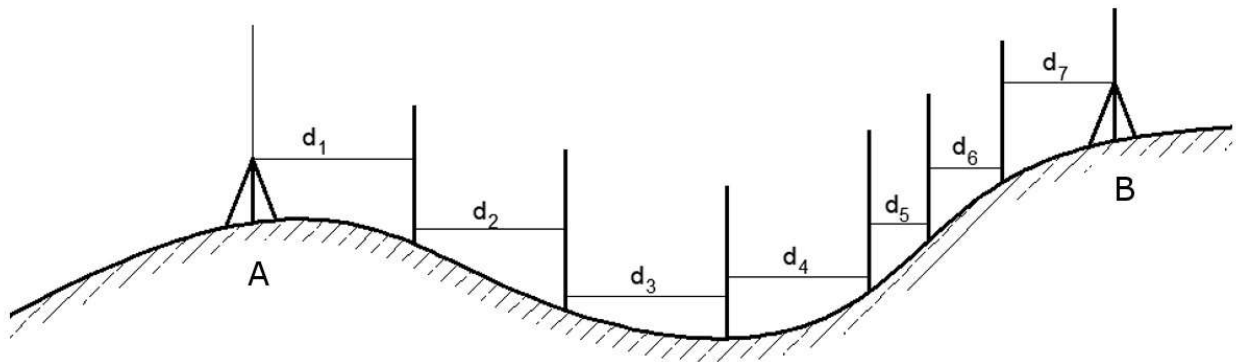
Medición de distancia directa por resaltos o bancadas

Considerando dos puntos A, B, tal que se requiere conocer la distancia topográfica entre ellos, y la diferencia de alturas entre los puntos es importante. El método de medición directa por bancadas establece la medición de la distancia horizontal por tramos, tal que la diferencia de altura pueda ser salvada y permita considerar la distancia medida de manera directa, como distancia horizontal.

Para la aplicación del método es necesario contar con jalones, cinta de acero y agujas. Los puntos intermedios deben de estar alineados y los jalones correctamente verticalizados.

La distancia horizontal entre A y B será la suma parcial de las distancias horizontales. Dichas distancias serán la menor distancia entre los intervalos.

$$D_{AB} = \sum d_i$$



Se resalta que el método será válido siempre que los puntos intermedios se encuentren alineados y su materialización mediante un jalón o similar, vertical respecto a la superficie.

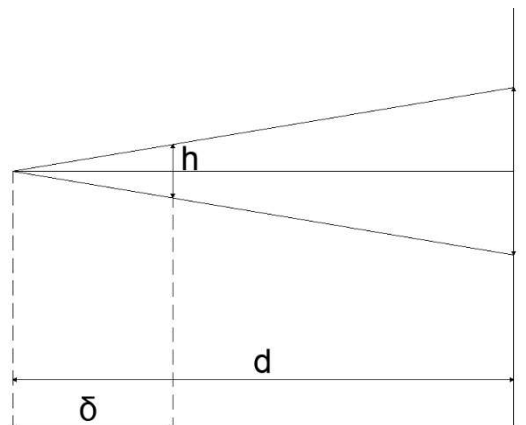
Medición de distancias con hilos INVAR

MEDICIÓN INDIRECTA DE DISTANCIAS

Medición de distancias con estadímetro

Supongamos una regla vertical observada a través de dos listones horizontales. Se tiene que,

$$\frac{l}{h} = \frac{d}{\delta}$$

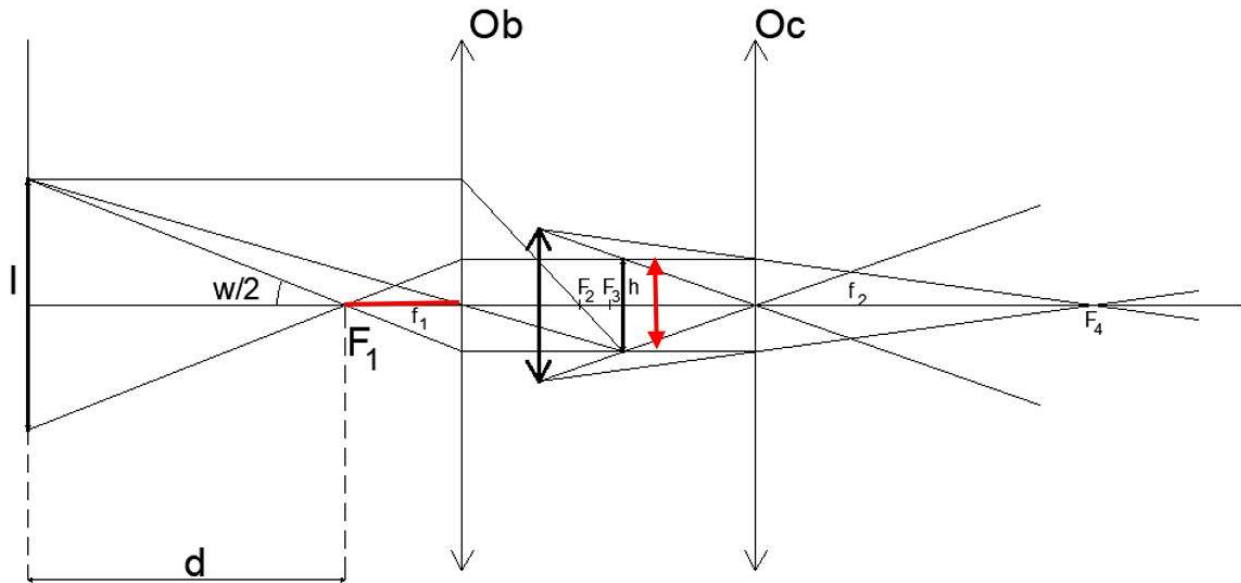


Se define la distancia, d , entre el punto de estación y la regla mediante la determinación de los parámetros l, h, δ

Considerando δ y h constantes, tenemos que $d = \frac{\delta}{h} \cdot l = K \cdot l$

Definiendo K como constante diastimométrica, que multiplicada variable l , proporciona el valor de la distancia d .

