DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

acio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

La Topografía tiene por objeto efectuar las mediciones y cálculos necesarios para representar un cuerpo o una porción de terreno en una superficie plana, de acuerdo a una orientación que puede ser astronómica, magnética o respecto a alguna línea convencional.

La Topografía prescinde de la clase de materia que constituye a los cuerpos o terrenos y solo se ocupa de ellos en lo que concierne a sus dimensiones, considerando solamente algunas relaciones comunes que permiten sustituirlos por un esquema ideal llamado figura geométrica. Así por ejemplo, si se tiene un terreno horizontal, plano y limitado por cuatro lados rectos; este terreno, se puede representar por la figura llamada "cuadrilátero" y por lo tanto, se pueden hallar las relaciones afines a esta figura y consecuentemente al terreno en estudio. Por la relación tan estrecha que existe entre la Topografía y la Geometría es recomendable un buen conocimiento de esta última ciencia para una buena preparación en el conocimiento de los métodos topográficos.

1. ELEMENTO GEOMETRICO.

Es un elemento simple y con características propias que sirve para formar o definir diversas composiciones geométricas. Los elementos geométricos son en su división más simple: puntos, líneas, ángulos, superficies y espacios.

Punto. Es un lugar geométrico que no tiene dimensión, solo posición.

Línea. Es un conjunto ordenado de puntos. Las líneas pueden ser rectas o curvas.

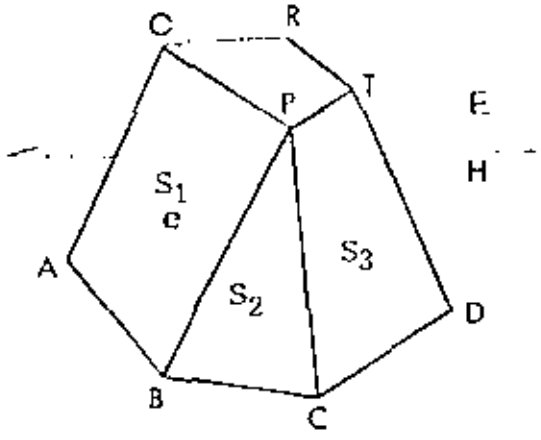
Angulo. Es la abertura entre dos rectas que se cortan en un punto llamado vértice.

Superficie. Es un elemento geométrico que divide a dos regiones o espacios.

Espacio. Es un conjunto de puntos contenidos en una región limitada por varias superficies.

1.1 Cuerpo geométrico.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos. Los elementos de un cuerpo geométrico en el espacio son:



Puntos: A, B, C, D . . . . . N

Líneas: AB, BC, CD . . . . . MN

Angulos: A, B, C, D . . . . . N

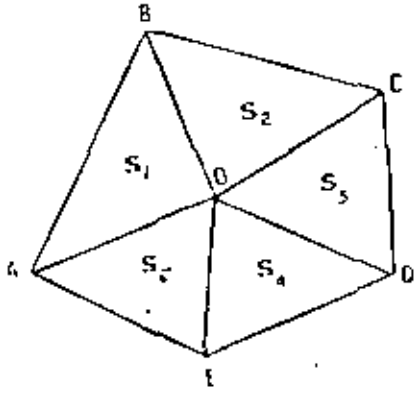
Superficies: S_1, S_2, S_3 . . . . . Sn

Espacios: exterior E, e interior e

1.2 Polígono.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos enlazados que sirven para representar un objeto o una porción de terreno. En este caso el conjunto de elementos geométricos tiene posición relativa, lo que implica el concepto de orientación que puede ser magnética, astronómica o relativa a algún otro elemento.

A los elementos geométricos de los polígonos les corresponden magnitudes o valores que son:



Elementos geométricos	Magnitudes
Puntos	Coordenadas
Líneas	Distancias
Angulos	Angulos
Superficies	Areas
Espacios	Volúmenes
Orientación	Azimut

Coordenadas. Es una terna ordenada de número que sirven para indicar la posición en el espacio, de los puntos de una cadena topográfica; generalmente se les designa con las letras X, Y, Z.

Distancia. Es el número de unidades, de longitud que contiene -

una línea limitada por dos extremos.

Angulo. Es el número de unidades que contiene la abertura entre las líneas que lo forman.

Area. Es el número de unidades cuadradas que contiene una porción de superficie. Esta porción puede estar limitada por líneas rectas o curvas.

Volumen. Es el número de unidades cúbicas que contiene un espacio limitado por superficies planas o curvas.

Azimut. Es un ángulo formado por alguna línea de la línea de referencia llamada meridiana.

1.3 Sistema de referencia.

Elementos de referencia.

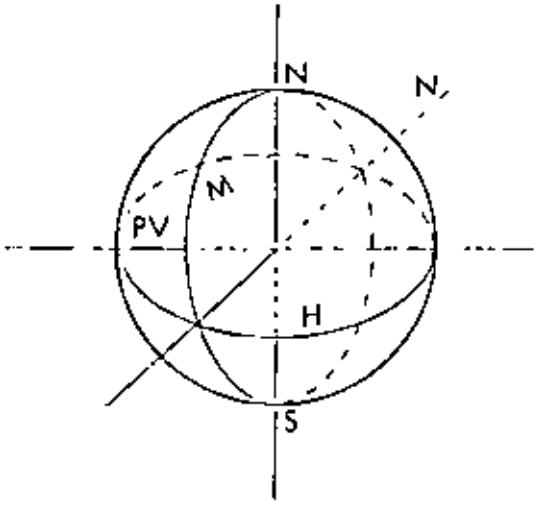
Vertical del lugar. Es la dirección que sigue la plomada en el lugar considerado.

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical del lugar.

Plano meridiano. Es un plano formado por el eje terrestre y la vertical del lugar. Es perpendicular al plano del horizonte.

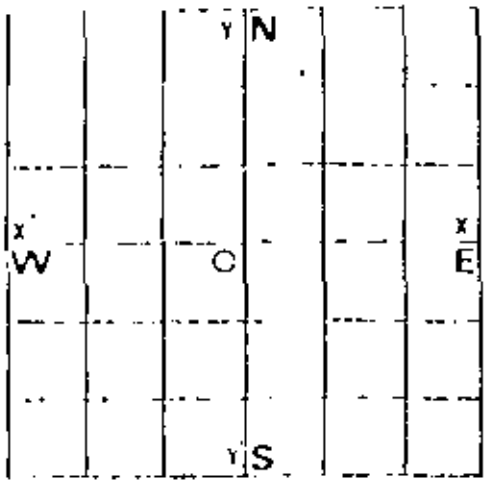
Primer vertical. Es un plano perpendicular al plano del meridiano y también al plano del horizonte.

El sistema de referencia está definido por tres ejes que se cortan perpendicularmente entre ellos y son: el eje X, el eje Y y el eje Z.



Eje X es la intersección del primer vertical con el plano del horizonte.

Eje Y es la intersección del meridiano con el plano del horizonte. Es coincidente con la meridiana.



Los extremos del eje X reciben el nombre de ESTE y OESTE.

Los extremos del eje Y reciben el nombre de NORTE y SUR.

Los cuatro puntos se indican con las letras N, S, E, W, respectivamente.

El plano de referencia queda dividido en cuatro regiones o cuadrantes que son: el Nor-Este (NE), el Nor-Oeste (NW) y el Sur-Este (SE) y el Sur-Oeste (SW).

2. MAGNITUDES.

Teniendo en cuenta los elementos geométricos que intervienen en las poligonales topográficas, se tienen las siguientes magnitudes:

2.1 Coordenadas.

X. Si la poligonal es lineal; por ejemplo un alineamiento recto.

X, Y. Si la poligonal es planimétrica, por ejemplo las figuras geométricas, que es el caso más común en la topografía tradicional.

X, Y, Z. Si la poligonal es tridimensional, es decir, que se tratan simultáneamente los elementos planimétricos y altimétricos. Algunos lenguajes de computación topográfica pueden resolver el problema en esta forma.

2.2 Distancias.

Inclinada. Es la contada sobre la línea que pasa por la estación y el punto observado y limitada por estos puntos. En Topografía es poco empleada.

Horizontal. Es la que tienen las dimensiones de la poligonal -

rpoyectadas en el plano horizontal. Son las distancias que se usan en Topografía, de tal manera que cuando se habla de "distancia" en estaciencia, se entiende que es "horizontal".

Vertical. Es la que tienen los puntos de la poligonal, contada desde una superficie horizontal de referencia, hasta el punto que se trata y sobre la línea vertical de proyección.

2.3 Angulos.

Horizontal. Es el ángulo diedro formado por los planos verticales que pasan por los extremos del ángulo (extremos observados) y por su vértice (estación).

Vertical. Es el ángulo contado desde el plano del horizonte que pasa por la estación hasta el punto observado, contado sobre el plano vertical que contiene a estos puntos.

De liga. Es el ángulo que relaciona a la poligonal con el sistema de referencia; puede ser el Azimut o el Rumbo, magnético o astronómico.

Azimut.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte de la meridiana, hasta el punto observado, sobre el plano del horizonte y en el mismo sentido del movimiento de las manecillas de un reloj. Se mide de 0 a 360° ó de 0 a 400 grados centesimales.

Rumbo.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte o Sur de la meridiana, hasta el punto observado sobre el plano del horizonte, hacia el Este o el Oeste. Se mide de 0 a 90° ó de 0 a 100 grados centesimales.

2.4 Areas.

En Topografía solo interesan las áreas horizontales y verticales, se determinan por cálculo, en función de las demás magnitudes de la figura.

2.5 Volúmenes.

Interesan los volúmenes limitados por la superficie natural del terreno, el plano horizontal de referencia y los planos verticales que pasan por los lados. En Topografía los volúmenes se determinan por cálculo.

3. INSTRUMENTOS.

Un instrumento de topografía en su concepto más general es un conjunto de elementos ópticos, mecánicos y electrónicos que sirven para determinar en el terreno o en el plano las magnitudes que intervienen en la topografía y en muchas ocasiones las posiciones de puntos en la superficie terrestre.

A continuación se indican algunos:

Magnitudes	Instrumentos
Coordenadas:	Coordinatógrafos ortogonales y polares.
Distancias:	Alineadores de pínula, alineadores de prisma, podómetros, ruedas, perambuladoras, cadenas de agrimensor, longímetros, telémetros, estadias, distanciómetros electrónicos, equialtímetros y altímetros.
Angulos:	Escuadras de Agrimensor, escuadras de espejos o reflexión, escuadras de prisma o refracción, goniógrafos y goniómetros.
Areas:	Planímetros.
Volúmenes:	En topografía no existen instrumentos para determinarlos. Se calculan en función de otras magnitudes.
Orientación y Posición:	Astrolabios, giróscopos y posicionadores inerciales. Se utilizan para dar orientación y posición geográfica.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

El coordinatógrafo es un instrumento diseñado para establecer o medir coordenadas. Su solución mecánica consiste básicamente en la materialización de ejes cartesianos o polares. Se fabrican para lograr diversas precisiones, por lo que vienen dotados con varias escalas, vernieres, microscopios para lecturas y accesorios para realizar diferentes trazos sobre la base de redacción.

Se distinguen dos tipos de coordinatógrafos: ortogonales y polares.

A continuación se describen algunos de los más conocidos y los accesorios que se utilizan para dibujar o grabar en papel o plástico recubierto (stabilene).

1. COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO H. S. A.

El graficado de puntos para producir una cuadrícula de apoyo para cualquier plano es una tarea mecánica y repetitiva, que puede ser resuelta mediante el coordinatógrafo de escalas, sin embargo, el trazado se puede realizar con mejores resultados mediante el coordinatógrafo ortogonal maestro, que consiste en una lámina de metal invar, con perforaciones correspondientes a los puntos de cuadrícula. La calidad del metal y el terminado anodizado le proporciona rigidez y limpieza en el uso, así como la precisión original de los orificios.

Los puntos se pican con un picógrafo manual, en el cual una guía embona perfectamente en los orificios y además permite ajustar el tamaño de la marca picada.

El uso combinado del coordinatógrafo maestro y un coordinatógrafo sencillo de escalas supera en muchos casos a un instrumento graficador, porque obtiene una superficie de trabajo mayor.

Se fabrican en los siguientes tamaños:

100 x 700 y 500 x 400 mm, con orificios a intervalos de 100 ó 50 mm y 40 x 30 pulgadas, con orificios a intervalos de 5 pulgadas.

2. COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO H. S. A.

Escalas: Sistema métrico:	1:500	1:1000	1:2000
Lecturas de escala: distancia de	0.05 mm, 0.0025 pulgadas		

círculo de 400^g, lectura hasta 5^g, estimación de 1^c.
círculo de 360°, lectura hasta 2', estimación de 1'.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor.

Las características mecánicas de este coordinatógrafo son las siguientes:

- Guía de distancia y patines de acero inoxidable.
- Tornillos ajustadores para centrar el instrumento sobre el punto origen.
- Tornillos micrométricos para colocar con precisión los valores angulares y de distancia.
- Soportes de baleros para todos los movimientos.
- Superficie de trabajo de 400 mm de radio.
- División del círculo en 400^g o 360° . Se fabrican también con los dos sistemas.

3. COORDINATOGRAFOS ORTOGONALES DE ESCALAS.

3.1 Modelo 1200 x 1200 mm. H.S.A.

La precisión gráfica es de 0.04 mm (0.0015 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. La precisión es mayor para distancias menores. Un intervalo en el disco corresponde a un movimiento del carro de 0.005" (estimación de 0.001").

Con la integración del taladro con el microscopio (amplificación 7x) en una unidad, se eliminan los errores causados por el uso de múltiples aditamentos ópticos y de perforación.

Este instrumento viene provisto de cintas sin-fin ajustables, de acero inoxidable con numeración espaciada, una mesa con marco de acero tubular que apoya la tabla de dibujo y una caja de 1.930 x 0.609 m. x 0.1524 m para guardar los rieles.

Es un instrumento muy preciso porque no tiene cremalleras ni piñones. Los mecanismos de conteo con discos son fácilmente intercambiables para cada escala.

Para el trabajo que requiere iluminación interior, este coordinatógrafo puede ser habilitado con una mesa iluminada. Esta mesa especial está fabricada con marco tubular de cuatro patas y apoya 2 placas de

vidrio que forman la superficie para dibujo. El equipo de iluminación está instalado en una caja y consta de tubos fluorescentes estabilizadores y un ventilador. La totalidad del área de placa de vidrio es de 1320 x 1320 mm, con iluminación uniforme por debajo.

Este instrumento puede usar un aditamento para dibujar ángulos de tal modo que multiplica sus posibilidades mecánicas, entre las que se cuentan:

- Dibujar líneas oblícuas a cualquier ángulo dado.
- Poder colocar los puntos angulares en cualquier parte de la región de trabajo del coordinatógrafo. Esto no afecta la relación con el sistema coordenado rectangular.
- Permitir mediante el sistema óptico, lecturas directas de 1' y estimaciones de 10".
- Poder usar los mismos accesorios del coordinatógrafo en este aditamento.

3.2 Modelo 400 x 240 mm H. S. A.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en las direcciones X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado del carro de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumento para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las características mecánicas siguientes:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Las graduaciones y la numeración están en celuloide blanco y libre de reflejos.
- Tornillos micrométricos para la colocación precisa de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.3 Modelo 550 x 500 mm H. S. A.

La precisión gráfica es de ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumen

to, para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las siguientes características mecánicas:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Graduaciones en celuloide blanco, libre de reflejos y con vernieres de vidrio.
- Cintas de escala móviles.
- Tornillos micrométricos para el posicionamiento preciso de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.
- Posibilidad de acoplarle un compás radial.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.4 Modelo 90 x 120 EA-F.

Esta variante se usa principalmente como mesa trazadora para hacer mapas en unión con el Stereometrograph. La caja de engranes se localiza en la pared posterior de la mesa trazadora. Bajo la caja de velocidades (caja de engranes) dispositivos síncronos (selsyn) están adosados, así que la mesa trazadora se acciona electrónicamente por el graficador. Las manivelas y contadores digitales, si se quiere, pueden ser colocadas en el lado frontal. Flechas articuladas aseguran la conexión mecánica desde la caja de engranes a las manivelas. Debido a esta prolongación, el coordinatógrafo de precisión cambia de modelo para convertirse en el 90 x 120 EZ-F, y en esta forma puede ser usado como una unidad separada. Conectando el instrumento registrador electrónico Coordimeter F, el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 EZ-F, debe estar suplementado con una fuente de poder autosíncrona (selsyn) y una caja de conexiones.

