

Topografía Planimétrica

Tema 3 – Medición de distancias

Docentes del curso: Gracia Micaela; Mamrut Alberto;
Martinez Magali; Wainstein Martin.

Fecha 1er Semestre 2025 – Martin Wainstein



FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Introducción

INFLUENCIA DE LA CURVATURA TERRESTRE EN PLANIMETRÍA

Supongamos la Tierra como una esfera de radio $R=6371\text{km}$, y un plano "Srt", tal que, se realizan ciertas mediciones, partiendo desde el punto de tangencia (punto inicial).

Ahora, supongamos que se requiere medir una distancia sobre el plano Srt, desde el punto inicial, hasta 5km

Considerando el triangulo rectángulo formado por el plano Srt, R y H ; se puede calcular la diferencia entre el arco de circunferencia terrestre y la distancia medida sobre el plano Srt.



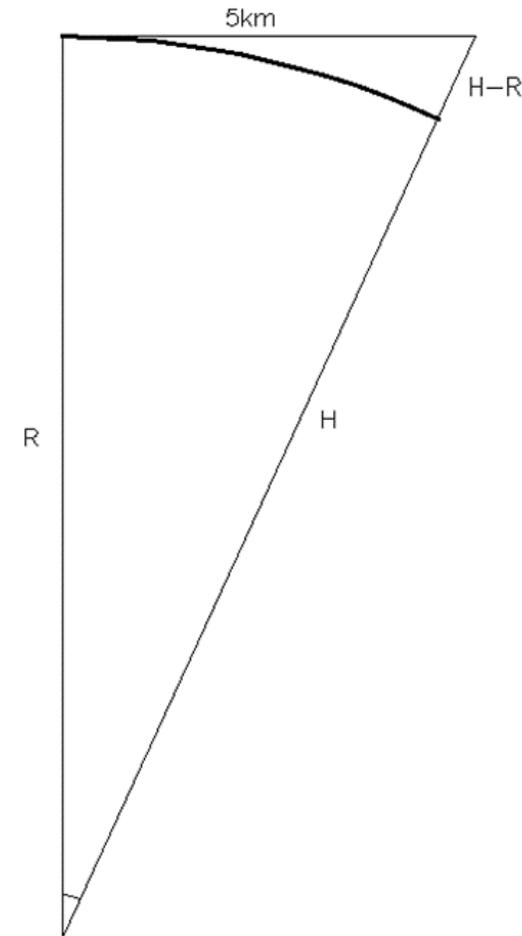
Introducción

Por Pitágoras sabemos que $H^2 = R^2 + 5km^2 \rightarrow H \cong 6371,002km$.

Conociendo H, podemos calcular el ángulo al centro de la tierra (α).

Por lo tanto, el arco de curvatura terrestre será $D=R.\alpha=4999,998m$

Se le solicita al estudiante evaluar cuanto es la diferencia si se requiere medir una distancia de 100m y 1000m. ¿Qué conclusiones podrían obtenerse?



Medición indirecta de distancias

DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Se dice que una distancia es medida de manera Indirecta, cuando no se recorre efectivamente el intervalo entre los extremos a medir, y que su medida proviene de un cálculo matemático.

MEDICIÓN DE DISTANCIAS CON ESTADÍMETRO

El Estadímetro, Nivel topográfico o Equialtimetro, es un instrumento topográfico, que permite determinar el desnivel entre dos puntos mediante visuales horizontales dirigidas a miras verticales.

En su forma más elemental, está constituido por un nivel tubular adosado a un anteojo astronómico, de forma tal que el eje de colimación de éste, sea paralelo al eje del nivel tubular.

Este instrumento va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad-hoc y gira alrededor de un eje de rotación.

Su principal función será abordada en el curso de Topografía Altimétrica, pero se dará una breve introducción para trabajar con la medición indirecta de distancias.