La solución de Reichembach se representa en la siguiente imagen:



Siendo l la longitud interceptada sobre la mira por los hilos del retículo del anteojo, de separación constante e igual a h , se tendrá:

$$\frac{l}{d} = \frac{h}{f_1}$$

Considerando los triángulos semejantes formados en la reversión de los rayos de luz.

En consecuencia:

$$d = \frac{f_1}{h} \cdot l = K \cdot l \quad \text{siendo constantes } \{f_1, h\}$$

Por otro lado:

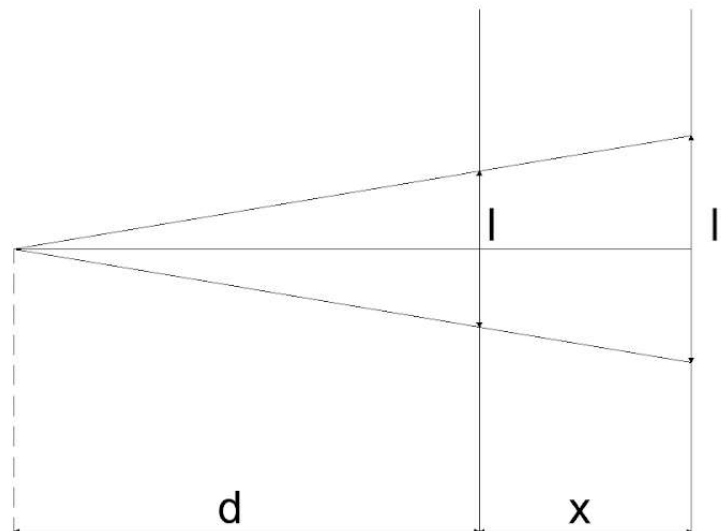
$$\tan \frac{w}{2} = \frac{h}{2f_1} = \frac{1}{2K}$$

$$d = \frac{1}{2 \tan \frac{w}{2}} l = Kl$$

A w se le denomina ángulo diastimométrico y a F_1 , punto desde el que se miden las distancias d , punto analítico.

Como la distancia real buscada debe medirse desde el centro del instrumento, se deberá adicionar una constante K' , siendo la distancia $D = K \cdot l + K'$.

La constante K suele ser un número sencillo, generalmente 100. En caso de no conocerse, se puede determinar tomando dos distancias sobre una misma alineación.



Consideramos:

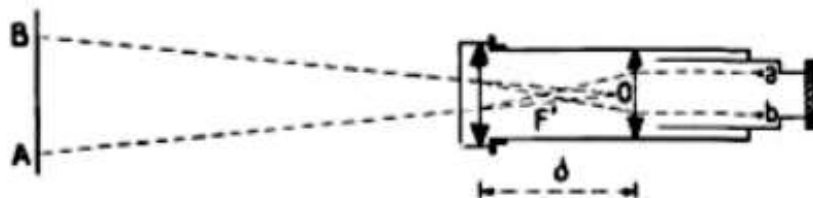
$$x = K.l + K'$$

$$x + d = K.l' + K'$$

$$d = K(l' - l)$$

$$K = \frac{d}{l' - l}$$

Con el objeto de eliminar la constante K' , Porro ideó un anteojo llamado de analatismo central, que desplaza al punto analítico hasta la intersección del eje de colimación con el eje principal.



La distancia de la lente analítica al objetivo ha de ser inferior a la distancia focal de este, y así queda siempre interpuesta entre el objetivo y la imagen. Esta actuará, por tanto, respecto a la lente analítica como objeto virtual y nos dará una segunda *imagen real* más pequeña que la anterior del mismo lado de la lente y también invertida respecto al objeto. En la figura se representa la trayectoria de los rayos luminosos desde el retículo al objeto. En a y b se señala la sección de los hilos del retículo, y los rayos que de ellos parten, paralelos al eje del anteojo, pasarán por F' , foco de la lente analítica. Este punto queda situado entre el objetivo y su foco, y, por tanto, nos dará su imagen, respecto al objetivo, en otro punto O que cumpla con la condición de las lentes:

$$1/\delta - f_1 + 1/x = 1/f$$

se representan por δ la distancia de la lente analítica al objetivo; f_1 y f son las distancias focales de ambas, respectivamente, y x la distancia del punto O al objetivo. Los rayos, al salir de este, procederán del punto O interceptando a la mira en A y B, puntos en que al observarla con el anteojo se la verá atravesada por los hilos del retículo. El punto O funciona como punto analítico y

deberá coincidir con el centro del instrumento, y a partir de él se miden las distancias; el ángulo AOB podrá tomarse como ángulo diastimométrico, por ser constante, ya que solo depende de las distancias focales del objetivo y de la lente analítica, de la distancia δ entre estas y de la separación de los hilos, magnitudes fijas todas ellas. Llamando ω al ángulo diastimométrico y l la lectura de mira, se tendrá: $D=l / (2.tg \frac{1}{2}\omega)$ y haciendo, igual que antes, $K = 1 / (2.tg \frac{1}{2}\omega)$, tendremos como valor de la distancia:

$$D = K \cdot l$$

Para que el anteojo sea utilizable es preciso que se cumpla la doble condición siguiente:

$$f_1 < \delta < f$$

MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE DISTANCIAS (EDM)

Principios de distanciometría electrónica

Los primeros experimentos de Fizeau (1849), Michelson (1926), para determinar la velocidad de la luz, basados en el tiempo transcurrido entre la emisión de un haz luminoso y su recepción en el mismo punto de partida tras una reflexión en un espejo plano situado a una distancia conocida, fueron extendidos a la medición de distancias a partir del mismo esquema operativo, pero considerando como incógnita la distancia a medir, conocida la velocidad de la luz y determinado, como antes, su tiempo de propagación en el trayecto fijado.