En este caso la combinación se designa como 90 x 120 EC-F.

3.5 Modelo 90 x 120 MA-F.

Este tipo no está equipado con una caja autosíncrona (selsyn) y así puede estar conectado a trazadores en forma mecánica solamente. La conexión mecánica del coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MA-F, a los graficadores estereográficos Techcart y Topocart por medio de flechas articuladas. Este equipo no está en particular provisto con manivelas y contadores digitales de coordenadas, pero se les puede adicionar si así se requiere. Por esta ampliación la designación 90 x 120 -

MZ-F, se aplica al coordinatógrafo de precisión que puede emplearse para hacer mapas sin usar un graficador.

La caja de engranes está localizada en el lado posterior de la mesa.

3.6 .Modelo 90 x 120 MK-F.

La caja de engranes con manivelas y los contadores digitales de este coordinatógrafo de precisión están colocados en la parte frontal. Este coordinatógrafo no es adecuado para conectarlo a instrumentos graficadores. Se usa exclusivamente como una unidad separada.

Sus aplicaciones incluyen: la producción de modelos para retículas y placas de prueba en las industrias ópticas y de precisión. Valores calculados y medidos sobre mapas suministrados en forma tabular para la representación en diagramas, curvas y escantillones.

3.7 Modelo 90 x 120 MS-F.

La unidad básica es la misma que la usada con el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MK-F. El equipo está adaptado a las técnicas de corte para subestratos de emulsión con laca en bandas o en hojas (método por bandas). Incluye los siguientes accesorios:

Herramientas de corte, dispositivo para corte en forma circular con radios hasta de 120 mm, dispositivo para corte circular con radios desde 110 hasta 300 mm, reglas graduadas para cortes de líneas oblícuas, dispositivo afilador para las herramientas de corte, proyector para localizar los puntos. Para corte de círculos los carros X e Y pueden ser sujetados para aumentar la estabilidad.

3.8 Modelo Z-2 Zeiss.

Es un instrumento de precisión complemento del Estereoplanígrafo C-8 y que puede ser usado individualmente como coordinatógrafo manual o en combinación con el graficador electrónico Koordimat operado con tarjetas perforadas.

Puede ser utilizado para picar puntos, gravar líneas con punzón, dibujar líneas y círculos con minas de grafito y dibujar círculos con bolígrafo.

Tiene instrumentos adicionales como un contador de presión para el registro mecánico de las coordenadas X, Y, Z, número de puntos y símbolos en bandas de papel en zig zag o en hojas unitarias de formato-

DIN - A 4 si es necesario con papel copia.

Precisión en las lecturas de coordenadas X, Y:

a) en escalas (aproximación de 0.1 mm)
b) en contadores giratorios iluminados (aproximación de 0.02 mm)

Tiene una superficie utilizable en placa de vidrio de 1200 x 1200 - mm.

3.9 Koordimat - Coordinatógrafo controlado por tarjetas perforadas.

El equipo se compone del coordinatógrafo de precisión Z2 con servocontrol eléctrico, instrumento de coincidencia, armario de control y - perforador de tarjetas IBM. Sirve para el dibujo automático de puntos cuyas coordenadas rectangulares "x" e "y" hayan sido registradas en tarjetas perforadas. Si en lugar del imán elevador se utiliza el cabezal impresor St2, es también posible identificar automáticamente los puntos dibujados mediante tarjetas perforadas, con un número de cuatro dígitos y un - símbolo.

Cabezal impresor St2.

Utilizable en lugar del imán elevador en el Z2 para identificar automáticamente puntos aislados mediante un número de cuatro cifras y un - símbolo discrecional.

Dispositivo retrolector de coordenadas para el Koordimat.

Con este dispositivo, compuesto del proyector EP para mesa de dibujo, un panel adicional para el armario de control, un dispositivo de conmutación para el instrumento de coincidencia y una unidad de salida de tarjetas para el perforador de tarjetas, también se puede emplear el Koordimat para registrar en tarjetas perforadas las coordenadas de los puntos ya dibujados (por ejemplo, para fines catastrales).

3.10 Accesorios para Coordinatógrafos H. S. A.

Existen varios accesorios intercambiables con el estilete-microscopio, diseñados para grabar en diferentes materiales.

A continuación se describen algunos:

a) Compás giratorio para marcar círculos con diámetros de 0 a -- 0.5 mm ó a 0.2 pulgadas.

Se presentan con agujas de punta de acero o de zafiro para grabar en materiales revestidos.

b) Buriles y cojinete de centrado para grabar cuadrículas rectangulares y cualquier línea en X e Y.

El cojinete de centrado es intercambiable con el estilete-microscopio y sostiene los dispositivos de grabado en una posición vertical. Un disco fijador evita que gire.

El grosor de las líneas de grabado debe tenerse en cuenta al seleccionar el accesorio.

Existen las siguientes clases de buriles para grabar en distintos materiales:

- Para vidrio recubierto: buriles de acero.
- Para película recubierta: buriles con punta de zafiro.
- Para metal: grabadores lineales, cónicos con punta de metal duro y pesas adicionales.

c) Soporte para afilar los buriles.

Se utiliza para reafilar con precisión los buriles de acero o ángulos correctos. Un excéntrico ajusta y a la vez arregla el buril.

Este accesorio se suministra con la piedra de afilar junto con el anillo para grabar en vidrio revestido.

d) Eje con punta de diamante.

Cuando se preparan dibujos de referencia muy precisos en vidrio o en la manufactura de modelos metálicos, el eje con punta de diamante se puede usar para marcar directamente sobre el material en cuestión. El aditamento del estilete de punta de diamante es intercambiable con el estilete-microscopio en los coordinatógrafos tratados.

El eje trabaja en soportes con baleros y puede girar manualmente. Su lado más bajo está provisto con un soporte ajustable para la punta de diamante en forma piramidal.

Un aditamento para freno permite el ajuste del tamaño del punto.

El aditamento del estilete con punta de diamante del coordinatógrafo 550 x 500 mm, el estilete-microscopio y la pluma de dibujo descansan sobre la placa de vidrio.

e) Compases radiales.

Para dibujar arcos circulares existen compases radiales para los coordinatógrafos de 1200 x 1200 mm y 550 x 500 mm.

El compás gira en un eje rematado en punta, el cual está unido al centro del mango del microscopio. El radio requerido se establece por medio del desplazamiento del vernier con tornillos de aproximación.

Tamaño de los radios:	0 a 160 mm	0 a 540 mm
	0 a 300 mm	0 a 1000 mm

Los círculos y arcos se dibujan con una pluma suministrada como un accesorio standard o se graban con un aditamento especial con punta de metal duro o de diamante.

H. S. A.: Haag Streit Ag.
Manufacturers of Precision
Instruments Liebefeld, Suiza.

ZEISS/J.: Veb Carl Zeiss, Jena
D. D. R. República Democrática
Alemana.

ZEISS /O.: Carl Zeiss 7082,
Oberkochen, Alemania Federal.

COORDINATOGRA' ' ó GRAFICADORES

NOMBRE	FABRICANTE	AREA	ESCALAS	PRECISION	ENLACE	PESO
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO	H. S. A.	1000 x 700 mm 1016 x 762 mm	Perforaciones cada 100, 50 mm y 5"	0.1 mm		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Con mesa de iluminación inferior	H. S. A.	1200 x 1200 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 Sistema inglés: 1:1200 1:2400 1:4800 1:6000 Ambos sistemas: 10:1 20:1 50:1	0.04 mm 0.0015 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	550 x 500 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 10:1 20:1 50:1 Ambos	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	400 x 240 mm	Sistema métrico: 1:5000 1:1000 1:2000	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO	H. S. A.	Area circular de 400 mm de diámetro	Sistema métrico: 1:500 1:1000 1:2000 Graduación círculo: 400g 5c estimación 1c 360° 2' estimación 1'	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFOS: *EA-F EC-F **MA-F MK-F MS-F	ZEISS/J	1200 x 900 mm	1:200 1:250 1:400 1:500 1:800 1:4000 1:5000 1:625 1:600 1:3200 adicional para los modelos EA-F, EZ-F, MA-F y MZ-F.	Errores mínimos cuadrados: En coordenadas: ± 0.03 mm En puntos: ± 0.04 mm	*Topocart Technocart Stereometrograph **Topocart Technocart	230 kg
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Z2	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	5 :1 1.5 :1 0.8 :1 0.375:1 4.166:1 1.5 :1 0.75 :1 0.25 :1 4 :1 1.33:1 0.66 :1 0.24 :1 2.66 :1 1.25:1 0.625:1 0.2 :1 2.5 :1 1.2 :1 0.6 :1 2 :1 1 :1 0.5 :1 1.66 :1 0.83:1 0.4 :1	En escalas: 0.1 mm En elementos giratorios: 0.02 mm	Estereoplanígrafo C-8 Ecomat 1	458 kg
KOORDIMAT	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	1:48 1:50 1:75 1:80 1:100 1:120 1:125 1:150 1:160 1:200 1:240 1:250 1:300 1:400 1:500 1:800	0.2 mm		580 kg

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

ELEMENTOS PARA MEDICION ANGULAR

PROFESORES:
MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ELEMENTOS DE MEDICION ANGULAR

1. GENERALIDADES.

Los limbos son los elementos para la medición angular y están -- formados por círculos graduados. Los teodolitos y tránsitos tienen uno para la medición de ángulos horizontales y otro para ángulos verticales. En los instrumentos antiguos o tradicionales los limbos son metálicos - con una cinta de plata en el lugar donde tienen las marcas de la graduación, algunos están protegidos con una cubierta metálica.

Estos limbos presentan las graduaciones siguientes:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno del limbo y de 360° a 0° en sentido izquierdo en el borde externo. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno y en cuadrantes en el borde externo.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 90° con el 90 en el zenit y el nadir.

Las casas constructoras han sustituido gradualmente a los limbos metálicos por limbos de vidrio porque éstos tienen la ventaja de que las marcas de graduación se pueden hacer con extraordinaria precisión y - absoluta nitidéz. La lectura de estos limbos se hace generalmente por transparencias y además su resistencia es excelente. Estos limbos tienen la forma de un anillo con varios milímetros de espesor, van montados en un anillo de metal de similar coeficiente de dilatación.

Estos limbos tienen los tipos de graduación siguiente:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 360° con el 0 en el zenit.

Los avances logrados en las máquinas para grabar han hecho posible extraordinarias perfecciones en la graduación de los limbos, por - ejemplo el teodolito Wild T2 tiene 1,080 partes en un limbo de sólo 70 mm de diámetro.

2. MECANISMOS DE LECTURA.

Los índices o mecanismos de lectura de los limbos están formados por vernieres, micrómetros y discos codificados para lectura electrónica.

2.1 VERNIERES.

El vernier o nonio es un dispositivo mecánico que se utiliza para leer una cifra que en una escala común sería solo estimada. El vernier en su conjunto está formado por el elemento de medición (limbo graduado) y por una regla graduada que contiene el índice.

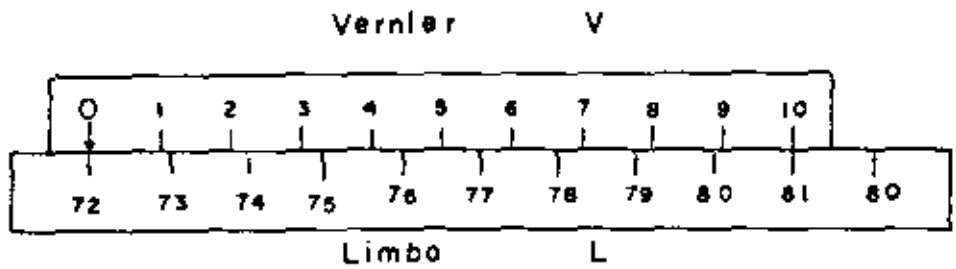


Figura 1

Si en la escala L considerada, se desliza la escala V, el índice O marca la fracción en el sentido de crecimiento de la escala L, si no se utilizara el vernier, esta lectura sería estimada, sin embargo, la fracción precisa es aquella que indica la marca del vernier que coincide -- con alguna marca del limbo.

Aproximación del vernier.

Sea: L : Valor de la menor división del limbo.
V : Valor de una división del vernier.
n : Número de partes del vernier.
a : Aproximación del vernier.

$$L - V = a \qquad nV = (n-1)\,L$$

$$a = \frac{L}{n}$$

En los vernieres no hay que confundir la aproximación con la -- apreciación, pues no siempre son iguales. La apreciación depende del

límite de la percepción visual (agudeza visual del observador). La expresión L entre n, es la aproximación del vernier y parece indicar que en un limbo graduado podría aumentarse la aproximación haciendo mayor número de divisiones al construir el vernier, sin embargo, no sería posible apreciar las rayas coincidentes pues habría incertidumbre, debido a los límites de la agudeza visual del operador.

Ejemplos de lecturas en escalas rectas.

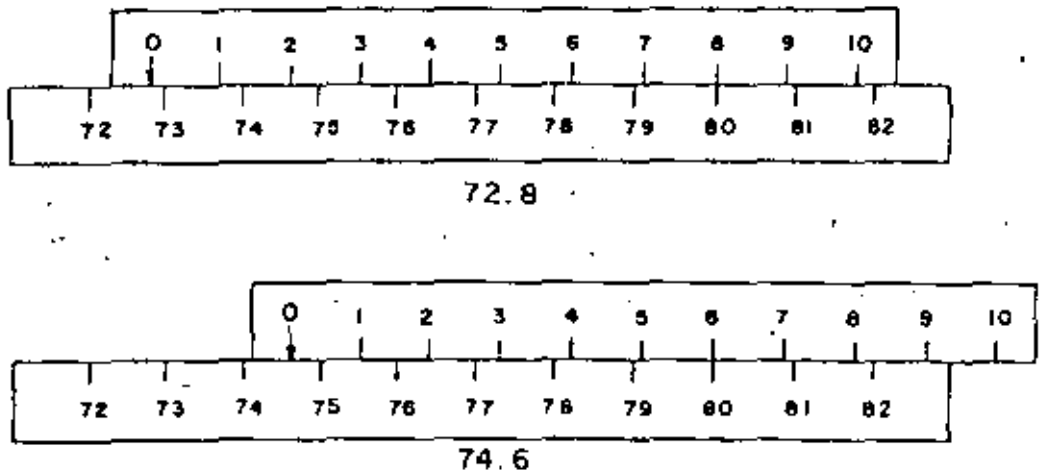


Figura 2

Ejemplos de lecturas en limbos y vernieres de tránsito.

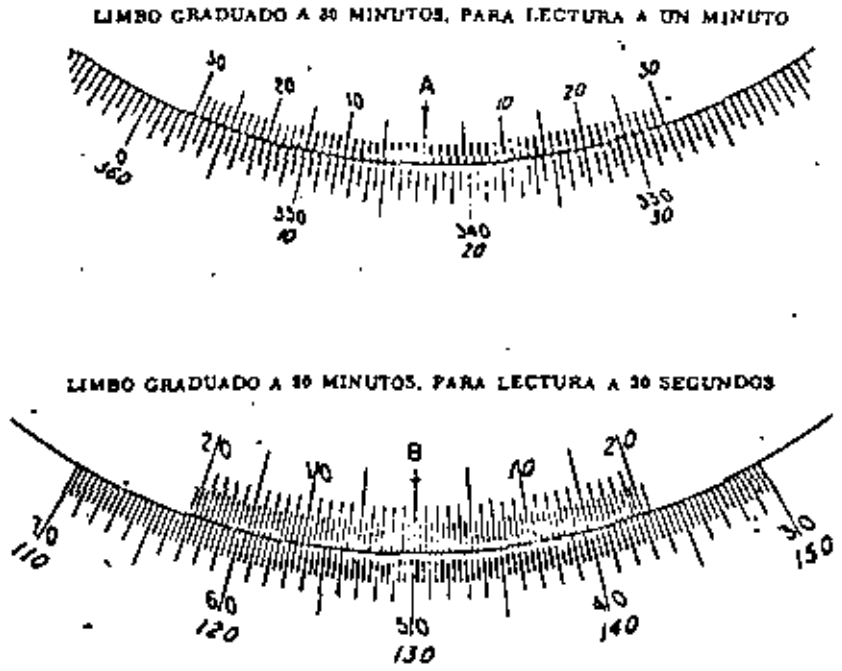


Figura 3

2.2 MICROMETROS.

En los instrumentos modernos para medición angular existe la tendencia a sustituir al vernier en los limbos de vidrio, por otros dispositivos más adecuados como es el caso de los micrómetros, que adoptan varias formas como las que a continuación se indican.

