

## TEMA 5: ERRORES SISTEMATICOS EN LA MEDICION CON CINTA

Si bien la tecnología nos permite hacer uso de muchos y muy variados instrumentos topográficos que, asociados a la aplicación de metodologías adecuadas nos permiten obtener distancias de manera indirecta, la cinta métrica continúa siendo un instrumento de precisión necesario en el ámbito de la topografía. Tal vez su incomodidad y lento manejo es lo que hace que sea sustituida por otros procedimientos de trabajo.

Su utilización es simple, pero, en función de la precisión que se busque obtener, requiere de ciertos cuidados metodológicos que se enumeraran más adelante.

Para lograr una medición de calidad, debemos primeramente conocer las causas de los errores en las mediciones con cinta y como trabajar con ellos (correcciones).

Por otro lado, ya enfocados en mediciones de gran precisión utilizando cinta métrica, se deberán aplicar correcciones referentes a la temperatura, la tensión y la catenaria.

### CLASIFICACION DE CINTAS SEGÚN SU MATERIAL DE COMPOSICION

- **RODETE – CINTA DE TELA**

Compuesto por una cinta confeccionada con lienzo de alta calidad entretejido de manera longitudinal con finos alambres de cobre que aportan una resistencia adicional y evitan el alargamiento excesivo.

Habitualmente se encuentra dividida en metros, decímetros y centímetros; uno de los extremos termina en un anillo que permite su sujeción con mayor facilidad y el otro extremo se enrolla alrededor de un eje dentro de un carrete o estuche protector.

Su longitud puede variar entre 5 y 50 metros, siendo las de longitud superior a los 20 metros las que presentan mayor dificultad en el manejo y por lo tanto mayor imprecisión en los resultados obtenidos, debido principalmente a la dilatación del tejido producto de la tracción.

Existen también cintas confeccionadas FIBRA DE VIDRIO, cubiertas de PVC, con iguales prestaciones.

Cinta de tela



Cinta de fibra de vidrio



- **CINTA METALICA O DE ACERO**

Compuesta por un fleje o “tira” de acero, a veces recubiertas de material flexible (pintura plástica) para evitar se oxidación.

Habitualmente su longitud puede variar entre 10 y 50 metros y su graduación es en metros, decímetros y centímetros, pudiendo dividirse también en milímetros el primer decímetro o la totalidad de la cinta.

Al igual que los rodetes, se transportan enrolladas en torno a un eje dentro de un carrete para su transporte y correcta preservación.

Como caso particular se destacan cintas de esta calidad de una extensión que puede llegar a los 1000 metros utilizadas exclusivamente para la medición de profundidades en el ámbito de la minería.



- CINTAS INVAR

Estas cintas son fabricadas con una aleación de níquel (35%) y acero (65%) con el objetivo de reducir los cambios de longitud debido a la temperatura, siendo su coeficiente de expansión o contracción térmica de 1/30 a 1/60 del correspondiente a una cinta de acero.

Dicho coeficiente de dilatación lineal se mantiene constante dentro de una amplia gama de temperaturas y es sensiblemente inferior al del mejor acero utilizado en las cintas mencionadas anteriormente.



Son conocidas por tener gran precisión y son poco utilizadas en el ámbito de la topografía, siendo su uso más adecuado en trabajos geodésicos o como patrones de comparación para otro tipo de cintas.

## ESTANDARIZACIÓN

Dependiendo del tipo de material en que está construida una cinta, se obtiene una precisión determinada que viene indicada por la clase de la cinta, estas pueden ser de clase: I, II, II. Proveniente de las Regulaciones Europeas de Pesos y Medidas. Las clases más precisas señalan de clase I, las cintas más utilizadas en general son clase II (metálicas) o clase III (fibra de vidrio). La tolerancia de exactitud dimensional en mm  $\pm$  es para toda la longitud de la cinta. (Lufkin, 2012)

Clase	1 m	2 m	3 m	5 m	10 m	15 m	20 m	30 m	50 m
I	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1	1,6	2,1	3,1	5,1
II	0,5	0,7	0,9	1,3	2,3	3,3	4,3	6,3	10,3
III	1,0	1,4	1,8	2,6	4,6	6,6	8,6	12,6	20,6

La tolerancia ha sido determinada a una temperatura de 20°C y una fuerza de 50 Newton.