Componentes principales de un nivel automático

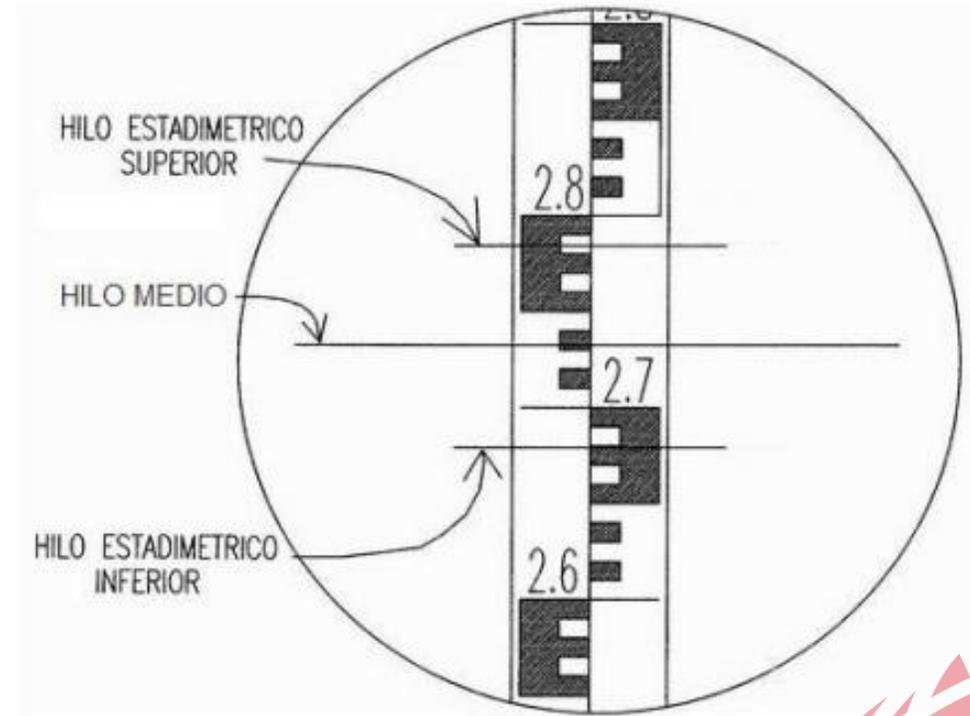


Medición de distancias con estadímetro

Retículo estadimétrico.

El retículo presenta un hilo superior y otro inferior, como se puede observar en la figura, colocados simétricamente respecto al hilo medio.

Los hilos superior e inferior tienen como principal función la medición indirecta de distancias. Pero también cumplen un rol fundamental en el control de las lecturas del hilo medio.



La lectura de hilo medio debe ser igual al promedio de los hilos superior e inferior, admitiéndose como máxima una diferencia de 1 mm. El promedio se utiliza solo como control, el valor correspondiente al hilo medio es el de la lectura realizada.

Medición indirecta de distancias

Es un procedimiento que se utiliza para determinar la distancia entre dos puntos de forma indirecta, es un método rápido y que no requiere recorrer la distancia sobre el terreno. La precisión con la que se determina la distancia es del orden del decímetro ($\pm 0,1$ m).

Se procede de la siguiente manera:

Se toman las lecturas de los tres hilos y se realiza el control de lectura, verificando la igualdad del hilo medio con el promedio de los otros dos hilos. Se verifica de este modo que no hay errores de lectura.