En 1948, el profesor Bergstrand de Estocolmo, creó un nuevo instrumento de medición, al que denominó Geodímetro, pero basado en otro principio. En vez de determinar el tiempo de propagación de las ondas electromagnéticas emitidas y reflejadas, determina la diferencia de fase entre la onda emitida y la reflejada.

Luego siguieron otros instrumentos como el Telurómetro, concebido en Inglaterra, en el año 1957, aplicado en África del Sur. Más tarde, en el año 1962, la casa suiza Wild lanzó el Distomat DI 50.

Los tres se basan en el mismo principio, consistente en emitir una radiación de longitud de onda conocida, esta es reemitida o reflejada en el otro extremo de la línea a medir, siendo a su vez recogida en el aparato emisor, donde por medios electrónicos se compara la diferencia de fase entre la onda emitida y la recibida.

Principio fundamental de aplicación para las EDM:

La aplicación de ondas electromagnéticas a la medida de distancias utiliza dos principios fundamentales

Uno de ellos consiste en medir el tiempo transcurrido para recorrer una distancia, una onda cuya velocidad es conocida.

$$D = \frac{c}{2t}$$

Para esta aplicación es necesario contar con un reloj atómico midiendo el tiempo que tarda en ir y volver la luz láser. Se le puede conocer como método de vuelo o pulsación.

El otro principio, prácticamente utilizado por todos los instrumentos topográficos de medición de distancia, se basan en la comparación de fases.

De esta manera, el aparato transmisor situado en un extremo del eje a medir emite una onda llamada portadora, la cual es modulada para poder ser medida y llega a un receptor situado en el otro extremo, y es nuevamente devuelto al emisor-receptor para determinar la distancia.

Supongamos una onda electromagnética definida por:

$$y = A \cdot \sin (wt + \varphi)$$

Donde:

- A = amplitud
- w = velocidad angular
- y = elongación
- t = tiempo
- φ = fase correspondiente a t=0

Se entiende por fase a la característica que indica el estado de avance o progreso de un fenómeno periódico, y viene relacionado por:

$$\varphi = wt$$

En dos instantes diferentes, valdrá:

$$\varphi_1 = w_1 t_1$$

$$\varphi_2 = w_2 t_2$$

Luego, la diferencia de fase:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = w(t_2 - t_1) \Rightarrow t_2 - t_1 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{w}$$

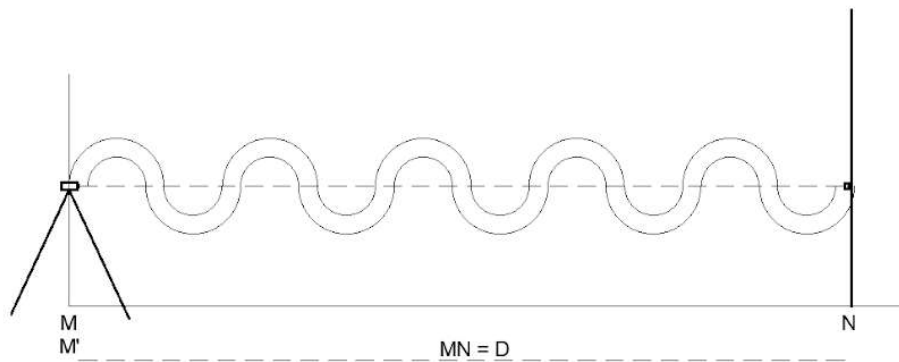
Y como $w=2\pi f$

$$t_2 - t_1 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2\pi f}$$

De manera que se puede establecer una relación entre diferencias de tiempo y diferencia de fase de una señal de frecuencia conocida.

Ahora suponiendo un emisor de la onda situado en M, el reflector (activo o pasivo), en N y la distancia a medir $MN=D$.

Se emite una onda desde el reflector hasta el prisma, supongamos que se refleja en él en forma puntual. La onda reflejada llegará a M como si viniera de M' simétrico de M respecto a N.



Con una longitud de onda λ , la distancia será

$$2D = \lambda \left(m + \frac{\theta}{2\pi} \right) \Rightarrow D = \frac{1}{2} \lambda \left(m + \frac{\theta}{2\pi} \right)$$

Donde m es el número entero de longitudes de onda contenido en la distancia MM' y θ es el desfase entre la onda emitida y recibida.

Si utilizamos otra onda λ_1 , próxima también se cumplirá $D = \frac{1}{2} \lambda_1 \left(m + \frac{\theta_1}{2\pi} \right)$

La solución a la determinación de D estará en teoría resuelta, ya que se puede medir θ , θ_1 y como λ , λ_1 , son conocidas.

La medición de θ se realiza comparando la fase de la onda modulada al salir y la de retorno. Para ello se utiliza un comparador.

Hay que tener en cuenta que, dado que en el emisor el centro geométrico y el eléctrico no son coincidentes, por lo que se produce un recorrido no recogido en la formulación anterior, y que también en el reflector la onda sufre un recorrido interno, se debe considerar una constante aditiva respecto de estos 2 factores, que llamaremos K .

Entonces la fórmula anteriores quedará expresada como: $2(D + K) = \lambda \left(m + \frac{\theta}{2\pi} \right)$

La longitud de onda es función de la frecuencia de modulación y de la velocidad de propagación $\lambda = \frac{c}{f}$

La velocidad de propagación de la onda, tendrá un valor c , que será menor que la velocidad en el vacío, y estará relacionada por el índice de refracción de acuerdo a $c=c_0/n$. el valor de n a priori será desconocido y dependerá de los factores atmosféricos. Por lo que la distancia quedará formulada como:

$$D = \frac{1}{2} \frac{c}{f} \left(m + \frac{\theta}{2\pi} \right) + K$$

Determinación de c :

La velocidad de la onda electromagnética c en el lugar de medición vendrá dado por $c=c_0/n$, siendo $c_0=299.792,5$ km/s la velocidad de la onda en el vacío, y n el índice de refracción del aire en las condiciones de la medición.