## CAUSAS DE ERROR EN LA MEDICION DE DISTANCIAS CON CINTA

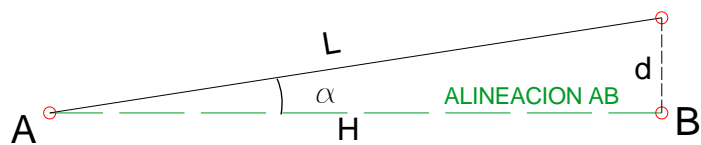
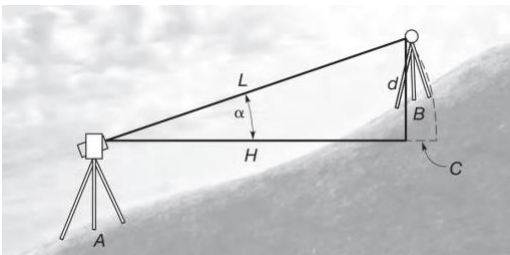
En la ejecución de mediciones utilizando una cinta podemos mencionar la existencia de tres tipos de errores:

- ERRORES PERSONALES

Aquellos cometidos por los operadores relacionado al manejo de la cinta, descuidos al enrasar o colocar la marca desde o hasta donde se debe medir o una lectura errónea de la cinta se clasifican como errores ACCIDENTALES.

El error por falta de alineación, ya sea en el plano vertical como en el plano horizontal se calculan de la misma forma y ambos son SISTEMATICOS.

La distancia medida siempre es mayor que la longitud real entre los puntos a medir.



L = DISTANCIA MEDIDA CON CINTA  
 d = DESVIACIÓN RESPECTO DE LA ALINEACIÓN AB  
 h = DISTANCIA ENTRE LOS PUNTOS A Y B

$$H = L \cos \alpha$$

$$H = \sqrt{L^2 - d^2}$$

$$H = L - \frac{d^2}{2L} (\text{aprox.})$$

H = distancia horizontal (considerando la alineación sobre un plano vertical) o distancia entre los puntos A y B (considerando la alineación sobre un plano horizontal)

L = distancia medida

$\alpha$  = Angulo de inclinación

- ERRORES INSTRUMENTALES

Se consideran aquellos errores producto de realizar la medida con una cinta que posee una longitud diferente a su longitud nominal. Esto se puede deber a un defecto de fabricación, objeto de reparaciones de mala calidad o por la ocurrencia de “nudos” en alguna parte de su extensión al momento de realizar la medida.

- ERRORES NATURALES

Son producto de la variación de la distancia horizontal entre graduaciones extremas de una cintada, producto de los efectos de la temperatura, el viento y el peso de la propia cinta.

El error provocado por la longitud incorrecta de la cinta es uno de los errores más importantes al momento de realizar mediciones de precisión.

## CORRECCIONES

Para poder expresar la distancia medida con precisión es necesario considerar una serie de correcciones: a) por longitud incorrecta de la cinta, b) por temperaturas anormales, c) por tensión incorrecta, y d) por efecto de la catenaria.

En general, las cintas de acero no vienen acompañadas de un certificado que garantice su longitud nominal ni proporcionan un certificado de comparación.

Para obtener esa certificación se debe efectuar la comparación con una cinta certificada o con una distancia medida con una cinta certificada, donde se mide la distancia exacta que hay entre las graduaciones externas dicha cinta en condiciones dadas de temperatura, tensión y forma de sujeción (cinta apoyada completamente sobre una superficie plana o apoyada solo en uno de sus extremos).

### a) Corrección por longitud incorrecta de la cinta

Si la longitud verdadera de la cinta al momento de efectuar la comparación no es exactamente igual a su valor nominal registrado por cada cintada completa, la corrección puede determinarse a partir de la siguiente fórmula:

$$C_L = \left( \frac{l - l'}{l'} \right) L$$

donde

$C_L$ =corrección por aplicarse a la longitud medida (registrada) de una línea para determinar la longitud verdadera

$l$ =longitud real de la cinta (testada)

$l'$ =longitud nominal de la cinta (según las marcas)

$L$ = longitud medida (registrada) de la línea

### b) Corrección por temperatura o alteración térmica

Dada la temperatura considerada en la normalización de la cinta de acero (entre 15° y 20°C), una temperatura mayor o menor ocasiona un cambio en la longitud, que puede ser calculado según la siguiente fórmula:

$$C_T = k(T_1 - T)L$$

donde

$C_T$ =corrección aplicada a la longitud de la línea alterada por una temperatura diferente a la normal

$k$ =coeficiente de dilatación térmica y contracción de la cinta (coeficiente de dilatación lineal)

(El coeficiente de dilatación lineal del material, para el caso del acero es de 0,0000116/°C)

$T_1$ =temperatura de la cinta al momento de medir

T=temperatura de la cinta que tiene su longitud normal (temperatura de contraste)

L=longitud medida (registrada) de la línea

Los errores por cambio de temperatura son ERRORES SISTEMATICOS por lo tanto se corrigen mediante la aplicación de la formula anterior. Los valores de corrección pueden ser positivos o negativos.