1. Micrómetro de estima.

Consiste en un microscopio de lectura dividido en forma de escala, cuya imagen coincide con la del limbo de igual modo que la retícula de un anteojo se superpone con la imagen del objeto. La retícula tiene una dimensión tal que al mirar a través del microscopio se ve de una magnitud idéntica a una división del limbo.

En los modelos más antiguos, el micrómetro tiene un solo hilo en el centro, sin embargo, hay algunos que mejoran la precisión aumentando los hilos de la retícula, algunos tienen tres o cinco hilos equidistantes de tal manera que las lecturas obtenidas con los hilos situados a la izquierda del central serán erróneas por defecto, mientras que las lecturas de los hilos de la derecha lo serán por exceso; el valor de la lectura es el promedio, con lo cual se aumenta la precisión.

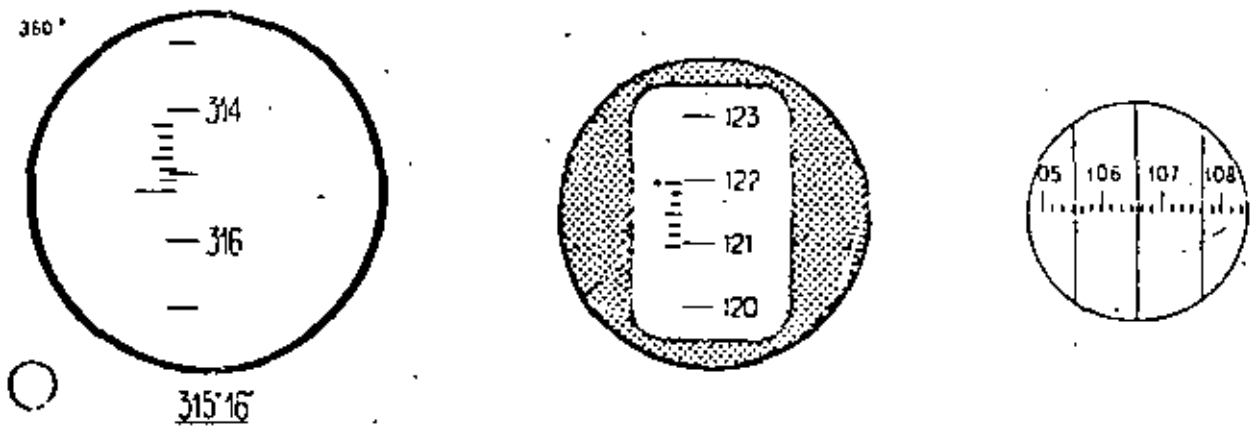


Figura 4

2. Micrómetro óptico de estima.

El Doctor Heinrich Wild logró revolucionar la construcción de los instrumentos topográficos introduciendo micrómetros de lectura sin necesidad de hilos ni de retículas. La fabricación de estos micrómetros fueron hechos al principio por la Casa Zeiss de Alemania, posteriormente por las fábricas Wild y más recientemente por la Casa Kern, ambas de Suiza.

El fundamento del método es el siguiente:

Sea L1, L2 un limbo de vidrio graduado de 0 a 360° y que, por un método óptico al observarlo a través de un microscopio, se traslada la imagen del sector L2 paralelamente a ella misma hasta verla en L'2 tangente al círculo. La graduación del punto de contacto en el sector L1, diferirá exactamente 180° de la leída en el sector L'2, y si la graduación del L1 crece a la derecha, la del L'2 crecerá hacia la izquierda, permaneciendo equidistantes a uno y otro lado del punto de contacto, las lecturas de L1 y de L'2 que difieren en una semicircunferencia.

Si se hace girar al círculo un cierto ángulo, la imagen L'2 girará el mismo ángulo en sentido contrario y en el punto de contacto las lecturas de ambos sectores seguirán siendo iguales (corrigiendo L'2 en una semicircunferencia). La diferencia de las lecturas extremas es el ángulo girado.

De este modo, no se necesita índice alguno, debiendo tomar como lectura la del punto de contacto de los dos círculos.

Unos prismas denominados separadores cortan ligeramente ambas imágenes del limbo de modo que aparezcan separadas por una línea fina.

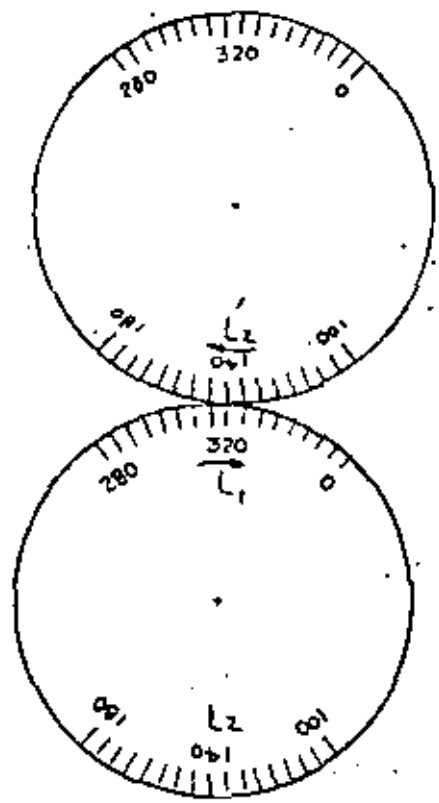
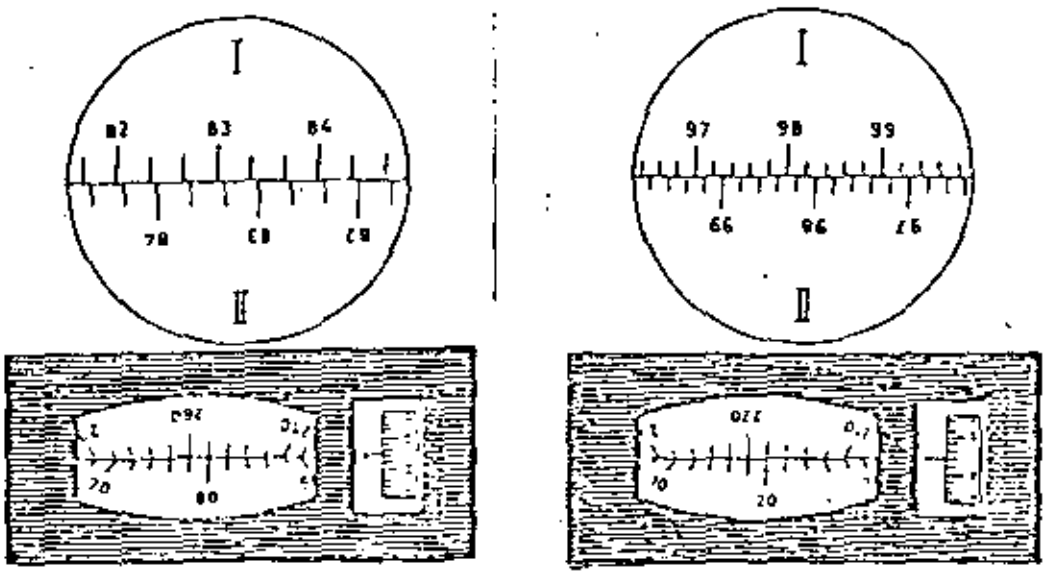


Figura 5

El teodolito Wild T-0 tiene este tipo de micrómetro. En este caso el limbo va dividido de 20' en 20' y para la lectura se tiene en cuenta que la distancia entre dos graduaciones iguales en ambos sectores, es doble de la que separa cualquiera de ellas del punto central, de lecturas coincidentes. De este modo se duplica la apreciación al medir la primera distancia y para reducirla a la mitad se toman las divisiones como si fueran de 10', apreciando a la estima la última fracción.

La ventaja de los micrómetros ópticos radica en la rapidez y claridad en las lecturas, duplicación del poder de apreciación y dar por corregido, con una sola lectura el error de excentricidad.

Ejemplos de lecturas.



Lectura : del círculo vertical 83° 12'
del círculo horizontal 79° 42'

Lectura : del círculo vertical 98,149
del círculo horizontal 19,249

Figura 6

3. Micrómetro óptico de coincidencia.

Principio de la placa de vidrio.

Con los dispositivos anteriores sólo se puede apreciar el minuto o cuando más el medio minuto. Es posible aumentar la apreciación, adoptando el método óptico el principio de la placa de vidrio que se utilizan varios instrumentos que alcanzan excelentes precisiones.

El sistema se funda en el desplazamiento óptico en sentido contrario de las dos imágenes de la figura anterior, hasta que coincidan las divisiones de una y otra, midiendo el desplazamiento ampliado en un tambor o en una escala.

Se consigue esto intercalando en el recorrido de cada haz de rayos luminosos, una placa de vidrio de caras opuestas, planas y paralelas.

Cuando la placa ocupe la posición 1, el rayo luminoso R la atraviesa sin desviación, pero si se le hace girar un ángulo i será éste el de incidencia y el rayo se refracta, formando con la normal el ángulo r, saliendo de la placa paralelo a la primera posición pero separado de ella una distancia d. La distancia d se puede medir en función del ángulo i de giro de la placa y de las constantes de la misma.

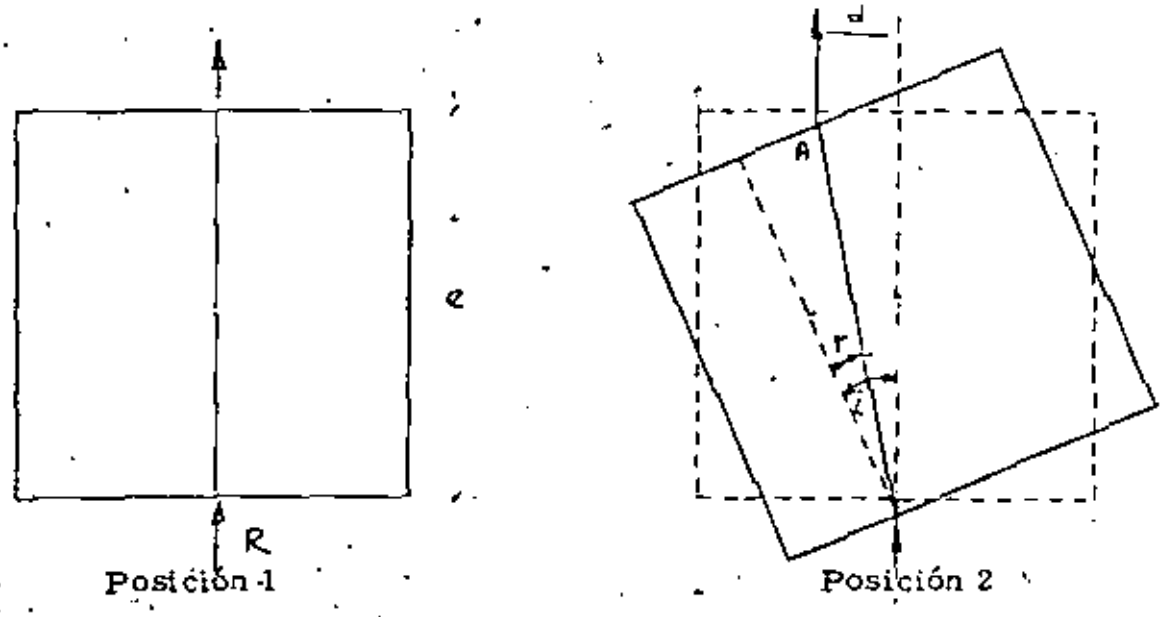


Figura 7

De la figura 2 se tiene:

$$AO = \frac{e}{\cos r}$$

$$d = OA \text{ sen } (i - r)$$

$$d = \frac{e \text{ sen } (i - r)}{\cos r}$$

Como i es un ángulo muy pequeño: sen (i - r) = (i - r) y

cos r = 1, por lo tanto:

$$d = e\,(i - r)$$

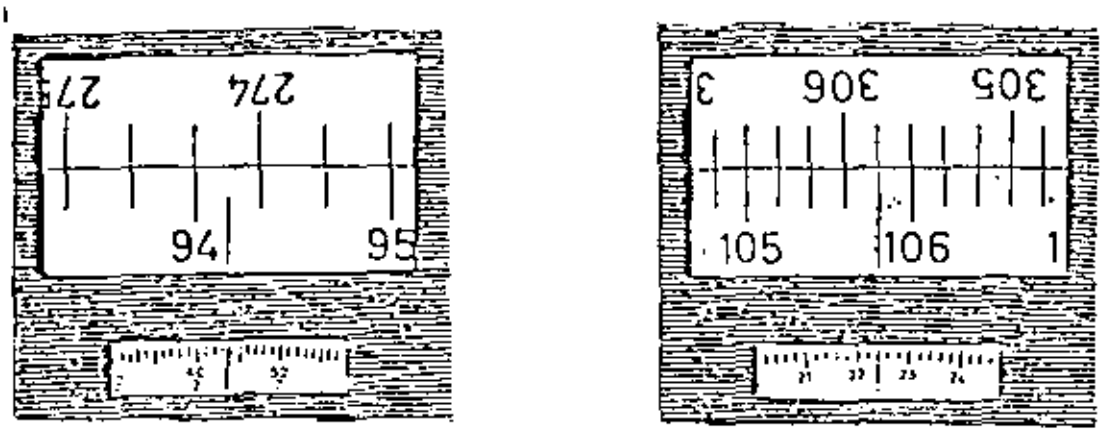
$$d = e\,\frac{i/r - 1}{i/r}$$

$\frac{i}{r} = n$, que es el índice de refracción, por lo tanto:

$$d = e\,\frac{n - 1}{n}\,i$$

Lo que quiere decir que la desviación se puede considerar como proporcional al ángulo i.

Si ahora se hace girar a las dos láminas de vidrio intercaladas respectivamente en los haces de rayos luminosos correspondiente a cada una de las imágenes de la figura 6 , el mismo ángulo en sentido contrario, se verá desplazarse los dos sectores del limbo hasta conseguir la exacta coincidencia de sus divisiones, como se muestra en la figura del teodolito Wild T2, donde se aprecia en el micrómetro el desplazamiento de las imágenes que equivale a la fracción de división que se debería apreciar a la estima.



94° 12' 44'' 105.8224 g

Figura 8

En la escala del limbo, la mismo que en la graduación sexagesimal que centesimal, se leen los grados y las decenas de minutos, mientras que los valores unitarios de éstos y los segundos se leen en la escala del micrómetro, junto al limbo y con el mismo microscopio.

En la figura 8 se observa como mediante el giro de un círculo de vidrio graduado se obliga a las dos placas micrométricas a girar en sentidos opuestos, desplazando los respectivos rayos luminosos procedentes de sectores opuestos del limbo hasta lograr la coincidencia de divisiones.

La parte del sector graduado del círculo de vidrio visible por el microscopio corresponde a la escalilla de la figura 8 .

Los dispositivos ópticos simplificados que dan una sola imagen del limbo pueden llevar también micrómetro óptico de coincidencia, que consiste en este caso, en una sola placa de vidrio de caras planas que desplaza la imagen hasta la coincidencia con un índice del retículo.

En todos los casos la desviación máxima del micrómetro, corres

ponde a una división del limbo, por lo que se consigue unicamente la coincidencia indicando el tope, el sentido en que ha de hacerse girar. La lectura da el desplazamiento desde la posición 0 de desviación nula.

A continuación se muestran los esquemas de lectura de los nuevos teodolitos Wild T2, que indican las decenas de minuto en forma digital.