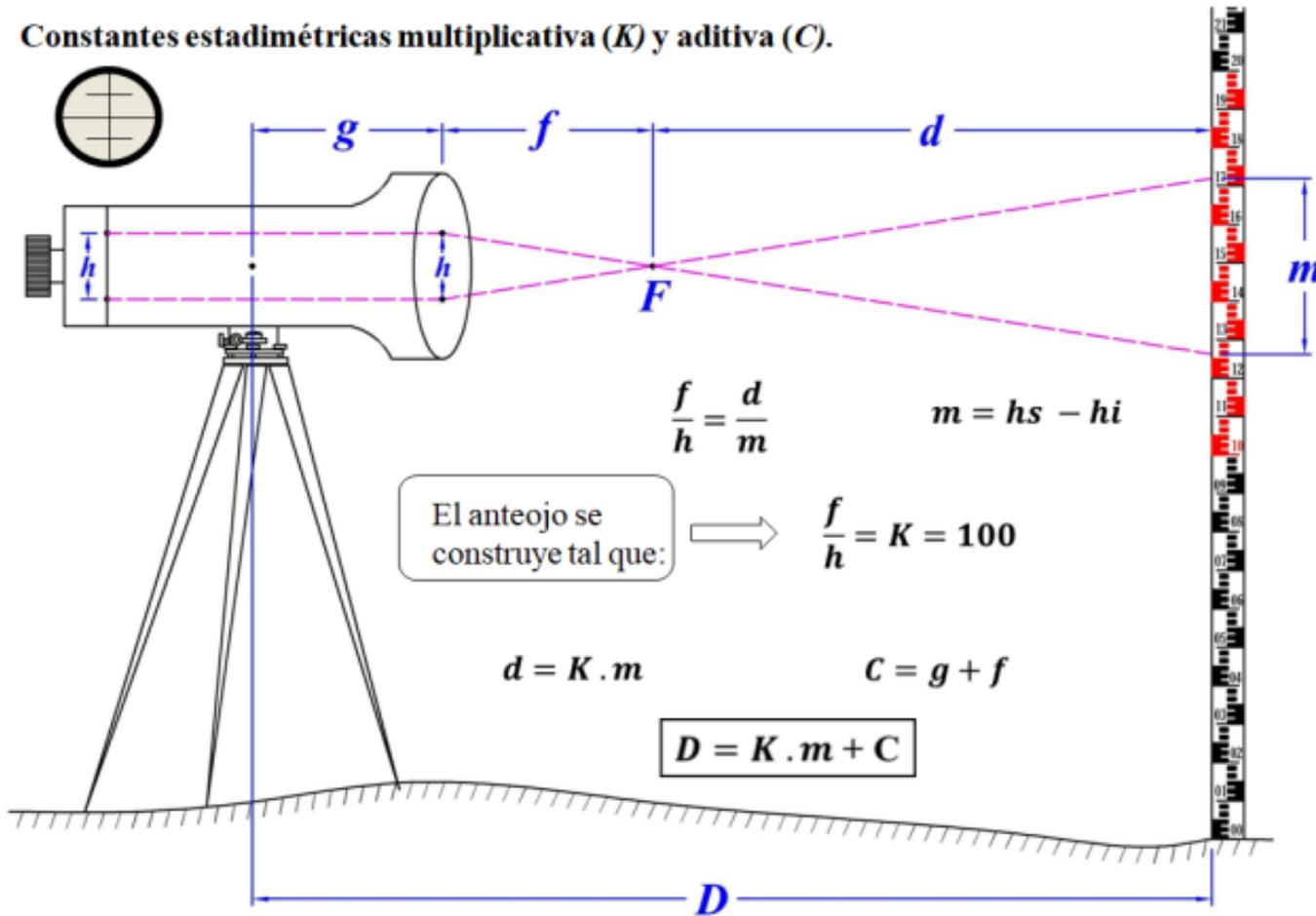
Se calcula la diferencia entre las lecturas del hilo superior y del hilo inferior del retículo del anteojo. Luego, la diferencia entre ellos multiplicada por una constante K del instrumento da como resultado la distancia entre el instrumento y la mira.

Esta constante multiplicativa puede variar según el modelo de nivel, pero en general su valor es de 100, en algunos pocos casos se utilizaron valores de 50 o 200. En los niveles más antiguos debe tenerse en cuenta además una constante aditiva C , en los aparatos modernos éste valor es cero. Los valores de la constantes multiplicativa K y de la constante aditiva C dependen de la construcción del anteojo del nivel.



Medición de distancias con estadímetro

Constantes estadimétricas multiplicativa (K) y aditiva (C).



f : distancia focal.

F : foco del lente (o sistema de lentes) objetivo.

g : distancia entre el centro geométrico del anteojo y el centro óptico del objetivo.

h : separación entre los hilos superior e inferior.

d : distancia entre el foco del objetivo y la mira, medida en la dirección de la visual.

m : diferencia entre el hilo superior y el inferior.

D : distancia entre el eje de giro del nivel de anteojo y la mira

Ejercicio

Se realiza la lectura a una mira graduada al centímetro; siendo las lecturas de los hilos:

$H_s = 1,713\text{m}$

$H_m = 1,485\text{m}$

$H_i = 1,257\text{m}$

- Realice un control de la lectura
- Determine la distancia entre el Nivel y la mira
- Si la lectura H_s realizada fuese 1,712, Determine la distancia entre el Nivel y la mira.

¿Conclusiones?



Medición electrónica de distancias

Principios de distancimetría electrónica

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.

$$D = c/2t$$

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.