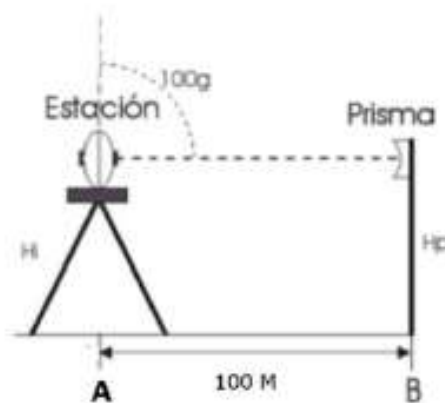
La precisión en la medición dependerá de la determinación del índice de refracción. En las estaciones totales, la corrección resulta automática en el instrumental en casi todas las marcas. El instrumento suele solicitar parámetros atmosféricos temperatura y presión atmosférica. Se puede aplicar la fórmula de Gladstone:

$$\frac{n-1}{P} T = \frac{n_0-1}{P_0} T_0$$

Donde P y T presión y temperatura Kelvin, $T_0 = 273^\circ$ Kelvin y $P = 760\text{mm/Hg}$, n_0 vale 1,00030306 para un contenido básico de CO_2 en el aire de 0,03%

Determinación de K:

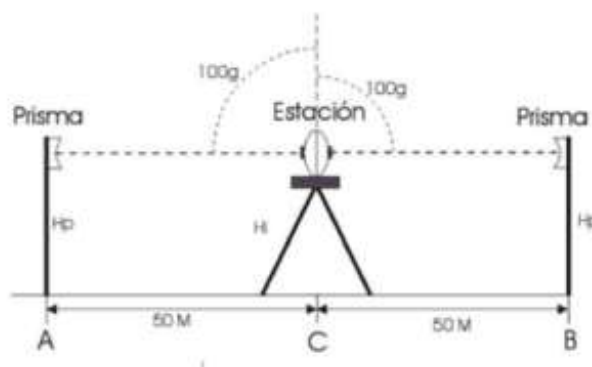
La constante K característica de cada instrumento y reflector es el componente de dos factores: la constante del instrumento y la constante de prisma.



La determinación de la constante de prisma es una práctica relativamente sencilla. Se debe medir una distancia corta, en buenas condiciones atmosféricas con el prisma a comprobar. A continuación, se sustituye el prisma por una placa reflectante (cuya $k=0$) y la diferencia entre ambas medidas nos dará el valor aproximado de la constante (el valor exacto será en el vacío).

La constante del instrumento se produce por la falta de coincidencia entre el centro geométrico del instrumento (que debe coincidir con el punto de estación) y el centro electrónico o de emisión de onda. Dicha constante, conocida como constante aditiva, suele ser corregida por el fabricante.

No obstante, es usual utilizar instrumentos y prismas que no necesariamente fueron adquiridos en el mismo momento ni a la misma empresa. Es necesario poder comprobar la constante $K=a+c$ (constante de prisma + constante aditiva). El procedimiento será el siguiente.



Se colocan tres puntos alineados, preferentemente sobre trípodes o bases fijas. Y sus respectivas bases nivelantes. Se coloca la estación en el punto A, y se mide la distancia A-B, luego se coloca la estación en el punto C y se miden las distancias C-A y C-B. Se tendrá entonces que:

$$D_{AB} + K = D_{CA} + D_{CB} + 2K \Rightarrow K = D_{AB} - (D_{CA} + D_{CB})$$

Se recomienda repetir el proceso varias veces y promediar el resultado final. Se entiende que la línea de medida deberá ser totalmente horizontal, nivelándose si fuera necesario.

Determinación de m:

Previo a realizar el cálculo para la determinación de m, es necesario definir el concepto de distancia límite, entendiéndose por éste a la distancia por debajo de la cual el número de semilongitudes de onda es el mismo en dos medidas efectuadas, una con λ_1 y la otra con λ_2 .

Tendremos entonces que:

$$D = \frac{1}{2}\lambda_1 \left(m + \frac{\theta_1}{2\pi} \right)$$

$$D = \frac{1}{2}\lambda_2 \left(m + \frac{\theta_2}{2\pi} \right)$$

La distancia límite D_{lim} para la cual θ_1, θ_2 son iguales, se cumple que:

$$D_{lim} = m \frac{\lambda_1}{2} = (m + 1) \frac{\lambda_2}{2} \Rightarrow m = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \Rightarrow D_{lim} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)}$$

Si se está midiendo una distancia inferior a la distancia límite con dos ondas λ_1 y λ_2 y obteniendo dos fases θ_1 y θ_2 , con ambos se podrá determinar m, aplicando los siguientes sistemas:

- Variación continua del valor de la longitud de onda
- Medición con tres o más longitudes de onda
- Utilización de longitudes de onda múltiplos de 10 m.

El método de las longitudes de onda múltiplos a 10 m, está basado en la medida del desfase, y consiste en la producción de onda cuya longitud sea múltiplo de 10 m.

Se comienza con una onda, por ejemplo, $\lambda = X$ m. Cualquiera que sea la distancia obtendremos un valor igual o menor de una semilongitud de onda, es decir, entre 0 y 10m, con un error del orden de 1 cm. De esta manera, se conserva la cifra correspondiente al metro, decímetro, centímetro.

A continuación, se emplea una onda de $\lambda = 10^1 \cdot X$ m y se obtiene un valor correspondiente entre 0 y 100m, con un error de 10 a 20cm. Este número representa el exceso a un número entero de hectómetros, del que se conserva la cifra de los decámetros, que estará exenta de error.

Se continúa con $\lambda = 10^2 \cdot X$ m y con ella se determinan los hectómetros, y así sucesivamente hasta que la energía del emisor lo permita. No es necesario que el emisor disponga de un oscilador que dé la gama de frecuencia necesaria, que se pueden obtener por combinación de frecuencias.