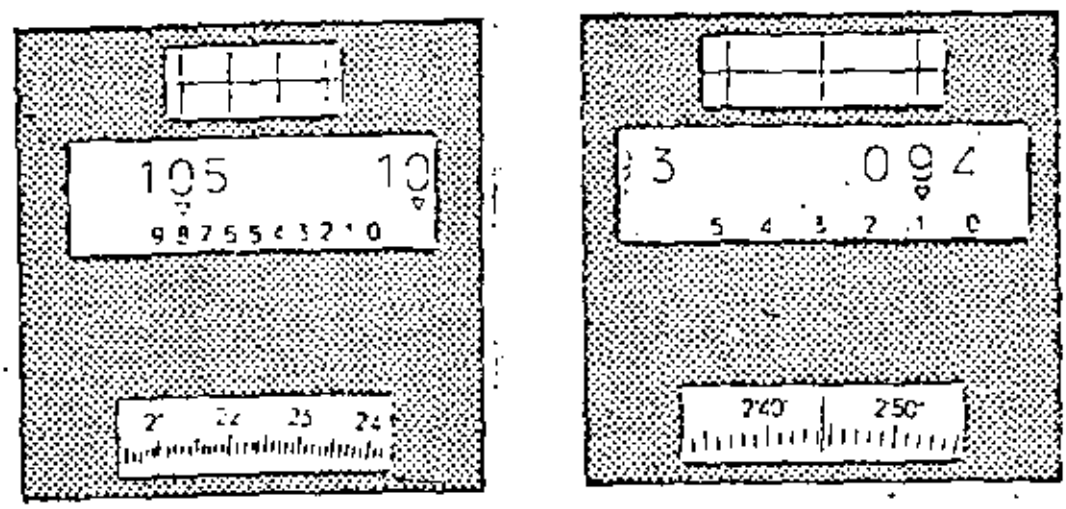


Figura 9

3. DISCO CODIFICADO PARA LECTURAS ELECTRONICAS.

La determinación de los ángulos horizontales y verticales en los tránsitos o teodolitos se puede hacer electrónicamente, transformandolos a lecturas digitales directas por medio de varios códigos binarios, como el que se muestra en la figura 10 , los cuales son impresos en círculos de vidrio y leídos por medios fotoeléctricos, magnéticos o por contacto directo. Las señales son clasificadas electronicamente y los desplazamientos angulares cuyas lecturas son mostradas por medio de pequeños tubos de nixie que corresponden a las lecturas del círculo horizontal y vertical. Los resultados también pueden ser almacenados en cinta magnética, cinta de papel o impresos en tarjetas para su posterior procesamiento en computadora.

El distanciómetro electrónico Reg Elta 14 y el Geodímetro Aga 700, tienen integrados teodolitos digitales y pueden proporcionar las lecturas en tubos nixie de 6 dígitos. Los valores con la información de identificación pueden ser registrados en la cinta.

Los sistemas de lectura electrónica digital directa son de construcción reciente y por la comodidad de su operación y fácil lectura son muy

aceptados en los medios de trabajo. Su construcción ha sido posible gracias al desarrollo que ha tenido la interpretación de códigos de varias clases de transformadores de un sistema a otro y discos codificados.

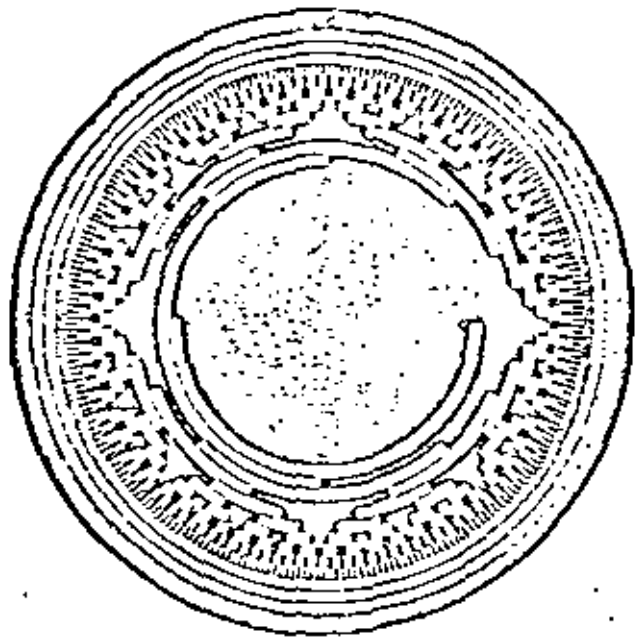
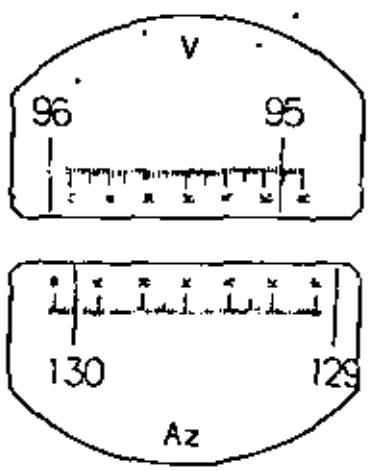


Figura 10

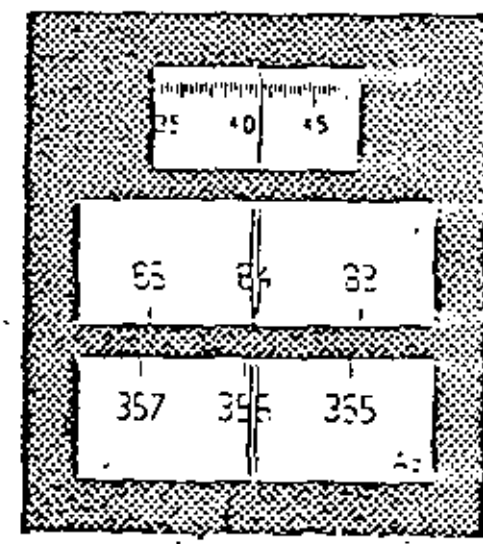
Ejemplos de lecturas

Wild T16



360° Lectura: del círculo vertical 95° 54,4'
del círculo horizontal 130° 04,6'

Wild T1A



Lectura del círculo vertical: 84° 41' 15'' (360°)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

AGOSTO, 1981.

8.1 PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

8.1.1 Generalidades.

En años recientes varios sistemas electrónicos han sido desarrollados con el propósito explícito de medir distancias en topografía. Se han basado en la velocidad invariable de la luz y de las ondas electromagnéticas en el vacío. El primero de estos sistemas, denominado Geodímetro, aportó un valor muy preciso de la velocidad de la luz que difirió en sólo 0.4 de km., de la velocidad determinada por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en el año de 1957 y cuyo valor fue de 299,792.5 km/seg. La invención de este sistema marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

El primer geodímetro, así como todos los modelos siguientes utilizan un rayo de luz modulada para la determinación de distancias. Al final de la década de 1950 fué desarrollado el telurómetro, instrumento que utiliza microondas moduladas. Instrumentos similares al telurómetro fueron construídos en los años siguientes, y éstos junto con el geodímetro llegaron a ser comunes en la medición de grandes distancias.

El desarrollo y perfección de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicas de estado sólido, aportaron nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de distancias. Con estos nuevos recursos fué posible construir instrumentos más portátiles con menos consumo de energía y con más facilidad para operar y leer. Sin embargo, estos instrumentos no tienen el alcance de los antes indicados. Son ejemplos los instrumentos que utilizan luz infrarroja.

Con el estudio y desarrollo de la luz láser ha sido posible en años recientes construir instrumentos para los mismos fines que utilizan luz láser altamente coherente.

En la actualidad, debido a la inversión, precisión de los resultados y facilidad relativa de su operación, los geodímetros y los instrumentos de microondas se usan todavía. Los instrumentos que utilizan luz infrarroja y que, en general son de corto alcance, han tenido éxito notable en la topografía común, pues en muchos casos han eliminado el longímetro con excepción de las distancias muy cortas que se presentan en la topografía de construcción. Los instrumentos de luz laser tienden a desplazar a los dos anteriores, sin embargo, en la actualidad existen serias dudas con relación al daño que puedan causar a los operadores.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para medir distancias, que en lo sucesivo se van a designar como EDM, se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance, pues los instrumen-

tos que se han construido a través del tiempo se han mantenido dentro de ciertos rangos de alcance máximo. Los instrumentos EDM de corto alcance son generalmente los que usan luz infrarroja y llegan a tener hasta 5 km. de alcance. Los modelos más recientes son de lectura digital, peso ligero, poco consumo de energía y algunos tienen adaptado un goniómetro para la medición de ángulos.

Estos instrumentos usan diodos emisores de luz para generar luz infrarroja en la región de los 900 a 930 nm de longitud de onda (fuera del espectro visible).

Algunos instrumentos de corto alcance utilizan como onda de transmisión luz láser visible como el Geodímetro AGA modelo 76.

Un instrumento de alcance medio es aquél que es capaz de medir distancias hasta de 16 km. Estos instrumentos usan varios tipos de ondas de transmisión como luz de tungsteno, luz de mercurio, luz láser y microondas con frecuencias del orden de 10 billionHz ó 10 Gigahertz (10 GHz). La mayor parte de los instrumentos de este tipo usan luz láser como onda de transmisión.

Los instrumentos de largo alcance son aquellos capaces de medir distancias mayores de 16 km. Algunos utilizan luz como onda de transmisión y pueden medir distancias hasta de 60 km. con excelente precisión. Los geodímetros y los nuevos instrumentos láser están en este rango; otros utilizan microondas como el telurómetro y el electrotape, éstos últimos llegan a tener un alcance mayor que los primeros.

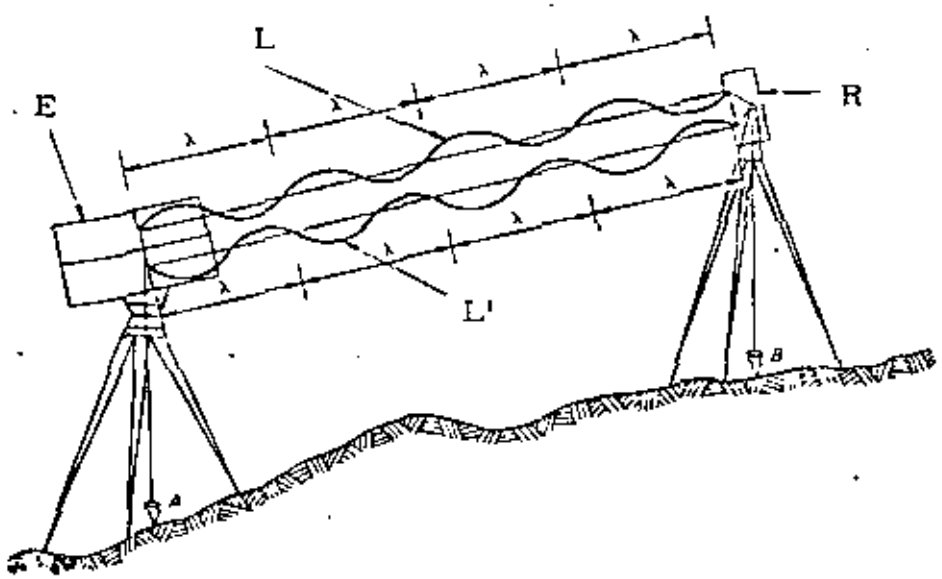
Continuamente se diseñan accesorios y nuevos instrumentos que permiten una mayor variedad de alcances, de tal modo que su optimización va en aumento lográndose poco a poco mejor operabilidad del instrumento, reducción de tamaño, peso y digitalización en las lecturas, tanto de la distancia como de los ángulos horizontales y verticales que le corresponden.

8.1.2 Principio de medición de los instrumentos EDM que usan ondas de luz.

En la figura siguiente:

E : Emisor — L : Luz modulada

R : Reflector — L' : Regreso de L



En todos los instrumentos EDM que usan tungsteno, mercurio, láser o luz infrarroja como ondas de transmisión, un rayo contínuo de luz es generado en el instrumento emisor. Antes de entrar a las colimaciones ópticas y tener dirigido al reflector que es colocado en el otro extremo de la línea por medir, este rayo contínuo es modulado en intensidad a muy alta frecuencia. La modulación, en efecto, transforma el rayo de arriba en longitudes de onda que están en función directa de la frecuencia de modulación. Esta longitud de onda está dada por:

$$\lambda = \frac{v'a}{f}$$

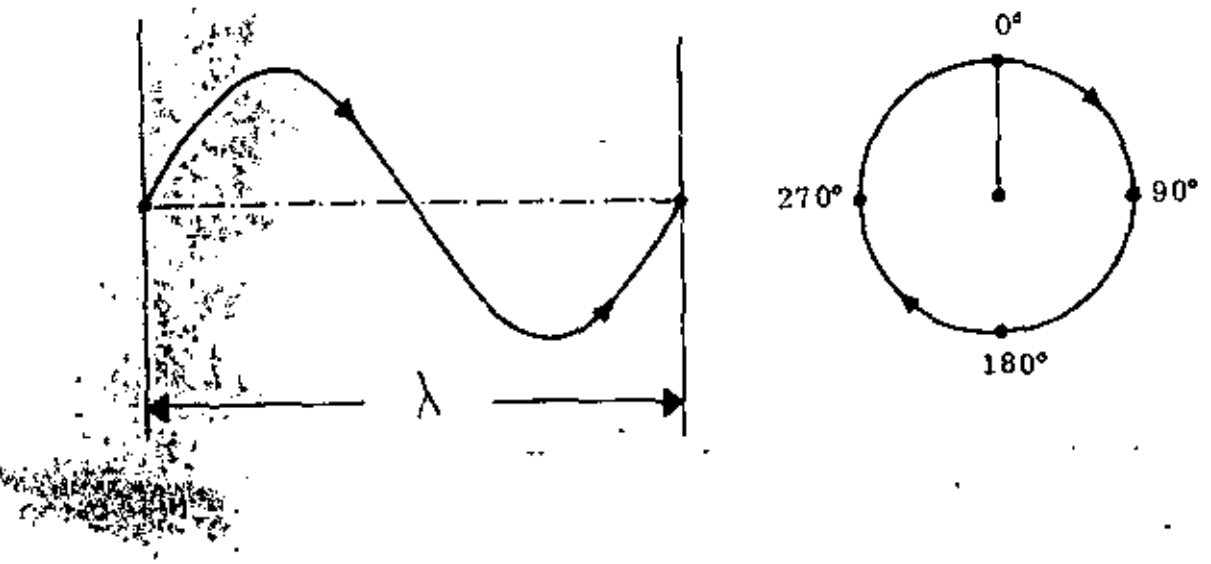
en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros.

$v'a$: es la velocidad de la luz a través de la atmósfera en metros por segundo.

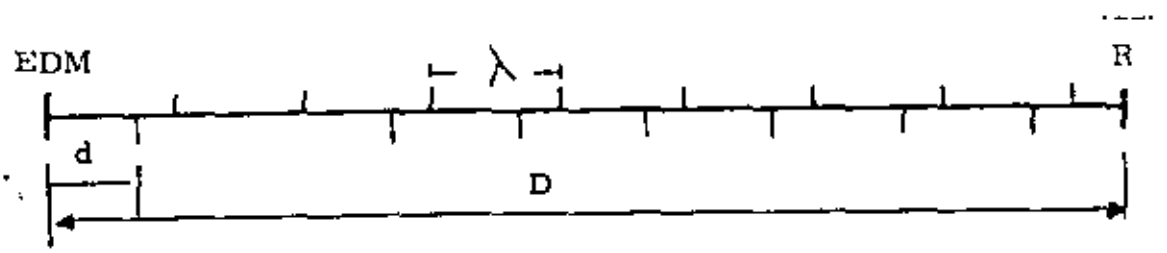
f : es la modulación de frecuencia en hertzios.

El valor de v'a está en función de la temperatura del aire, presión atmosférica y presión parcial del vapor de agua.

La intensidad de la luz modulada varía de 0 al principio de cada longitud de onda, llega a un máximo a los 90°, regresa a los 180°, disminuye hasta un mínimo a los 270° y regresa a 0 a los 360°. La distancia entre 0° y 360° es por lo tanto igual a la longitud de onda completa.



Por esta razón, los instrumentos EDM generan una cinta luminosa para medir, cuya longitud es igual a la longitud de onda de la luz modulada. Por ejemplo, si la frecuencia de modulación es 10MHz y la velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/seg., la longitud de la onda modulada es de alrededor de 30 metros.



En la figura anterior el instrumento EDM está localizado a la izquierda en un extremo de la línea por medir y el reflector R a la derecha ocupando el otro extremo de la línea. El reflector es la esquina de un cubo de vidrio en el cual los lados del cubo son perpendiculares uno al otro dentro de tolerancias muy estrechas. Esta perpendicularidad causa que la luz que llega sea reflejada internamente y salga paralela a ella misma. La esquina del cubo, por lo tanto, constituye un retroreflector. Un número entero de longitudes de onda, más una distancia parcial llamada d integran el total de la distancia del instrumento EDM al reflector y de regreso al aparato EDM. Se observa que si el reflector o el instrumento emisor se mueven hacia atrás o hacia adelante, a lo largo de la línea en una distancia igual a una mitad de longitud de onda o cualquier número de medias longitudes de onda, el valor de la distancia parcial d, será el mismo en cada caso.