Medición electrónica de distancias

Principios de distanciametría electrónica – Método de Fase

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

Supongamos una onda electromagnética definida por:

$$y = A. \sin (wt + \phi)$$

Donde:

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



Medición electrónica de distancias

Principios de distancimetría electrónica – Método de Fase

Se entiende por fase a la característica que indica el estado de avance o progreso de un fenómeno periódico, y viene relacionado por: $\phi = \omega t$

En dos instantes diferentes, valdrá: $\phi_1 = \omega t_1 \mid \phi_2 = \omega t_2$

Luego, la diferencia de fase: $\phi_2 - \phi_1 = \omega (t_2 - t_1) \Rightarrow t_2 - t_1 = (\phi_2 - \phi_1) / \omega$

Y como $\omega = 2\pi f$

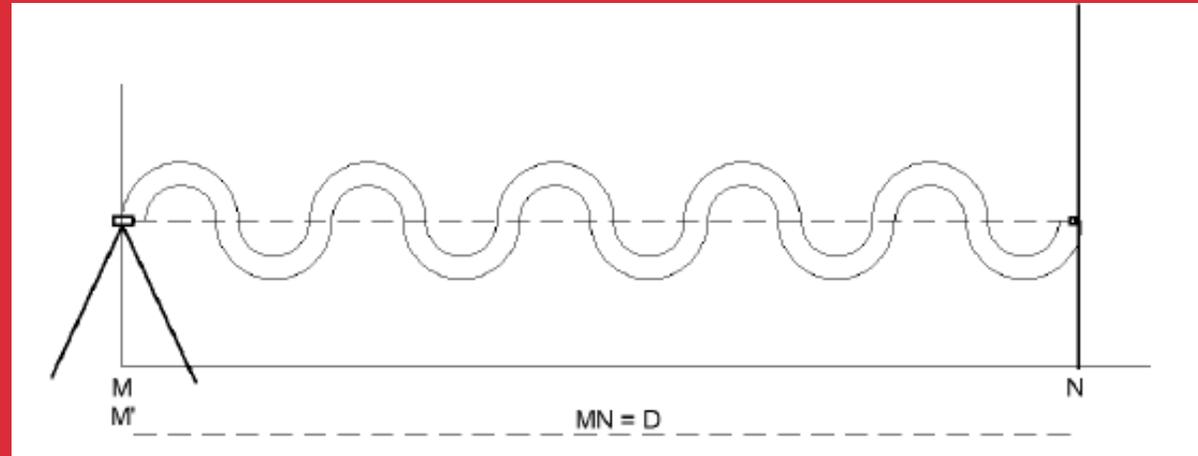
$$t_2 - t_1 = (\phi_2 - \phi_1) / 2\pi f$$

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



Medición electrónica de distancias

Principios de distancimetría electrónica – Método de Fase



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.

Medición electrónica de distancias

Principios de distancimetría electrónica – Método de Fase

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.

La distancia quedará como:

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

Donde: $\lambda=c/f$ (función de la frecuencia de modulación y de la velocidad de propagación; y K es una constante aditiva que depende de los recorridos internos de la onda en el instrumento y en el prisma.

Para poder determinar la distancia D, será necesario determinar c, K, m y θ .



Medición indirecta de distancias

Medición electrónica de distancias

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.

Determinación de m :

Los IEMD empleados en topografía trabajan por medición del desfase entre la onda emitida y la onda reflejada. Cuando la distancia no es igual a un múltiplo par de semilongitudes de onda (el caso general) el instrumento detecta la fracción de onda, pero no cuenta los ciclos (o longitudes de onda) completos que ha realizado la energía después del doble recorrido.

Esta ambigüedad se elimina transmitiendo señales adicionales de distinta frecuencia (por lo tanto distinta longitud de onda).



Medición indirecta de distancias

Medición electrónica de distancias

Determinación de m:

Supongamos $f_1 = 150 \text{ MHz}$, ello da lugar a $\lambda_1 = 2\text{m}$, de donde $\lambda_1/2 = 1\text{m}$

Y si la medición de ϕ se realiza en un dial dividido en mil partes el número obtenido representará las cifras de decímetro, centímetros y milímetros de la distancia D.

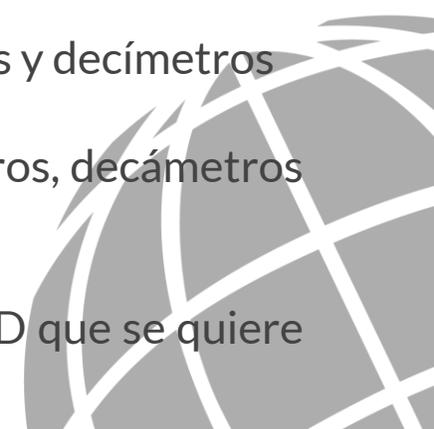
La incógnita sigue siendo m es decir el número entero de longitudes de ondas contenidas en la distancia 2D

Cambiando la frecuencia a $f_2 = 15\text{MHz}$, corresponde a $\lambda_2 = 20\text{m}$, $\lambda_2/2 = 10\text{m}$, siendo las cifras obtenidas para ϕ_2 los metros, decímetros y centímetros.