### c) Corrección por tensión incorrecta

Cuando una cinta de acero es sometida a una tensión mayor o menor a la estándar (tensión a la cual fue calibrada), ésta se alargara o acortara mostrando una longitud menor o mayor a la longitud estandarizada.

El parámetro responsable de ello es el *módulo de elasticidad del material*.

La corrección por tensión puede ser calculada según la siguiente formula:

$$C_P = (P_1 - P) \frac{L}{AE}$$

donde:

$C_P$ =alargamiento total de la cinta debido al incremento de la tension aplicada

$P_1$ =tension aplicada a la cinta en el momento de la observacion (kg)

$P$ =tension normal de la cinta (kg)

$A$ =area de la seccion transversal de la cinta (cm<sup>2</sup>)

$E$ =modulo de elasticidad del material (acero) (kg/cm<sup>2</sup>)

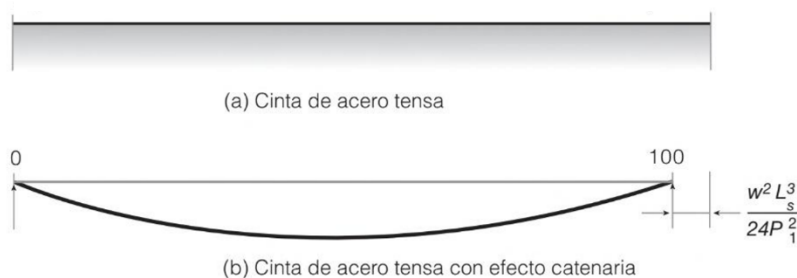
$L$ =longitud medida (registrada) de la linea

Los errores por aplicación de tensión incorrecta pueden ser SISTEMATICOS (utilizando un dinamómetro para medir la tensión aplicada) o ALEATORIOS (un mismo usuario puede aplicar tensiones diferentes en cada medida, que pueden ser mayores o menores al valor deseado).

### d) Corrección por catenaria

Si la cinta de acero no está apoyada en toda su longitud quedara colgando apoyada en sus extremos, lo que dará lugar a la formación de una catenaria.

La distancia horizontal de la cinta es menor cuando se produce la catenaria entre los extremos de apoyo.



La corrección por catenaria puede ser calculada según la siguiente fórmula:

$$C_S = -\frac{w^2 L_S^3}{24P_1^2}$$

donde:

$C_S$ =corrección por catenaria (ver figura descriptiva) (metros)

$L_S$ =longitud colgante de la cinta (metros)

$W$ =peso de la cinta por unidad de longitud (kg/m)

$P_1$ =tensión aplicada (kg)

La ecuación de corrección por catenaria es no lineal, por lo que debe aplicarse a cada tramo medido (cada sección de cinta entre apoyos) y el valor de la corrección siempre es negativo.

Tipo de error	Fuente de error*	Sistemático (S) o aleatorio (A)
Longitud de la cinta	I	S
Temperatura	N	S o A
Tensión	P	S o A
Catenaria	N, P	S
Alineación	P	S

\*I—instrumental; N—natural; P—personal.

### FORMULA EMPIRICA DEL PROFESOR LÖRBER

Teniendo en cuenta los errores sistemáticos y accidentales y dependiendo del tipo de terreno donde se realizan las observaciones, se establece de manera empírica el error medio esperable en la medida de distancias con cinta metálica.

En terreno fácil  $\epsilon = 0.00032 L + 0,0022 \sqrt{L}$ ; (54 mm en 100 m).

En terreno difícil  $\epsilon = 0,00032 L + 0,0078 \sqrt{L}$ ; (110 mm en 100 m).

## 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.
- Topografía – Paul R. Wolf, Charles D. Ghilani – Alfaomega, Marcombo, 14ª edición, 2018.
- Topografía Plana – Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Vías – Leonardo Casanova Matera – Mérida 2002.