. Esta distancia parcial es medida en el instrumento con un cierto tipo de medidor de fase. La distancia buscada D entre los dos extremos de la línea, está dada por:

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

en la que: n : es el número entero de longitudes de onda en la doble distancia.

λ : longitud de onda de modulación en metros.

d : distancia parcial.

Una manera en la cual esta ecuación se podría resolver sería tener el conocimiento previo de la longitud de la doble trayectoria hasta la media longitud de onda más cercana, lo cual requiere que la longitud de la línea sea conocida al cuarto de la longitud de onda más cercano. Como esto no es práctico la ambiguedad de n puede ser resuelta utilizando la técnica de las frecuencias múltiples.

Si la medición es realizada conociendo su frecuencia y ésta se repite usando una frecuencia ligeramente diferente, dos valores distintos de d serán leídos en el medidor de fase. Conociendo los dos valores de las longitudes de onda, se obtienen dos ecuaciones similares a la anterior, pudiendo ahora resolverlas simultáneamente y obtener el valor de la incógnita y por lo tanto la distancia D buscada.

La técnica de frecuencias múltiples para resolver la ambiguedad está incorporada dentro de los modernos EDM. Tal sistema en uso común es la técnica de modulación de diez en diez. Suponiendo que una modulación de frecuencia de 15 MHz es establecida en el instrumento, resulta una longitud de media onda de 10 metros. Aceptemos que la extensión completa del medidor de fase esté representando una distancia de 10 metros.

La lectura del medidor de fase entonces da como unidad el metro y parte decimal del metro en la medida de una distancia de 0 a 9.999 m. Por ejemplo en una distancia de 3,485.276 m. esta frecuencia daría la parte 5.276. Cambiando a 1.5 MHz, la media longitud de onda es ahora 100.0 metros, la cual es resuelta por el medidor de fase para dar las decenas de metros, en este caso 80 (8 decenas). La siguiente frecuencia es entonces 0.15 MHz, la cual en unión con el medidor de fase, proporciona las centenas de metros, lo que en este caso es 400 (4 centenas) Finalmente a una frecuencia de 15 KHz dará el número de miles de metros en la distancia la cual en este caso es 3,000 (3 miles).

El instrumento EDM HP-3800 en el cual se lee en pies, emplea la técnica de modulación de diez en diez. El operador primero apunta la óptica del instrumento al reflector colocado en el otro extremo de la línea, usando el telescopio de observación, y manipula un par de tornillos tangenciales para perfeccionar el alineamiento vertical y horizontal. El mejor alineamiento se determina observando un medidor que muestra la intensidad de la señal de regreso. El operador entonces equilibra las intensidades de las señales de salida y de entrada con objeto de asegurar un adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos. Por medio de un switch deslizante se mueve a la primera frecuencia y se sintoniza en el número adecuado de pies y partes decimales y se lee 7.14 pies. Entonces se desliza el switch a la próxima frecuencia más baja y se sintoniza en 10 pies; la siguiente frecuencia de más abajo da 400 pies; y la más baja de todas las frecuencias proporciona 7,000 pies. La distancia medida es por lo tanto 7,417.14 pies.

Como hay gran variedad de instrumentos EDM no es práctico discutir los detalles particulares de operación de cada instrumento. Los fabricantes describen ampliamente la operación de los mismos.

8.1.3 Principio de medición de instrumentos EDM que utilizan microondas.

Los instrumentos de microondas generan superalta frecuencia -- (SHF) u ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente alta en el rango de 3 a 35 GHz, como ondas portadoras. Estas, a su vez, están moduladas a frecuencias que varían de 10 a 75 MHz según el tipo de instrumento. La longitud de onda modulada está dada por:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

en la que: λ: es la longitud de onda de modulación en metros o pies.

Vr : es la velocidad de la microonda a través de la atmósfera en metros por segundo

f : es la frecuencias de modulación en hertzios.

El valor Vr depende de la temperatura, presión atmosférica y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares, que se colocan en los extremos de la línea por medir, éstos son conocidos como instrumento maestro e instrumento remoto. Las observaciones son realizadas en el instrumento maestro, y

en el remoto también debe haber un operador, éste funcionará como reflector de la onda generada por la estación maestra.

El operador en la estación maestra selecciona una frecuencia de modulación en la cual las microondas son transmitidas hacia el instrumento remoto; quien indica al operador en la estación remota por medio de la comunicación del instrumento (está interconstruída en el mismo aparato) qué frecuencia de transmisión está siendo usada. El operador remoto coloca su instrumento a la frecuencia correspondiente. La señal es recibida por el instrumento remoto y es retransmitida a la estación maestra sin demora. Un medidor de fase, en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas emitida y recibida, en un osciloscopio en los primeros modelos de microondas o en forma digital en los más recientes. Esto, en efecto, da la fracción o parte decimal de la longitud de onda por la cual la doble trayectoria, de la estación maestra a la remota, se desvía de un número entero de longitudes de onda. Esto es equivalente a la distancia d ya tratada.

Si cualquiera de los dos, el instrumento maestro o remoto tuvieran que ser movidos sobre la línea por medir, ya sea hacia adelante o hacia atrás, por media longitud de onda modulada, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior. Por lo tanto la ambiguedad que existe en los instrumentos de ondas de luz, se presenta también en los instrumentos de microondas.

La técnica para resolver la ambiguedad en el número de longitudes de onda completas contenidas en la doble distancia, generalmente es la misma como la que se indicó en el EDM a base de ondas de luz.

En el telurómetro, por ejemplo, la modulación múltiple de frecuencias patrón es como se indica:

Patrón A: 10,000 MHz
Patrón B: 9,990 MHz
Patrón C: 9,900 MHz
Patrón D: 9,000 MHz

El patrón A por sí mismo interrumpe la onda de 10 MHz por medio del medidor de fase para dar lo más próximo a 50 pies y la parte decimal de 50 pies contenida en la distancia directa entre la estación maestra y la remota. Una combinación de los patrones A y D resuelve lo más próximo a 500 pies; una combinación de los patrones A y C resuelve lo más próximo a 5,000 pies y una combinación de los patrones A y B resuelve lo más próximo a 50,000 pies. En los instrumentos más antiguos se hacían cálculos para reducir las lecturas del medidor de fase a la distancia deseada, mientras que los instrumentos recientes proporcionan auto-

mática o semiautomáticamente la reducción.

8.1.4 Efectos de las condiciones atmosféricas en la velocidad de la onda.

Las condiciones de la atmósfera que afectan la velocidad de propagación de la luz y las microondas son: la temperatura del aire, presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa, a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Un conocimiento de estos elementos permite una determinación del índice refractor del aire, el cual se debe conocer para calcular la velocidad de la luz o de las microondas, bajo ciertas condiciones meteorológicas dadas.

Para ondas de luz el índice refractivo n_g de aire normal está dado por:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4}) 10^{-6}$$

en la que: λ_c : es la longitud de la onda de la luz portadora en micras.

Según la clase de luz utilizada en los EDM los valores de λ_c son como sigue:

Ondas de transmisión	λ_c (μ m)
Vapor de mercurio	0.5500
Incandescente	0.5650
Laser roja	0.6328
Infrarroja	0.900 - 0.930

El índice de refracción n_a para ondas de luz partiendo de las condiciones del aire normal, puede ser calculado por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)\,p}{273.2 + t} - \frac{1.5026\,e \times 10^{-5}}{273.2 + t}$$

en la que: p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio - (Torr).

t : es la temperatura del aire en grados centígrados.

e : es la presión de vapor en Torr.

Prácticamente para todas las mediciones de distancias con luz, el último término de la ecuación anterior que incluya la presión de vapor, puede ser despreciado, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en las ondas de luz.

La velocidad de las ondas de luz en el aire, Va está relacionada a la velocidad de la luz en el vacío por:

$$Va = \frac{C}{n_a}$$

El valor de C es 299,792.5 km/seg.

Ejemplo. Un rayo laser rojo con frecuencia modulada de 24 MHz atraviesa la atmósfera, cuya temperatura es 26° C y la presión atmosférica es 759 Torr. ¿Cuál es la longitud de onda modulada de la luz?.

Solución. El índice de refracción del aire normal para la onda de transmisión laser es:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{0.6328^2} + \frac{0.068}{0.6328^4})\ 10^{-6} = 1.0003002$$

El índice de refracción del aire bajo las condiciones atmosféricas dadas despreciando el último término es:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474\ (1.0003002 - 1) \times 759}{273.2 + 26} = 1.0002738$$

La velocidad de la luz laser a través de esta atmósfera está dada por la expresión:

$$Va = \frac{299,792.5}{1.0002738} = 299710.4 \text{ km/seg.}$$

Finalmente la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,710.4}{24 \times 10^6} = 0.01248793 \text{ km} = 12.48793 \text{ m.}$$

El efecto de la presión del vapor de agua, el cual puede se

ciado cuando se trabaja con luz, es muy grande cuando se usan EDM de microondas. Consecuentemente la humedad relativa debe ser determinada cuidadosamente en el campo, en el momento de la medición.

Un Psicómetro de alta calidad el cual da lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, debe ser empleado para la determinación de la presión del vapor.

El índice de refracción de las microondas n_r, está dado por:

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}\left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right)e$$

En la que p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio. (torr).

e : es la presión del vapor en milímetros de mercurio, en torrs.

t : es la temperatura del aire (bulbo seco) en grados centígrados.

La velocidad de la propagación de las microondas Vr a través de la atmósfera está dada por:

$$Vr = \frac{C}{n_r}$$

Y la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

Ejemplo. ¿Cuál es la longitud de onda en metros, de microondas moduladas a una frecuencia de 10 MHz, si la presión atmosférica es 643 Torr, la temperatura es 23.9° C y la presión de vapor 3.5 Torr?.

Solución.

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{297.1}(643.0 - 3.5) + \frac{86.26}{297.1}\left(1 + \frac{5748}{297.1}\right)3.5 = 243.4$$

y $n_r = 1.0002434$. Con la ecuación:

$$Vr = \frac{299,792.5}{1.0002434} = 299,719.5 \text{ km/seg.}$$

Finalmente con la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,719.5}{10 \times 10^6} = 0.02997195 \text{ km} = 29.97195 \text{ m.}$$

Las ecuaciones dadas para la determinación del índice de refracción se presentan en diferentes formas en varios artículos y publicaciones. Hay ligeras e insignificantes variaciones en los resultados obtenidos por medio de las diferentes expresiones o fórmulas.

Las fórmulas tratadas con anterioridad permiten al lector apreciar la importancia relativa de la temperatura, presión y presión del vapor en ambos casos, luz y microondas.

Los efectos de las condiciones atmosféricas son tratados de varias maneras en los diversos sistemas de EDM.

Las correcciones son pequeñas para distancias cortas, cuando se emplean EDM a base de ondas luminosas. Para líneas más largas un error de 10° C en la temperatura efectiva de la trayectoria del rayo, introduce un error relativo de 10 ppm y un error de 25 mm de mercurio, en la medición de la presión atmosférica también introduce un error relativo de 10 ppm.

Las correcciones en cualquiera de los dos casos son calculadas en base a los datos meteorológicos determinados al momento de medir, o también el circuito del instrumento es modificado para considerar las condiciones atmosféricas dentro del cálculo.

En el instrumento HP-3800, por ejemplo, las correcciones del medio ambiente se marcan en una carátula dentro de la unidad de potencia. Esto cambia la frecuencia modulada con objeto de mantener una longitud de onda constante a cualquier temperatura y presión. En el caso de los instrumentos EDM de microondas, la presión parcial del vapor de agua obtenida por las lecturas termométricas del bulbo seco y húmedo debe ser determinada con buena precisión. Un error de 2 mm en la presión del vapor o un error de 1.5° C en la diferencia entre la temperatura del bulbo seco y húmedo producirán un error relativo aproximado de 10 ppm a temperatura normal. Este error relativo crece con un incremento en la temperatura del aire. Suponiendo que las condiciones meteorológicas hayan sido determinadas satisfactoriamente, las correcciones para las distancias medidas se hacen fácilmente con la ayuda de varias gráficas, tablas o nomogramas, que son suministrados con los instrumentos.

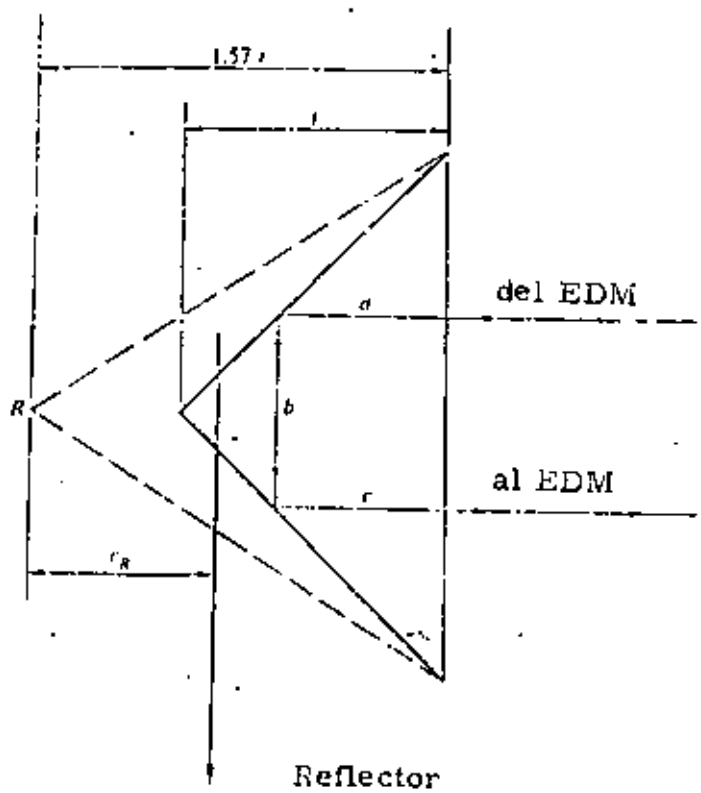
Si se usa un barómetro aneroide para determinar la presión atmós

férica, la lectura de elevación en metros o pies debe ser convertida al valor apropiado de presión en milímetros o pulgadas de mercurio. Esta conversión se hace usando gráficas o tablas suministradas por el fabricante del instrumento.

La tabla siguiente puede ser usada para convertir metros de elevación a milímetros de mercurio y recíprocamente.

8.1.5 Errores instrumentales en los EDM.

Si un instrumento EDM moderno es adecuadamente sintonizado, hay muy pocas causas de errores instrumentales que necesiten corrección. Un error conocido como "constante del reflector" es causado por no tener el centro efectivo del reflector plomeado en el extremo lejano de la línea. Este tipo de error se muestra en la figura siguiente para el caso de un reflector cúbico. La distancia a través de la cual viaja la luz en el cubo de vidrio durante la retrorreflexión es a + b + c, la que a su vez es igual a 2t. La distancia t se mide desde la superficie del reflector hasta la esquina del cubo de vidrio. La distancia equivalente en el aire a través de la cual la luz viaja es 1.57 x 2t, debido al índice de refracción del vidrio. La esquina efectiva del cubo está en R y representa el final de la línea. Si la línea de la plomada pasara verticalmente enfrente del punto R, entonces un error C_R se introduciría en la distancia medida de la línea, y en este caso la distancia C_R tendría que ser restada. La constante del reflector es eliminada mediante la posición adecuada del centro eléctrico del EDM y del prisma de reflexión en su montura.

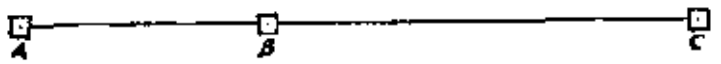


Un error similar se presenta en la estación remota de un sistema de microondas. Si el centro eléctrico no está sobre la línea vertical del instrumento, en este caso un error constante se introduce en cada medición. Un error sistemático se introducirá si la línea de la plomada en el aparato transmisor no pasa a través del centro eléctrico del instrumento. Este es idéntico al error en el extremo remoto de los sistemas de microondas. Dos métodos pueden ser empleados para determinar el valor de este error.

En el primero, se establece una línea lo más larga posible y se mide usando una cinta invar, de acero, o con un EDM de onda de luz, conocida la constante del reflector. Debido a la precisión inherente de los EDM, esta línea debe ser medida con un alto grado de precisión. Si la distancia conocida es medida con el EDM, la distancia corregida por condiciones meteorológicas, por la constante del reflector e inclinación de la línea, debe concordar con la distancia establecida. La diferencia entre las dos da el valor de la constante del instrumento C_1.