Con $f_3 = 1,5\text{MHz}$, corresponde a $\lambda_3 = 200\text{m}$, $\lambda_3/2 = 100\text{m}$ se obtendrá para ϕ_3 los decámetros, metros y decímetros

Análogamente con $f_4 = 150\text{KHz}$, $\lambda_4 = 2000\text{m}$, $\lambda_4/2 = 1000\text{m}$, se obtiene para ϕ_4 las centenas de metros, decámetros y metros

Podríamos hacer lo mismo con f_5 , etc. Así hasta que la longitud de onda λ_i sea mayor a la distancia 2D que se quiere medir.



Medición indirecta de distancias

Medición electrónica de distancias

Determinación de 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.



Medición indirecta de distancias

Medición electrónica de distancias

Determinación de K:

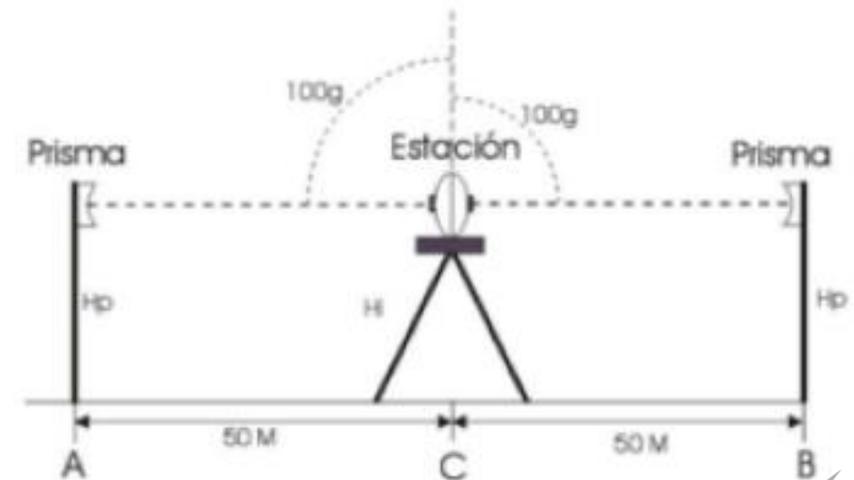
Para poder comprobar la constante $K = a+c$ (constante de prisma + constante aditiva)

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.



Errores en la medición electrónica de distancias

Los errores sistemáticos que influyen en una EDM son:

- Error cíclico
- Velocidad de propagación
- Error de escala
- Corrección de offset o de excentricidad
- Error de cero o constante aditiva

El error de cero o constante aditiva, corresponde a lo visto en la diapositiva anterior; mientras que, la corrección por excentricidad se da en distanciómetros no coaxiales, situación infrecuente en los instrumentos actuales.



Errores en la medición electrónica de distancias

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.

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.



Errores en la medición electrónica de distancias

Error de escala:

Un distanciómetro se diseña para una frecuencia de medición, esta frecuencia está determinada por un oscilador. La estabilidad de un oscilador se evalúa de tres formas, a corto plazo, a largo plazo y en función de las condiciones ambientales.

La variación en 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.



Errores en la medición electrónica de distancias

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.

En las estaciones actuales, esta corrección se hace de forma automática de acuerdo a los datos cargados, es importante destacar que se fijan en temperaturas normales; por lo que en caso de cambios de presión, temperatura o humedad extremos, o para mediciones de alta precisión deberá de tenerse en cuenta.



Medición electrónica de distancias

Evaluación de la precisión en la mediciones 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.



¡Gracias!

Micaela Gracia
Prof. Alberto Mamrut
Prof. Magali Martinez Núñez
Prof. Martín Wainstein

micaelag@fing.edu.uy
amamrut@fing.edu.uy
magalim@fing.edu.uy
martinw@fing.edu.uy



FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



 ia_fing_udelar

 ia_fing_udelar

 www.fing.edu.uy/es/ia