Este proceso se encuentra integrado en el microprocesador del instrumento, el cual sólo muestra en la pantalla la medida final.

Determinación del desfase θ :

El desfase entre la onda emitida y la reflejada es esencial en cualquier caso para la determinación de la distancia deseada. En la actualidad, el método más utilizado es el de búsqueda de nulo, mediante la medición digital.

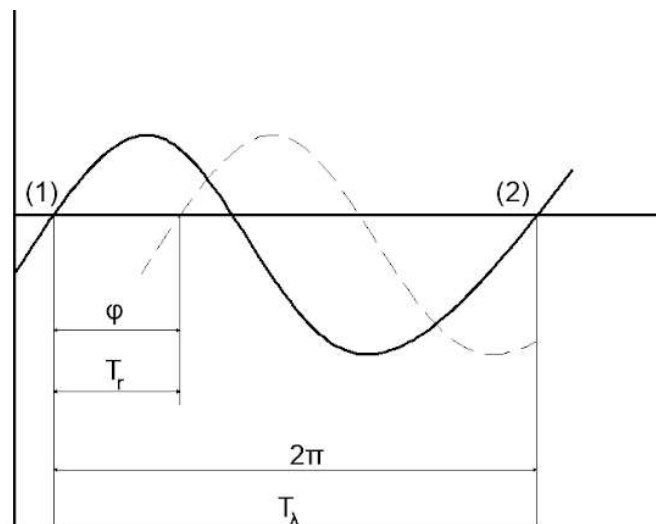
La búsqueda del nulo pretende desplazar la onda de llegada hasta hacerla superponer con la de referencia y medir dicho desplazamiento, el cual indicará el desfase.

La mayoría de los instrumentos determinan el desfase por medio de la medición digital. Para ello se utiliza un oscilador que mide el tiempo, y a partir de él, el desfase.

En el inicio de fase de la onda de salida se activa el contador del oscilador, el cual se detiene a detectar el origen de la fase siguiente, es decir, una vuelta completa, o sea, una longitud de onda recorrida cuyo tiempo invertido es T_λ proporcional a λ .

A su vez, otro circuito activa el contador al mismo tiempo que en el primer caso y lo detiene en el origen de la fase de la señal de retorno, midiendo T_r o proporcional al desfase. Con lo cual:

$$\theta = 2\pi \frac{T_r}{T_\lambda}$$



ERRORES EN LA MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE DISTANCIA

A continuación, se estudiarán los errores sistemáticos en la medición electrónica de distancias, los cuales obedecen a una ley matemática; Error cíclico, velocidad de propagación, error de escala, corrección de offset o de excentricidad, y el error de cero o constante aditiva (el cual fue visto anteriormente).

Error cíclico

Los fenómenos de interferencia presentes en los mecanismos ópticos/electrónicos, más efectos de multipath (como en las antenas de GNSS) entre las señales transmitida y recibida causan el error cíclico. Su valor varía en forma aproximadamente sinusoidal con un período igual a la unidad de longitud del distanciómetro que es igual a la semilongitud de onda de la frecuencia de medición

(frecuencia de modulación). Esto quiere decir que a iguales intervalos tiende a repetir su módulo y signo.

En equipos viejos alcanza valores significativos de varios centímetros e incluso dos o tres decímetros. Hoy en día no llega a los 2 mm pero debe ser tenido en cuenta ya que modifica nuestro valor final. Se determina comparando con un patrón (cinta calibrada) a intervalos iguales (de $L/10$) dentro de la unidad longitud de onda de medición y ploteando una curva para este error. Será la primera reducción a aplicar.

Error de escala

Un distanciómetro se diseña para una frecuencia de medición, esta frecuencia está determinada por un oscilador. Cualquier variación de esta afectará a la distancia resultante. Como ya se mencionó la estabilidad de un oscilador se evalúa de tres formas, a corto plazo, a largo plazo y en función de las condiciones ambientales. Las variaciones a largo plazo debidas al envejecimiento del oscilador deberán verificarse anualmente. Esta variación de la frecuencia cambiará en un factor de escala la distancia medida. El método más común para determinar dicha escala consiste en comparar las mediciones, en una base de calibración trazable (comparable con los patrones de medida legales). Las distancias medidas deberán satisfacer la siguiente ecuación:

$$K \cdot S - D = 0$$

- K = factor de escala.
- S = distancia medida.
- D = distancia de calibración.

Las diferentes distancias se procesan simultáneamente, por mínimos cuadrados, para determinar el factor K que deberá aplicarse a cada distancia medida. La alternativa consiste en el uso de un frecuencímetro para comparar con este la frecuencia del oscilador del instrumento, siempre y cuando se tenga acceso a través de un puerto. De lo contrario, se deberá recurrir al fabricante.

$$D_{\text{final}} = K_o \cdot S$$

K_o = Factor de escala más probable que surge del ajuste por mínimos cuadrados.

Velocidad de propagación

La velocidad de propagación de una onda electromagnética responde a:

$$V = C / N$$

Donde C es la velocidad de propagación en el vacío, y N el índice de refracción del medio de propagación.

En distanciametría electrónica, el medio, es el aire cercano a la tierra y el N del aire es función de la temperatura (T), la presión atmosférica (P) y la humedad (e) medida en unidades de presión atmosférica. Por esto deberán observarse en el lugar dichos parámetros. Primero deberá calcularse índice de refracción del grupo ya que se trata de una onda modulada. (según Barrel y Sears, Levallois, 1969)

$$N_g = 1 + \{2876.04 + (48.864/\lambda^2) + (0.680/\lambda^4)\} \times 10^{-7}$$

N_g nos da el índice de refracción de la onda modulada en mm, para una atmósfera a 0°C, 760mm de Hg y una concentración de 0.03% de CO₂.