Cuando se usa el sistema de microondas, la constante de la estación maestra puede ser combinada con la constante de la estación remota y proporcionar un valor único para aplicarlo a cada distancia medida. Esta constante combinada se obtiene midiendo a lo largo de una distancia conocida y haciendo la comparación correspondiente como se indicó con anterioridad.

Si una línea base confiable no está disponible y si no es factible medir una línea, un segundo método puede ser aplicado para determinar la constante del instrumento. En la siguiente figura, tres puntos A, B y C, se localizan sobre una línea recta.



El EDM ocupa el punto A y se miden las distancias AB y AC. Se traslada el EDM al punto B y se mide la distancia BC. Estas tres mediciones se corrigen debido a las condiciones meteorológicas constantes del reflector (en el caso de un instrumento de onda de luz) e inclinación. Entonces si C_1 es la constante del instrumento o la constante maestra remota combinada:

(medida AB + C_1) + (medida BC + C_1) = medida AC + C_1, dando C_1 = medida AC - (medida AB + medida BC).

Los instrumentos y reflectores actuales llegan a estar tan bien - calibrados en el momento de la fabricación, que las pequeñas constantes del instrumento y del reflector se conocen con precisión. Generalmente están reducidas a cero en el proceso de fabricación. La determinación de las constantes en el terreno generalmente no se requiere. La determinación del valor C_1 se hace bajo la suposición de que el instrumento está adecuadamente sintonizado para dar la modulación de frecuencia correcta.

Un error en la frecuencia produce un error de escala tal como la longitud de la cinta incorrecta, discutida con anterioridad. Por ejemplo, si la modulación de frecuencia correcta es 10 MHz y si la verdadera frecuencia se desvía de ésta por 100 Hz, un error relativo de 10 ppm afecta cada medida. Las frecuencias pueden ser comprobadas por medio de un contador de frecuencia. Una comprobación de frecuencia deberá ejecutarse a intervalos regulares, particularmente si se ejecutan levantamientos de alta precisión o estos tienen líneas muy largas. Alternativamente, si el EDM se comprueba regularmente con una distancia conocida, aplicando correcciones por constantes del instrumento y del reflector, condiciones meteorológicas e inclinación, se puede detectar un cambio de frecuencia.

8.1.6 Reflexión de microondas terrestres.

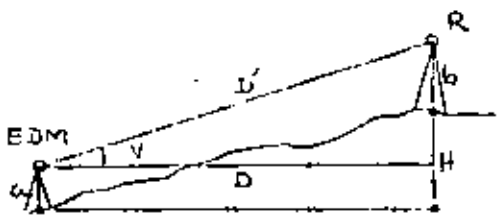
El EDM de microondas tiene un rayo relativamente amplio. Consecuentemente, las ondas que viajan de un extremo al otro de la línea, - pueden tener reflexiones importantes originadas por el terreno entre las estaciones, particularmente si este es plano y libre de vegetación gruesa.

Las ondas reflejadas pueden introducir serias alteraciones cuando las mediciones se hacen sobre el agua. Las ondas reflejadas en este caso son causantes que se obtenga una distancia defectuosa, debido a que viajan sobre trayectorias más largas que los rayos directos. Si se hace una serie de lecturas finas como se toman las del modelo A del telurómetro, cada una con una frecuencia diferente y si hay fuertes reflexiones, estas lecturas variarán en forma cíclica. Si las lecturas se grafican, - como una función de la frecuencia portadora, idealmente toman la forma de una curva senoidal. La variación cíclica en las lecturas finas se llama oscilación. La interpretación de la curva de oscilación que representará el mejor valor es cuestión de experiencia y criterio. Generalmente un promedio de las lecturas finas, será lo suficientemente preciso para la mayoría de las mediciones.

8.1.7 Reducción al horizonte de la distancia inclinada.

Algunos modelos recientes proporcionan distancia inclinada, - distancia horizontal y distancia vertical, por lo que la reducción al horizonte es innecesaria, sin embargo, para aquellos modelos que - no realicen automáticamente esta operación se procederá como sigue:

Cuando no se conocen las elevaciones de la estación E.D.M. y del prisma R:



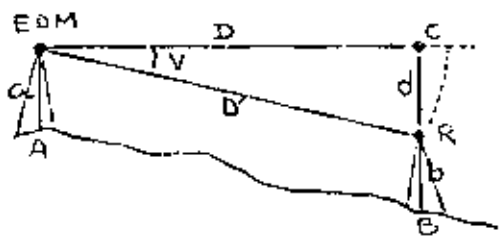
$$D = D' \cos V$$

$$H = D' \operatorname{sen} V + a - b$$

En la figura:

E.D.M.: Estación emisora.
R : Estación reflectora.
D' : Distancia inclinada
D : Distancia horizontal.
H : Distancia vertical.
a : Altura del punto eléctrico EDM.
b : Altura del punto de - reflección R.
V : Angulo vertical.

Cuando se conocen las elevaciones de las estaciones:



En la figura:

C : Corrección aplicada a D' para obtener D.
A : Estación EDM.
B : Estación del reflector.

$$C = D' - D$$
$$d^2 = D'^2 - D^2$$
$$d^2 = (D' - D)\ (D' + D)$$
$$d^2 = C\ (D' + D)$$

$$C = \frac{d^2}{2D} \quad \text{aprox.}$$

En la que:

d = (cota A + a) - (Cota B + b)

$$D = D' - C$$

16

INSTRUMENTOS PARA MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Geodímetro 12	a	1	1	1,600	3
Geodímetro 7T		1	1	500	11
Distomat DI 10	a	2	1	2,000	18
Distomat DI 3	a, c	2	1	900	7
Distomat DI 3S	a, c	2	1	1,500	7
DM 2000		3	1	2,500	11
DM 500	a	3	1	500	2
SM 11	b,c	4	1	2,000	20
Reg Elta 14	b,c,d	4	1	2,000	20
Eldi 1		4	1	5,000	8
Eldi 2		4	1	3,000	4
Eldi 3		4	1	1,500	4
SM 4		4	1	2,000	8
HP-3800		5	1	3,000	8
HP-3805		5	1	1,600	8
HP-3810	b,c	5	1	1,600	12
Micro-ranger	a	6	1	1,600	6
DM 60 Cubitape		7	1	2,000	7
MA 100		8	1	2,000	14
CD 6	a	8	1	2,000	4
Beetle 500	a	9	1	500	3
SDM 3H		10	1	1,600	17
SDM IC		10	1	1,600	6
Akkuranger MK-II		11	1	1,350	-
Distomat DI 4	a, c	2	1	2,000	-
Taquimat TC 1	b, c, d	2	1	2,000	-
Geodímetro 76		1	2	3,000	8
Geodímetro 710	b,c	1	2	5,000	14
Geodímetro 6BL		1	2	25,000	15
Geodímetro 8		1	2	60,000	23
Geodímetro 700		1	2	500	14
Ranger I		6	2	4,000	16
Ranger II		6	2	6,000	16
Ranger III		6	2	12,000	16
Ranger IV		6	2	12,800	16
Rangemaster		6	2	60,000	30

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Distomat DI 50		2	3	50,000	19
DM 20 Electrotape		7	3	50,000	12
CA 1000		8	3	30,000	3,5
MRA-3		8	3	80,000	2
Geodímetro 6A		1	4	25,000	16
Mekometer ME 3000		3	5	3,000	15

C. Características:

a: E.D.M. Unidad montada sobre un teodolito común.
b: El círculo horizontal y vertical están integrados en la unidad E.D.M.
c: Integrado en la Unidad el reductor automático de la distancia horizontal y diferencia de elevación.
d: Unidad para perforar cinta para computadora.

F. Fabricantes:

1. Aga, Suecia.
2. Wild, Heerbrugg Suiza.
3. Kern, Aarau Suiza.
4. Zeiss, Oberkochen, Alemania Federal.
5. Hewlett-Packard, U.S.A.
6. Keuffel and Esser, U.S.A.
7. Cubic Corporation, U.S.A.
8. Tellurometer (Plessey) Corp. U.S.A.
9. Precision International, U.S.A.
10 Sokkisha, Tokio, Japón.
11 Scintrex, Ontario, Canadá.

O.P. Onda portadora:

1. Infrarroja.
2. Laser.
3. Microonda.
4. Vapor de mercurio
5. Xenón.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

La Topografía tiene por objeto efectuar las mediciones y cálculos necesarios para representar un cuerpo o una porción de terreno en una superficie plana, de acuerdo a una orientación que puede ser astronómica, magnética o respecto a alguna línea convencional.

La Topografía prescinde de la clase de materia que constituye a los cuerpos o terrenos y solo se ocupa de ellos en lo que concierne a sus dimensiones, considerando solamente algunas relaciones comunes que permiten sustituirlos por un esquema ideal llamado figura geométrica. Así por ejemplo, si se tiene un terreno horizontal, plano y limitado por cuatro lados rectos, este terreno, se puede representar por la figura llamada "cuadrilátero" y por lo tanto, se pueden hallar las relaciones afines a esta figura y consecuentemente al terreno en estudio. Por la relación tan estrecha que existe entre la Topografía y la Geometría es recomendable un buen conocimiento de esta última ciencia para una buena preparación en el conocimiento de los métodos topográficos.

1. ELEMENTO GEOMETRICO.

Es un elemento simple y con características propias que sirve para formar o definir diversas composiciones geométricas. Los elementos geométricos son en su división más simple: puntos, líneas, ángulos, superficies y espacios.

Punto. Es un lugar geométrico que no tiene dimensión, solo posición.

Línea. Es un conjunto ordenado de puntos. Las líneas pueden ser rectas o curvas.

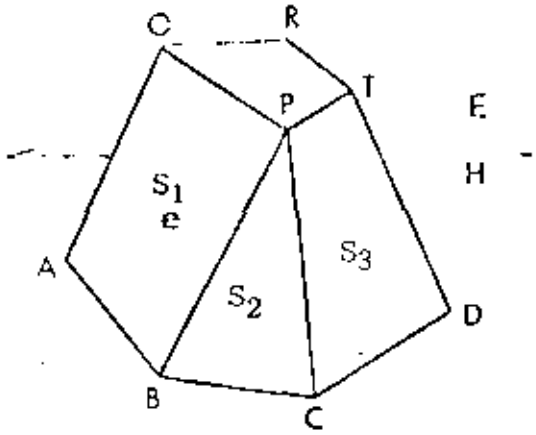
Angulo. Es la abertura entre dos rectas que se cortan en un punto llamado vértice.

Superficie. Es un elemento geométrico que divide a dos regiones o espacios.

Espacio. Es un conjunto de puntos contenidos en una región limitada por varias superficies.

1.1 Cuerpo geométrico.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos. Los elementos de un cuerpo geométrico en el espacio son:



Puntos: A, B, C, D . . . . . N

Líneas: AB, BC, CD . . . . . MN

Angulos: A, B, C, D . . . . . N

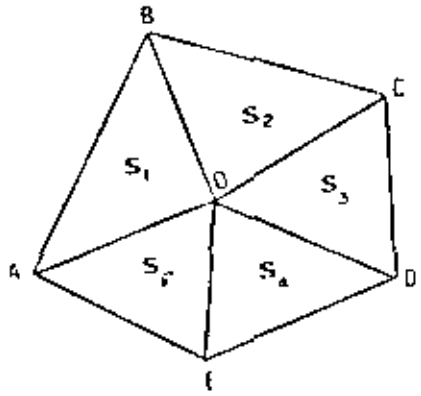
Superficies: S_1, S_2, S_3 . . . . . Sn

Espacios: exterior E, e interior e

1.2 Polígono.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos enlazados que sirven para representar un objeto o una porción de terreno. En este caso el conjunto de elementos geométricos tiene posición relativa, lo que implica el concepto de orientación que puede ser magnética, astronómica o relativa a algún otro elemento.

A los elementos geométricos de los polígonos les corresponden magnitudes o valores que son:



Elementos geométricos	Magnitudes
Puntos	Coordenadas
Líneas	Distancias
Angulos	Angulos
Superficies	Areas
Espacios	Volúmenes
Orientación	Azimut

Coordenadas. Es una terna ordenada de número que sirven para indicar la posición en el espacio, de los puntos de una cadena topográfica; generalmente se les designa con las letras X, Y, Z.

Distancia. Es el número de unidades, de longitud que contiene -

una línea limitada por dos extremos.

Angulo. Es el número de unidades que contiene la abertura entre las líneas que lo forman.

Arèa. Es el número de unidades cuadradas que contiene una porción de superficie. Esta porción puede estar limitada por líneas rectas o curvas.

Volumen. Es el número de unidades cúbicas que contiene un espacio limitado por superficies planas o curvas.

Azimut. Es un ángulo formado por alguna línea de la línea de referencia llamada meridiana.

1.3 Sistema de referencia.

Elementos de referencia.

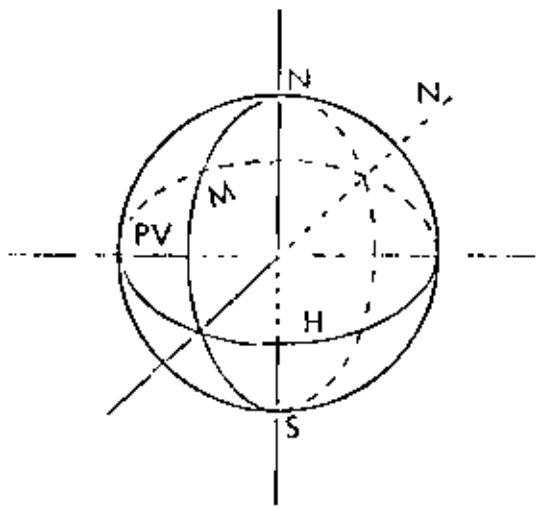
Vertical del lugar. Es la dirección que sigue la plomada en el lugar considerado.

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical del lugar.

Plano meridiano. Es un plano formado por el eje terrestre y la vertical del lugar. Es perpendicular al plano del horizonte.

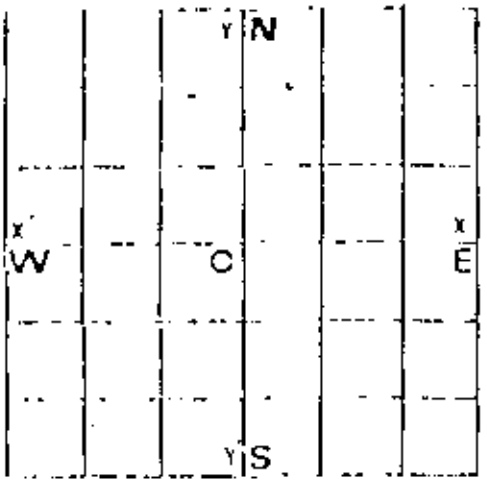
Primer vertical. Es un plano perpendicular al plano del meridiano y también al plano del horizonte.

El sistema de referencia está definido por tres ejes que se cortan perpendicularmente entre ellos y son: el eje X, el eje Y y el eje Z.



Eje X es la intersección del primer vertical con el plano del horizonte.

Eje Y es la intersección del meridiano con el plano del horizonte. Es coincidente con la meridiana.



Los extremos del eje X reciben el nombre de ESTE y OESTE.

Los extremos del eje Y reciben el nombre de NORTE y SUR.

Los cuatro puntos se indican con las letras N, S, E, W, respectivamente.

El plano de referencia queda dividido en cuatro regiones o cuadrantes que son: el Nor-Este (NE), el Nor-Oeste (NW) y el Sur-Este (SE) y el Sur-Oeste (SW).

2. MAGNITUDES.

Teniendo en cuenta los elementos geométricos que intervienen en las poligonales topográficas, se tienen las siguientes magnitudes:

2.1 Coordenadas.

X. Si la poligonal es lineal; por ejemplo un alineamiento recto.

X, Y. Si la poligonal es planimétrica, por ejemplo las figuras geométricas, que es el caso más común en la topografía tradicional.

X, Y, Z. Si la poligonal es tridimensional, es decir, que se tratan simultáneamente los elementos planimétricos y altimétricos. Algunos lenguajes de computación topográfica pueden resolver el problema en esta forma.

2.2 Distancias.

Inclinada. Es la contada sobre la línea que pasa por la estación y el punto observado y limitada por estos puntos. En Topografía es poco empleada.

Horizontal. Es la que tienen las dimensiones de la poligonal -

rpoyectadas en el plano horizontal. Son las distancias que se usan en Topografía, de tal manera que cuando se habla de "distancia" en estaciencia, se entiende que es "horizontal".