En condiciones ambientales normales, es decir, la temperatura toma un valor t , la presión p y la humedad de aire e , difiriendo de las condiciones ideales o estándar, el índice de refracción se calcula por la fórmula siguiente.

$$N_i = 1 + \frac{N_g - 1}{1.01325} \cdot \frac{p}{760} - \frac{5,5 \cdot 10^{-8}}{1.01325}$$

- N_i = Índice de refracción instantáneo
- p = Presión atmosférica en mm de Hg
- $a = 0.003661$ (constante)
- t = Temperatura en °C
- e = Presión de vapor en mm de Hg.

A su vez,

$$e = e' - 0.000622 \cdot p \cdot (t - t')$$

- e' = Tensión de vapor de saturación
- t' = Temperatura del bulbo húmedo del psicrómetro. Instrumento empleado en la determinación de la humedad ambiental.

Obtenido N_i se calcula la distancia:

$$N_0 \times D_0 = N_i \times D_i$$

N_0 es el índice de refracción provisto por el fabricante del instrumento

$$D_i = N_0 \times D_0 / N_i$$

D_i es la distancia correspondiente a las condiciones ambientales del momento de la observación.

En operaciones de calibración de distanciómetros, o en mediciones de gran compromiso deberán determinarse las condiciones atmosféricas tanto en el instrumento como en la señal, cuando no a lo largo de la visual cada algún ciento de metros. Los instrumentos topográficos permiten introducir por medio de un ábaco esta corrección.

Corrección atmosférica:

El manual de las estaciones Leica, por ejemplo, proporciona las ecuaciones de corrección atmosférica, las cuales tienen en cuenta la presión atmosférica, la temperatura y la humedad relativa del aire.

La distancia que se muestra en pantalla en una E.T. es correcta sólo si la corrección de escala en ppm (mm/km) introducida corresponde a las condiciones atmosféricas reinantes en el momento de la medición.

En mediciones de distancia con la máxima precisión que requieren determinar la corrección atmosférica con una precisión de 1 ppm, habrá que medir los parámetros ambientales con una precisión de 1°C en la temperatura del aire, 3 mb en la presión atmosférica, y 20% en la humedad relativa del aire. La humedad del aire influye en las mediciones de distancia, sobre todo en climas extremadamente húmedos y cálidos.

El índice de cálculo del grupo es $N=1.0002830$ para el distanciómetro de infrarrojos (longitud de la onda portadora 780nm) y $N=1.0002859$ para el láser visible rojo (longitud de la onda portadora 670nm).

El índice N se calcula con la fórmula de Barrel y Sears y se refiere a una presión atmosférica $p=1013.25$ mb, una temperatura del aire $t=12$ °C y una humedad relativa del aire $h=60$ %.

Fórmula para distanciómetro de infrarrojos y para láser visible rojo

Para EDM infrarrojo:

$$\Delta D_1 = 283,04 - \left[\frac{0,29195 \cdot p}{(1+\alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1+\alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right]$$

Para EDM láser visible rojo

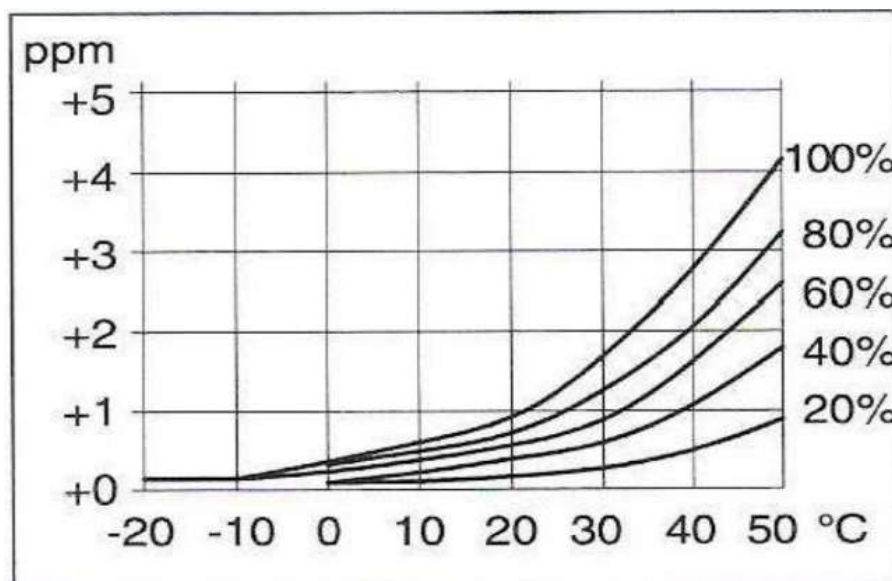
$$\Delta D_1 = 285,92 - \left[\frac{0,29492 \cdot p}{(1+\alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1+\alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right]$$

Donde:

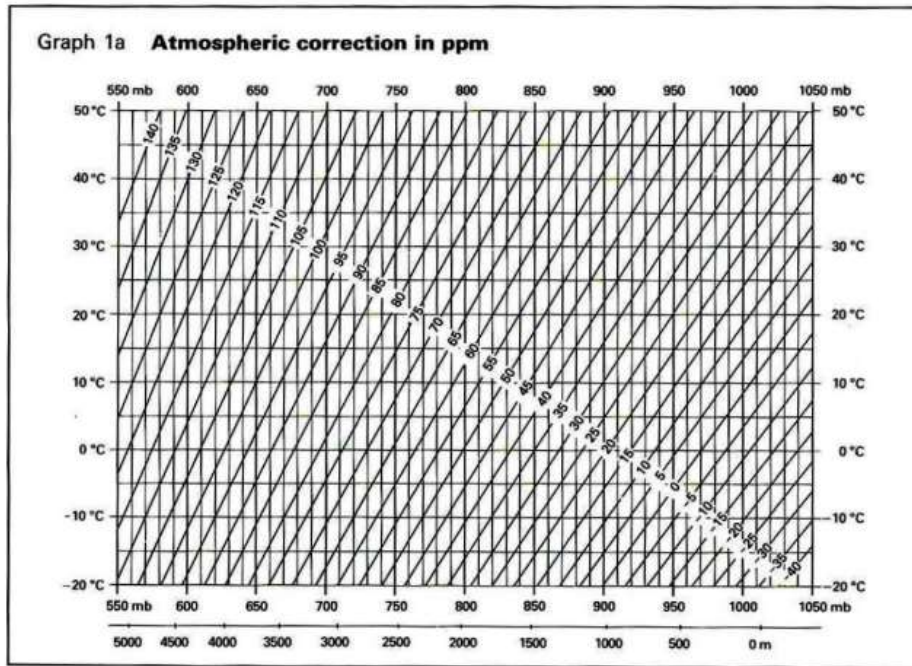
- ΔD_1 = corrección atmosférica (ppm)
- p = presión atmosférica (mb)
- t = temperatura del aire (°C)
- h = humedad relativa del aire (%)
- $a = \frac{1}{273,16}$
- $x = \frac{7,5t}{237,3+t} + 0,7857$

Si se mantiene para la humedad relativa del aire el valor básico de 60% utilizado por el EDM, entonces el máximo error posible en la corrección de atmosférica calculada será de 2 ppm (2 mm/km).

Corrección por humedad relativa del aire en mm/km (ppm), temperatura del aire en °C, humedad relativa del aire en %



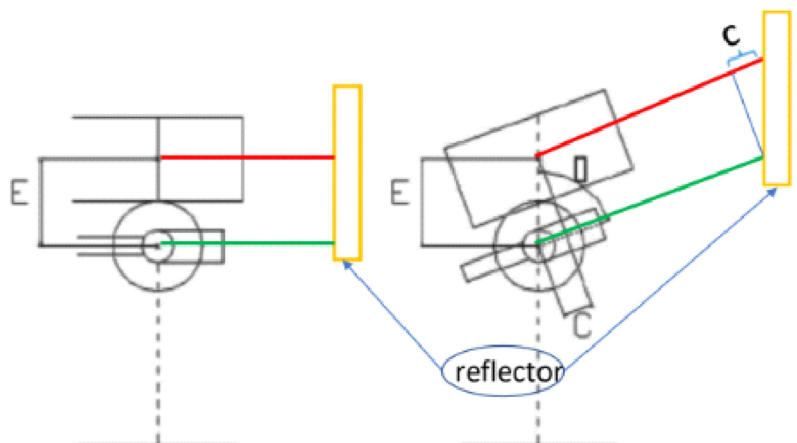
Corrección atmosférica en ppm con °C, mb,H (metros), con una humedad relativa del aire del 60%



Corrección de offset o de excentricidad

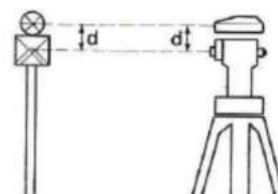
En casos donde el distanciómetro no sea coaxial a la estación deberá tenerse en cuenta dicha excentricidad; las estaciones totales actuales presentan el distanciómetro de forma coaxial, por lo que esta corrección no sería necesaria.

$$C = +E \cdot \cotg z$$



Otra situación similar ocurre cuando el sistema es modular y el distanciómetro se adosa al anteojo, la corrección en ese caso será:

$$C = - E \cdot \cotg z$$



EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN EN LA MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE DISTANCIA

La norma ISO 17123 – 4 – 2012 especifica los procedimientos de campo que deben adoptarse al determinar y evaluar la precisión de los distanciómetros electroópticos (instrumentos EDM) y su equipo auxiliar cuando se utilizan en mediciones de construcción y topografía. Es aplicable solo a los instrumentos EDM de tipo reflector y no está diseñada para determinar la precisión de los tipos de EDM sin prisma.

Principalmente, estas pruebas tienen como objetivo verificar en el campo la idoneidad de un instrumento particular para la tarea inmediata y satisfacer los requisitos de otras normas.

Estos procedimientos de campo han sido desarrollados específicamente para aplicaciones in situ sin necesidad de equipo auxiliar especial y están diseñados intencionalmente para minimizar las influencias atmosféricas.

Los resultados de estas pruebas están influenciados por las condiciones meteorológicas, que incluirán variaciones en la temperatura del aire y la presión atmosférica. Los datos meteorológicos reales deben medirse para derivar correcciones atmosféricas, que se añadirán a las distancias medidas en bruto. Las condiciones particulares a tener en cuenta pueden variar según la ubicación donde se realicen las tareas. Estas condiciones incluirán variaciones en la temperatura del aire, la velocidad del viento, el grado de nubosidad y la visibilidad. También se debe tener en cuenta las condiciones climáticas reales en el momento de la medición y el tipo de superficie sobre la cual se realizan las mediciones. Las condiciones elegidas para las pruebas deben coincidir con las esperadas cuando se lleve a cabo la tarea de medición prevista.

El procedimiento de prueba simplificado proporciona una estimación de si la precisión de un equipo EDM dado se encuentra dentro de la desviación permitida especificada en ISO 4463-1. El procedimiento de prueba simplificado se basa en un número limitado de mediciones.

Este procedimiento de prueba se basa en contar con un campo de prueba con distancias aceptadas como valores verdaderos. Si dicho campo de prueba no está disponible, es necesario determinar las distancias desconocidas utilizando un instrumento EDM de mayor precisión que el investigado en este procedimiento de prueba.