Vertical. Es la que tienen los puntos de la poligonal, contada desde una superficie horizontal de referencia, hasta el punto que se trata y sobre la línea vertical de proyección.

2.3 Angulos.

Horizontal. Es el ángulo diedro formado por los planos verticales que pasan por los extremos del ángulo (extremos observados) y por su vértice (estación).

Vertical. Es el ángulo contado desde el plano del horizonte que pasa por la estación hasta el punto observado, contado sobre el plano vertical que contiene a estos puntos.

De liga. Es el ángulo que relaciona a la poligonal con el sistema de referencia; puede ser el Azimut o el Rumbo, magnético o astronómico.

Azimut.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte de la meridiana, hasta el punto observado, sobre el plano del horizonte y en el mismo sentido del movimiento de las manecillas de un reloj. Se mide de 0 a 360° ó de 0 a 400 grados centesimales.

Rumbo.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte o Sur de la meridiana, hasta el punto observado sobre el plano del horizonte, hacia el Este o el Oeste. Se mide de 0 a 90° ó de 0 a 100 grados centesimales.

2.4 Areas.

En Topografía solo interesan las áreas horizontales y verticales, se determinan por cálculo, en función de las demás magnitudes de la figura.

2.5 Volúmenes.

Interesan los volúmenes limitados por la superficie natural del terreno, el plano horizontal de referencia y los planos verticales que pasan por los lados. En Topografía los volúmenes se determinan por cálculo.

3. INSTRUMENTOS.

Un instrumento de topografía en su concepto más general es un conjunto de elementos ópticos, mecánicos y electrónicos que sirven para determinar en el terreno o en el plano las magnitudes que intervienen en la topografía y en muchas ocasiones las posiciones de puntos en la superficie terrestre.

A continuación se indican algunos:

Magnitudes	Instrumentos
Coordenadas:	Coordinatógrafos ortogonales y polares.
Distancias:	Alineadores de pínula, alineadores de prisma, podómetros, ruedas, perambuladoras, cadenas de agrimensor, longímetros, telémetros, estadias, distanciómetros electrónicos, equialtímetros y altímetros.
Angulos:	Escuadras de Agrimensor, escuadras de espejos o reflexión, escuadras de prisma o refracción, goniógrafos y goniómetros.
Areas:	Planímetros.
Volúmenes:	En topografía no existen instrumentos para determinarlos. Se calculan en función de otras magnitudes.
Orientación y Posición:	Astrolabios, giróscopos y posicionadores inerciales. Se utilizan para dar orientación y posición geográfica.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

El coordinatógrafo es un instrumento diseñado para establecer o medir coordenadas. Su solución mecánica consiste básicamente en la materialización de ejes cartesianos o polares. Se fabrican para lograr diversas precisiones, por lo que vienen dotados con varias escalas, vernieres, microscopios para lecturas y accesorios para realizar diferentes trazos sobre la base de redacción.

Se distinguen dos tipos de coordinatógrafos: ortogonales y polares.

A continuación se describen algunos de los más conocidos y los accesorios que se utilizan para dibujar o grabar en papel o plástico recubierto (stabilene).

1. COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO H. S. A.

El graficado de puntos para producir una cuadrícula de apoyo para cualquier plano es una tarea mecánica y repetitiva, que puede ser resuelta mediante el coordinatógrafo de escalas, sin embargo, el trazado se puede realizar con mejores resultados mediante el coordinatógrafo ortogonal maestro, que consiste en una lámina de metal invar, con perforaciones correspondientes a los puntos de cuadrícula. La calidad del metal y el terminado anodizado le proporciona rigidez y limpieza en el uso, así como la precisión original de los orificios.

Los puntos se pican con un picógrafo manual, en el cual una guía embona perfectamente en los orificios y además permite ajustar el tamaño de la marca picada.

El uso combinado del coordinatógrafo maestro y un coordinatógrafo sencillo de escalas supera en muchos casos a un instrumento graficador, porque obtiene una superficie de trabajo mayor.

Se fabrican en los siguientes tamaños:

100 x 700 y 500 x 400 mm, con orificios a intervalos de 100 ó 50 mm y 40 x 30 pulgadas, con orificios a intervalos de 5 pulgadas.

2. COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO H. S. A.

Escalas: Sistema métrico:	1:500	1:1000	1:2000
Lecturas de escala: distancia de	0.05 mm,	0.0025 pulgadas	

círculo de 400g, lectura hasta 5g, estimación de 1c.
círculo de 360°, lectura hasta 2', estimación de 1'.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor.

Las características mecánicas de este coordinatógrafo son las siguientes:

- Guía de distancia y patines de acero inoxidable.
- Tornillos ajustadores para centrar el instrumento sobre el punto origen.
- Tornillos micrométricos para colocar con precisión los valores angulares y de distancia.
- Soportes de baleros para todos los movimientos.
- Superficie de trabajo de 400 mm de radio.
- División del círculo en 400g o 360° . Se fabrican también con los dos sistemas.

3. COORDINATOGRAFOS ORTOGONALES DE ESCALAS.

3.1 Modelo 1200 x 1200 mm. H.S.A.

La precisión gráfica es de 0.04 mm (0.0015 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. La precisión es mayor para distancias menores. Un intervalo en el disco corresponde a un movimiento del carro de 0.005" (estimación de 0.001").

Con la integración del taladro con el microscopio (amplificación 7x) en una unidad, se eliminan los errores causados por el uso de múltiples aditamentos ópticos y de perforación.

Este instrumento viene provisto de cintas sin-fin ajustables, de acero inoxidable con numeración espaciada, una mesa con marco de acero tubular que apoya la tabla de dibujo y una caja de 1.930 x 0.609 m. x 0.1524 m para guardar los rieles.

Es un instrumento muy preciso porque no tiene cremalleras ni piñones. Los mecanismos de conteo con discos son fácilmente intercambiables para cada escala.

Para el trabajo que requiere iluminación interior, este coordinatógrafo puede ser habilitado con una mesa iluminada. Esta mesa especial está fabricada con marco tubular de cuatro patas y apoya 2 placas de

vidrio que forman la superficie para dibujo. El equipo de iluminación está instalado en una caja y consta de tubos fluorescentes estabilizadores y un ventilador. La totalidad del área de placa de vidrio es de 1320 x 1320 mm, con iluminación uniforme por debajo.

Este instrumento puede usar un aditamento para dibujar ángulos de tal modo que multiplica sus posibilidades mecánicas, entre las que se cuentan:

- Dibujar líneas oblícuas a cualquier ángulo dado.
- Poder colocar los puntos angulares en cualquier parte de la región de trabajo del coordinatógrafo. Esto no afecta la relación con el sistema coordenado rectangular.
- Permitir mediante el sistema óptico, lecturas directas de 1' y estimaciones de 10".
- Poder usar los mismos accesorios del coordinatógrafo en este aditamento.

3.2 Modelo 400 x 240 mm H. S. A.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en las direcciones X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado del carro de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumento para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las características mecánicas siguientes:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Las graduaciones y la numeración están en celuloide blanco y libre de reflejos.
- Tornillos micrométricos para la colocación precisa de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.3 Modelo 550 x 500 mm H. S. A.

La precisión gráfica es de ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumen

to, para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las siguientes características mecánicas:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Graduaciones en celuloide blanco, libre de reflejos y con vernieres de vidrio.
- Cintas de escala móviles.
- Tornillos micrométricos para el posicionamiento preciso de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.
- Posibilidad de acoplarle un compás radial.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.4 Modelo 90 x 120 EA-F.

Esta variante se usa principalmente como mesa trazadora para hacer mapas en unión con el Stereometrograph. La caja de engranes se localiza en la pared posterior de la mesa trazadora. Bajo la caja de velocidades (caja de engranes) dispositivos síncronos (selsyn) están adosados, así que la mesa trazadora se acciona electrónicamente por el graficador. Las manivelas y contadores digitales, si se quiere, pueden ser colocadas en el lado frontal. Flechas articuladas aseguran la conexión mecánica desde la caja de engranes a las manivelas. Debido a esta prolongación, el coordinatógrafo de precisión cambia de modelo para convertirse en el 90 x 120 EZ-F, y en esta forma puede ser usado como una unidad separada. Conectando el instrumento registrador electrónico Coordimeter F, el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 EZ-F, debe estar suplementado con una fuente de poder autosíncrona (selsyn) y una caja de conexiones.

En este caso la combinación se designa como 90 x 120 EC-F.

3.5 Modelo 90 x 120 MA-F.

Este tipo no está equipado con una caja autosíncrona (selsyn) y así puede estar conectado a trazadores en forma mecánica solamente. La conexión mecánica del coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MA-F, a los graficadores estereográficos Techcart y Topocart por medio de flechas articuladas. Este equipo no está en particular provisto con manivelas y contadores digitales de coordenadas, pero se les puede adicionar si así se requiere. Por esta ampliación la designación 90 x 120 -

MZ-F, se aplica al coordinatógrafo de precisión que puede emplearse para hacer mapas sin usar un graficador.

La caja de engranes está localizada en el lado posterior de la mesa.

3.6 Modelo 90 x 120 MK-F.

La caja de engranes con manivelas y los contadores digitales de este coordinatógrafo de precisión están colocados en la parte frontal. Este coordinatógrafo no es adecuado para conectarlo a instrumentos graficadores. Se usa exclusivamente como una unidad separada.

Sus aplicaciones incluyen: la producción de modelos para retículas y placas de prueba en las industrias ópticas y de precisión. Valores calculados y medidos sobre mapas suministrados en forma tabular para la representación en diagramas, curvas y escantillones.

3.7 Modelo 90 x 120 MS-F.

La unidad básica es la misma que la usada con el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MK-F. El equipo está adaptado a las técnicas de corte para subestratos de emulsión con laca en bandas o en hojas (método por bandas). Incluye los siguientes accesorios:

Herramientas de corte, dispositivo para corte en forma circular con radios hasta de 120 mm, dispositivo para corte circular con radios desde 110 hasta 300 mm, reglas graduadas para cortes de líneas oblícuas, dispositivo afilador para las herramientas de corte, proyector para localizar los puntos. Para corte de círculos los carros X e Y pueden ser sujetados para aumentar la estabilidad.

3.8 Modelo Z-2 Zeiss.

Es un instrumento de precisión complemento del Estereoplanígrafo C-8 y que puede ser usado individualmente como coordinatógrafo manual o en combinación con el graficador electrónico Koordimat operado con tarjetas perforadas.

Puede ser utilizado para picar puntos, gravar líneas con punzón, dibujar líneas y círculos con minas de grafito y dibujar círculos con bolígrafo.

Tiene instrumentos adicionales como un contador de presión para el registro mecánico de las coordenadas X, Y, Z, número de puntos y símbolos en bandas de papel en zig zag o en hojas unitarias de formato-

DIN - A 4 si es necesario con papel copia.

Precisión en las lecturas de coordenadas X, Y:

a) en escalas (aproximación de 0.1 mm)
b) en contadores giratorios iluminados (aproximación de 0.02 mm)

Tiene una superficie utilizable en placa de vidrio de 1200 x 1200 - mm.

3.9 Koordimat - Coordinatógrafo controlado por tarjetas perforadas.

El equipo se compone del coordinatógrafo de precisión Z2 con servocontrol eléctrico, instrumento de coincidencia, armario de control y - perforador de tarjetas IBM. Sirve para el dibujo automático de puntos cuyas coordenadas rectangulares "x" e "y" hayan sido registradas en tarjetas perforadas. Si en lugar del imán elevador se utiliza el cabezal impresor St2, es también posible identificar automáticamente los puntos dibujados mediante tarjetas perforadas, con un número de cuatro dígitos y un - símbolo.

Cabezal impresor St2.

Utilizable en lugar del imán elevador en el Z2 para identificar automáticamente puntos aislados mediante un número de cuatro cifras y un - símbolo discrecional.

Dispositivo retrolector de coordenadas para el Koordimat.

Con este dispositivo, compuesto del proyector EP para mesa de dibujo, un panel adicional para el armario de control, un dispositivo de conmutación para el instrumento de coincidencia y una unidad de salida de tarjetas para el perforador de tarjetas, también se puede emplear el Koordimat para registrar en tarjetas perforadas las coordenadas de los puntos ya dibujados (por ejemplo, para fines catastrales).

3.10 Accesorios para Coordinatógrafos H. S. A.

Existen varios accesorios intercambiables con el estilete-microscopio, diseñados para grabar en diferentes materiales.

A continuación se describen algunos:

a) Compás giratorio para marcar círculos con diámetros de 0 a -- 0.5 mm ó a 0.2 pulgadas.

Se presentan con agujas de punta de acero o de zafiro para grabar en materiales revestidos.

b) Buriles y cojinete de centrado para grabar cuadrículas rectangulares y cualquier línea en X e Y.

El cojinete de centrado es intercambiable con el estilete-microscopio y sostiene los dispositivos de grabado en una posición vertical. Un disco fijador evita que gire.

El grosor de las líneas de grabado debe tenerse en cuenta al seleccionar el accesorio.

Existen las siguientes clases de buriles para grabar en distintos materiales:

- Para vidrio recubierto: buriles de acero.
- Para película recubierta: buriles con punta de zafiro.
- Para metal: grabadores lineales, cónicos con punta de metal duro y pesas adicionales.

c) Soporte para afilar los buriles.

Se utiliza para reafilar con precisión los buriles de acero o ángulos correctos. Un excéntrico ajusta y a la vez arregla el buril.

Este accesorio se suministra con la piedra de afilar junto con el anillo para grabar en vidrio revestido.

d) Eje con punta de diamante.

Cuando se preparan dibujos de referencia muy precisos en vidrio o en la manufactura de modelos metálicos, el eje con punta de diamante se puede usar para marcar directamente sobre el material en cuestión. El aditamento del estilete de punta de diamante es intercambiable con el estilete-microscopio en los coordinatógrafos tratados.

El eje trabaja en soportes con baleros y puede girar manualmente. Su lado más bajo está provisto con un soporte ajustable para la punta de diamante en forma piramidal.

Un aditamento para freno permite el ajuste del tamaño del punto.

El aditamento del estilete con punta de diamante del coordinatógrafo 550 x 500 mm, el estilete-microscopio y la pluma de dibujo descansan sobre la placa de vidrio.

e) Compases radiales.

Para dibujar arcos circulares existen compases radiales para los coordinatógrafos de 1200 x 1200 mm y 550 x 500 mm.

El compás gira en un eje rematado en punta, el cual está unido al centro del mango del microscopio. El radio requerido se establece por medio del desplazamiento del vernier con tornillos de aproximación.

Tamaño de los radios:	0 a 160 mm	0 a 540 mm
	0 a 300 mm	0 a 1000 mm

Los círculos y arcos se dibujan con una pluma suministrada como un accesorio standard o se graban con un aditamento especial con punta de metal duro o de diamante.

H. S. A.: Haag Streit Ag.
Manufacturers of Precision
Instruments Liebefeld, Suiza.

ZEISS/J.: Veb Carl Zeiss, Jena
D. D. R. República Democrática
Alemana.

ZEISS /O.: Carl Zeiss 7082,
Oberkochen, Alemania Federal.

N O M B R E	FABRICANTE	A R E A	E S C A L A S	PRECISION	E N L A C E	PESO
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO	H. S. A.	1000 x 700 mm 1016 x 762 mm	Perforaciones cada 100, 50 mm y 5"	0.1 mm		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Con mesa de iluminación inferior	H. S. A.	1200 x 1200 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 Sistema inglés: 1:1200 1:2400 1:4800 1:6000 Ambos sistemas: 10:1 20:1 50:1	0.04 mm 0.0015 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	550 x 500 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 10:1 20:1 50:1 Ambos	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	400 x 240 mm	Sistema métrico: 1:5000 1:1000 1:2000	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO	H. S. A.	Area circular de 400 mm de diámetro	Sistema métrico: 1:500 1:1000 1:2000 Graduación círculo: 400g 5c estimación 1c 360° 2' estimación 1'	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFOS: *EA-F EC-F **MA-F MK-F MS-F	ZEISS/J	1200 x 900 mm	1:200 1:250 1:400 1:500 1:800 1:4000 1:5000 1:625 1:600 1:3200 adicional para los modelos EA-F, EZ-F, MA-F y MZ-F.	Errores mínimos cuadrados: En coordenadas: ± 0.03 mm En puntos: ± 0.04 mm	*Topocart Technocart Stereometrograph **Topocart Technocart	230 kg
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Z2	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	5 :1 1.5 :1 0.8 :1 0.375:1 4.166:1 1.5 :1 0.75 :1 0.25 :1 4 :1 1.33:1 0.66 :1 0.24 :1 2.66 :1 1.25:1 0.625:1 0.2 :1 2.5 :1 1.2 :1 0.6 :1 2 :1 1 :1 0.5 :1 1.66 :1 0.83:1 0.4 :1	En escalas: 0.1 mm En elementos giratorios: 0.02 mm	Estereoplanígrafo C-8 Ecomat 1	458 kg
KOORDIMAT	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	1:48 1:50 1:75 1:80 1:100 1:120 1:125 1:150 1:160 1:200 1:240 1:250 1:300 1:400 1:500 1:800	0.2 mm		580 kg

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

ELEMENTOS PARA MEDICION ANGULAR

PROFESORES:
MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ELEMENTOS DE MEDICION ANGULAR

1. GENERALIDADES.

Los limbos son los elementos para la medición angular y están -- formados por círculos graduados. Los teodolitos y tránsitos tienen uno para la medición de ángulos horizontales y otro para ángulos verticales. En los instrumentos antiguos o tradicionales los limbos son metálicos - con una cinta de plata en el lugar donde tienen las marcas de la graduación, algunos están protegidos con una cubierta metálica.