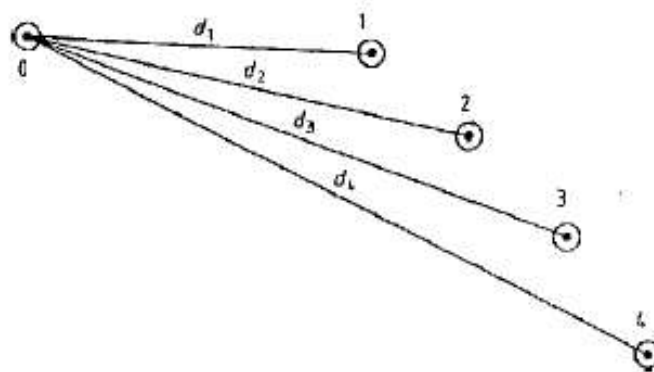
Configuración de la prueba

Para realizar la prueba, se debe montar una estación total, preferiblemente con centrado forzoso y cuatro reflectores montados a distancias típicas para el rango de trabajo habitual del instrumento EDM (por ejemplo, de 20m a 200m).

Cada distancia debe medirse y corregirse meteorológicamente al menos tres veces utilizando un instrumento EDM de mayor precisión para obtener eventualmente un valor promedio. Para este propósito, la temperatura del aire y la presión atmosférica deben medirse individualmente en la estación del instrumento y en el punto de destino de manera muy detallada para determinar las correcciones necesarias de los valores promedio (1 ppm por cualquier desviación de 1 °C en temperatura y/o por cualquier desviación de 3 hPa (3 mbar) en presión atmosférica).

Los valores medidos corregidos de las cuatro distancias serán considerados verdaderos

$$\bar{x}_1 = d_1 \quad \bar{x}_2 = d_2 \quad \bar{x}_3 = d_3 \quad \bar{x}_4 = d_4$$



Relevamiento en campo

Al configurar el instrumento EDM, se debe tener especial cuidado al centrarse sobre el punto en el suelo. Cada distancia debe medirse tres veces. Además, se debe medir la temperatura del aire y la presión atmosférica para derivar las correcciones atmosféricas. Las distancias medidas x_1, x_2, x_3, x_4 son los valores promedio de las tres mediciones corregidos por las influencias atmosféricas.

Cálculos

Todas las diferencias $\bar{x}_j - x_j$ deben estar dentro de la desviación permitida especificada $\pm p$ (según ISO 4463-1) para la tarea de medición prevista. Si p no se proporciona, todas las diferencias serán $|\bar{x}_j - x_j| \pm 2,5 \times s$, donde s es la incertidumbre estándar $U_{\text{ISO-EDM}}$ de una sola medición de distancia. Si las diferencias $|\bar{x}_j - x_j|$ son demasiado grandes para la tarea prevista, es necesario realizar investigaciones adicionales para identificar las principales fuentes de errores

INTRODUCCIÓN AL GNSS

El término GNSS (Global Navigation Satellite System) es el nombre genérico que engloba a los sistemas de navegación por satélite, que proporcionan un posicionamiento geoespacial y facilitan navegación y tiempo con cobertura global, es un servicio de PNT (posición Navegación y Tiempo) tanto en forma autónoma, como con sistemas de aumentación.

Los sistemas de posicionamiento y navegación GNSS, se fundamentan en la medida de la señal generada por un oscilador o reloj, de frecuencia siempre constante. Los osciladores generan las ondas portadoras y sobre ellas transmite toda la información.

Cada satélite tiene varios relojes atómicos y genera, a partir de la frecuencia fundamental, varias ondas portadoras, y códigos modulados pseudoaleatorios, que emiten a la Tierra. Los receptores de suelo reciben estas señales y luego calculan sus posiciones.

Conocidas las posiciones con gran precisión de los satélites en el espacio (mediante efemérides), para obtener la posición del receptor (x,y,z) bastará con medir las distancias entre satélite y receptor.

La pseudodistancia es la medida de la distancia entre el satélite y el receptor en la época de transmisión y recepción de la señal, obtenida a partir del tiempo medido en la propagación de esa

señal. El tiempo medido se obtiene comparando la señal recibida por el receptor del satélite y la réplica de dicha señal que genera el receptor. La sincronización entre el código pseudoaleatorio recibido y la réplica generada se realiza desplazando temporalmente esta última hasta que la correlación entre las dos sea máxima. En el caso de que el reloj del satélite y el del receptor estén sincronizados, el tiempo que habrá que desplazar la réplica será el tiempo de propagación de la señal desde el satélite hasta el receptor.

$$\rho_{ic}^j = \left(X^j - X_i\right)^2 + \left(Y^j - Y_i\right)^2 + \left(Z^j - Z_i\right)^2 + c\delta t_r$$

La distancia geométrica ρ entre el receptor (X_i, Y_i, Z_i) y el satélite (X^j, Y^j, Z^j) se puede expresar de la siguiente forma:

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{\left(X^j - X_i\right)^2 + \left(Y^j - Y_i\right)^2 + \left(Z^j - Z_i\right)^2}$$

- (X_i, Y_i, Z_i) , coordenadas receptor “incógnitas”
- (X^j, Y^j, Z^j) , coordenadas satélite “conocidas por efemerides”

Luego planteando cuatro ecuaciones se pueden obtener las coordenadas del receptor y eliminar el error del tiempo receptor δt_r .

La medida de distancia con mayor precisión se lleva a cabo con medidas de fase, midiendo el número entero N de longitudes de onda λ y la parte no entera ϕ . Esta idea tan sencilla no es fácil de llevar a cabo dada la dificultad de determinar N , y a este problema se le llama la determinación de ambigüedades.

BIBLIOGRAFÍA

- Tratado de topografía, Teoría de errores e instrumentación – Manuel Chueca Pazos, José Herráez Boquera, José Luis Berné Valero – Paraninfo, ISBN 84-283-2308-9.
- GNSS: GPS, Galileo, Glonass, Beidou, Fundamentos y métodos de posicionamiento – José Luis Berné, Natalia Garrido Villén, Raquel Capilla Romá – Universitat Politècnica de Valencia, ISBN 978-84-9048-777-8.
- Manual Leica Geosystems – ET 407.
- Norma ISO 17123-4-2012.