Estos limbos presentan las graduaciones siguientes:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno del limbo y de 360° a 0° en sentido izquierdo en el borde externo. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno y en cuadrantes en el borde externo.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 90° con el 90 en el zenit y el nadir.

Las casas constructoras han sustituido gradualmente a los limbos metálicos por limbos de vidrio porque éstos tienen la ventaja de que las marcas de graduación se pueden hacer con extraordinaria precisión y - absoluta nitidéz. La lectura de estos limbos se hace generalmente por transparencias y además su resistencia es excelente. Estos limbos tienen la forma de un anillo con varios milímetros de espesor, van montados en un anillo de metal de similar coeficiente de dilatación.

Estos limbos tienen los tipos de graduación siguiente:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 360° con el 0 en el zenit.

Los avances logrados en las máquinas para grabar han hecho posible extraordinarias perfecciones en la graduación de los limbos, por - ejemplo el teodolito Wild T2 tiene 1,080 partes en un limbo de sólo 70 mm de diámetro.

2. MECANISMOS DE LECTURA.

Los índices o mecanismos de lectura de los limbos están formados por vernieres, micrómetros y discos codificados para lectura electrónica.

2.1 VERNIERES.

El vernier o nonio es un dispositivo mecánico que se utiliza para leer una cifra que en una escala común sería solo estimada. El vernier en su conjunto está formado por el elemento de medición (limbo graduado) y por una regla graduada que contiene el índice.

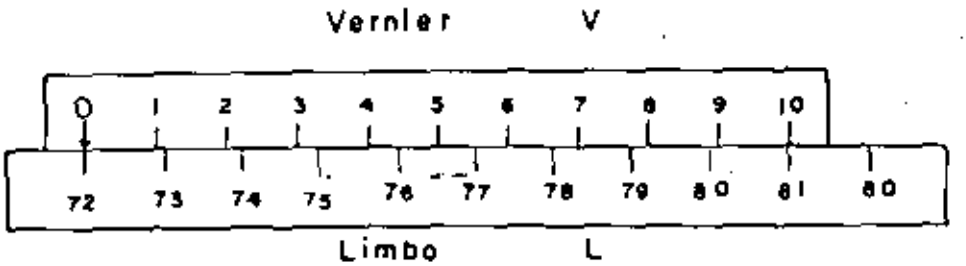


Figura 1

Si en la escala L considerada, se desliza la escala V, el índice O marca la fracción en el sentido de crecimiento de la escala L, si no se utilizara el vernier, esta lectura sería estimada, sin embargo, la fracción precisa es aquella que indica la marca del vernier que coincide con alguna marca del limbo.

Aproximación del vernier.

Sea: L : Valor de la menor división del limbo.
V : Valor de una división del vernier.
n : Número de partes del vernier.
a : Aproximación del vernier.

$$L - V = a \qquad nV = (n-1)\,L$$

$$a = \frac{L}{n}$$

En los vernieres no hay que confundir la aproximación con la apreciación, pues no siempre son iguales. La apreciación depende del

límite de la percepción visual (agudeza visual del observador). La expresión L entre n, es la aproximación del vernier y parece indicar que en un limbo graduado podría aumentarse la aproximación haciendo mayor número de divisiones al construir el vernier, sin embargo, no sería posible apreciar las rayas coincidentes pues habría incertidumbre, debido a los límites de la agudeza visual del operador.

Ejemplos de lecturas en escalas rectas.

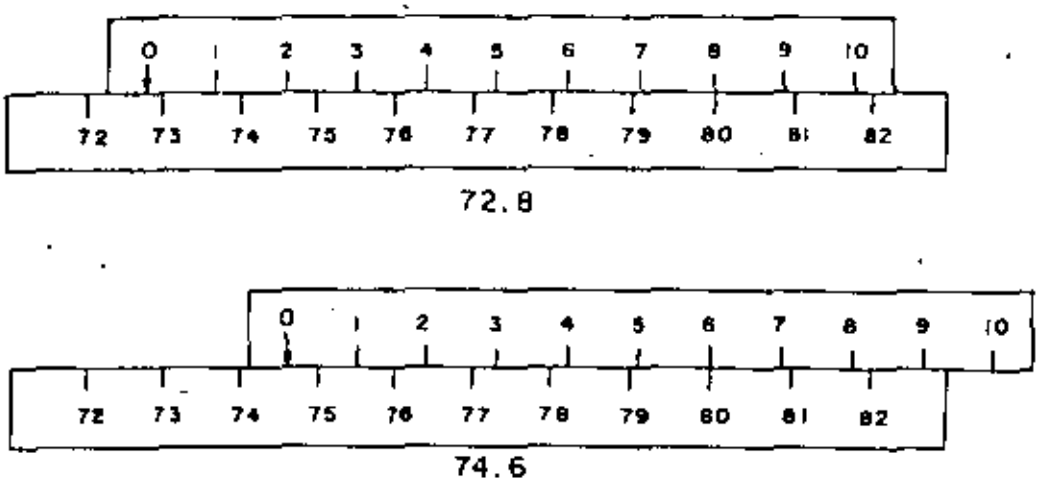
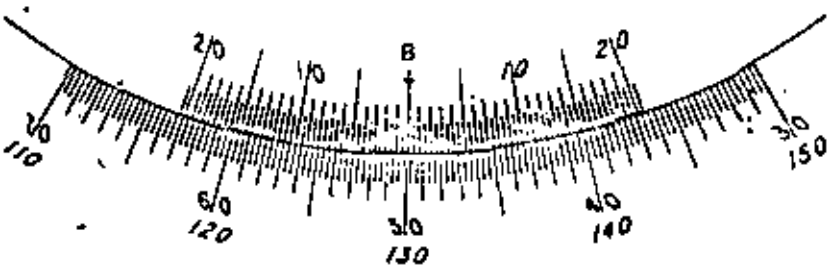


Figura 2

Ejemplos de lecturas en limbos y vernieres de tránsito.

LIMBO GRADUADO A 30 MINUTOS, PARA LECTURA A UN MINUTO

LIMBO GRADUADO A 20 MINUTOS, PARA LECTURA A 30 SEGUNDOS



2.2 MICROMETROS.

En los instrumentos modernos para medición angular existe la tendencia a sustituir al vernier en los limbos de vidrio, por otros dispositivos más adecuados como es el caso de los micrómetros, que adoptan varias formas como las que a continuación se indican.

1. Micrómetro de estima.

Consiste en un microscopio de lectura dividido en forma de escala, cuya imagen coincide con la del limbo de igual modo que la retícula de un anteojo se superpone con la imagen del objeto. La retícula tiene una dimensión tal que al mirar a través del microscopio se ve de una magnitud idéntica a una división del limbo.

En los modelos más antiguos, el micrómetro tiene un solo hilo en el centro, sin embargo, hay algunos que mejoran la precisión aumentando los hilos de la retícula, algunos tienen tres o cinco hilos equidistantes de tal manera que las lecturas obtenidas con los hilos situados a la izquierda del central serán erróneas por defecto, mientras que las lecturas de los hilos de la derecha lo serán por exceso; el valor de la lectura es el promedio, con lo cual se aumenta la precisión.

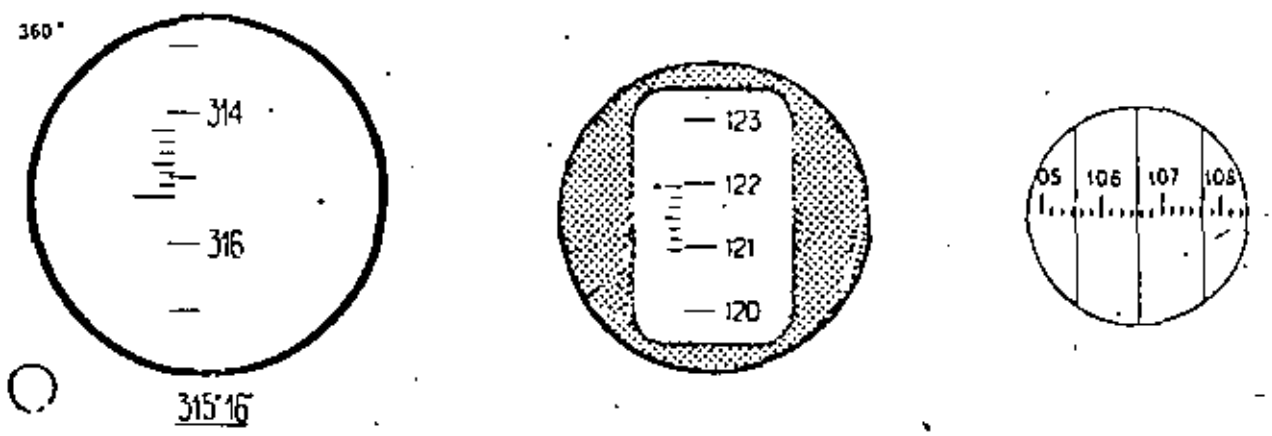


Figura 4

2. Micrómetro óptico de estima.

El Doctor Heinrich Wild logró revolucionar la construcción de los instrumentos topográficos introduciendo micrómetros de lectura sin necesidad de hilos ni de retículas. La fabricación de estos micrómetros fueron hechos al principio por la Casa Zeiss de Alemania, posteriormente por las fábricas Wild y más recientemente por la Casa Kern, ambas de Suiza.

El fundamento del método es el siguiente:

Sea L1, L2 un limbo de vidrio graduado de 0 a 360° y que, por un método óptico al observarlo a través de un microscopio, se traslada la imagen del sector L2 paralelamente a ella misma hasta verla en L'2 tangente al círculo. La graduación del punto de contacto en el sector L1, diferirá exactamente 180° de la leída en el sector L'2, y si la graduación del L1 crece a la derecha, la del L'2 crecerá hacia la izquierda, permaneciendo equidistantes a uno y otro lado del punto de contacto, las lecturas de L1 y de L'2 que difieren en una semicircunferencia.

Si se hace girar al círculo un cierto ángulo, la imagen L'2 girará el mismo ángulo en sentido contrario y en el punto de contacto las lecturas de ambos sectores seguirán siendo iguales (corrigiendo L'2 en una semicircunferencia). La diferencia de las lecturas extremas es el ángulo girado.

De este modo, no se necesita índice alguno, debiendo tomar como lectura la del punto de contacto de los dos círculos.

Unos prismas denominados separadores cortan ligeramente ambas imágenes del limbo de modo que aparezcan separadas por una línea fina.

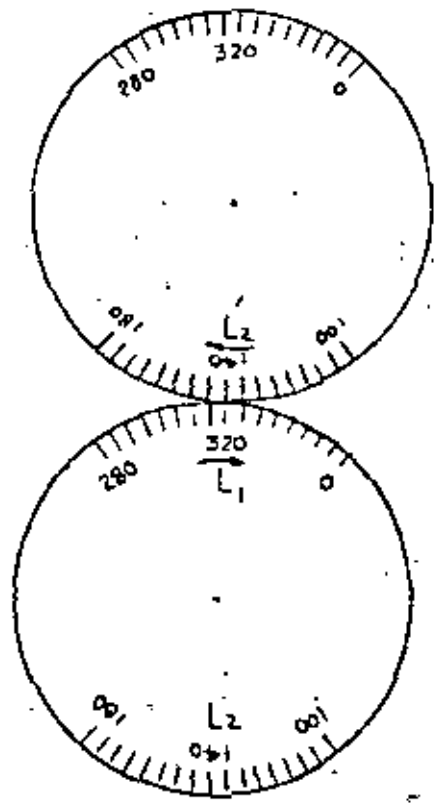
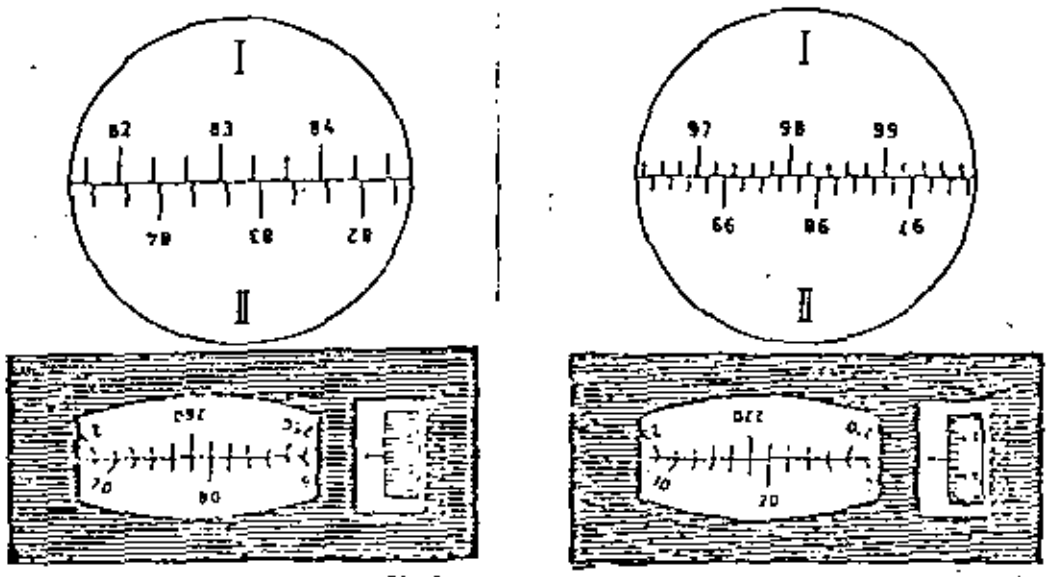


Figura 5

El teodolito Wild T-0 tiene este tipo de micrómetro. En este caso el limbo va dividido de 20' en 20' y para la lectura se tiene en cuenta que la distancia entre dos graduaciones iguales en ambos sectores, es doble de la que separa cualquiera de ellas del punto central, de lecturas coincidentes. De este modo se duplica la apreciación al medir la primera distancia y para reducirla a la mitad se toman las divisiones como si fueran de 10', apreciando a la estima la última fracción.

La ventaja de los micrómetros ópticos radica en la rapidez y claridad en las lecturas, duplicación del poder de apreciación y dar por corregido, con una sola lectura el error de excentricidad.

Ejemplos de lecturas.



Lectura : del círculo vertical 83° 12
del círculo horizontal 79° 42'

Lectura : del círculo vertical 98,149
del círculo horizontal 19,248

Figura 6

3. Micrómetro óptico de coincidencia.

Principio de la placa de vidrio.

Con los dispositivos anteriores sólo se puede apreciar el minuto o cuando más el medio minuto. Es posible aumentar la apreciación, adoptando el método óptico el principio de la placa de vidrio que se utilizan varios instrumentos que alcanzan excelentes precisiones.

El sistema se funda en el desplazamiento óptico en sentido contrario de las dos imágenes de la figura anterior, hasta que coincidan las divisiones de una y otra, midiendo el desplazamiento ampliado en un tambor o en una escala.

Se consigue esto intercalando en el recorrido de cada haz de rayos luminosos, una placa de vidrio de caras opuestas, planas y paralelas.

Cuando la placa ocupe la posición 1, el rayo luminoso R la atraviesa sin desviación, pero si se le hace girar un ángulo i será éste el de incidencia y el rayo se refracta, formando con la normal el ángulo r, saliendo de la placa paralelo a la primera posición pero separado de ella una distancia d. La distancia d se puede medir en función del ángulo i de giro de la placa y de las constantes de la misma.

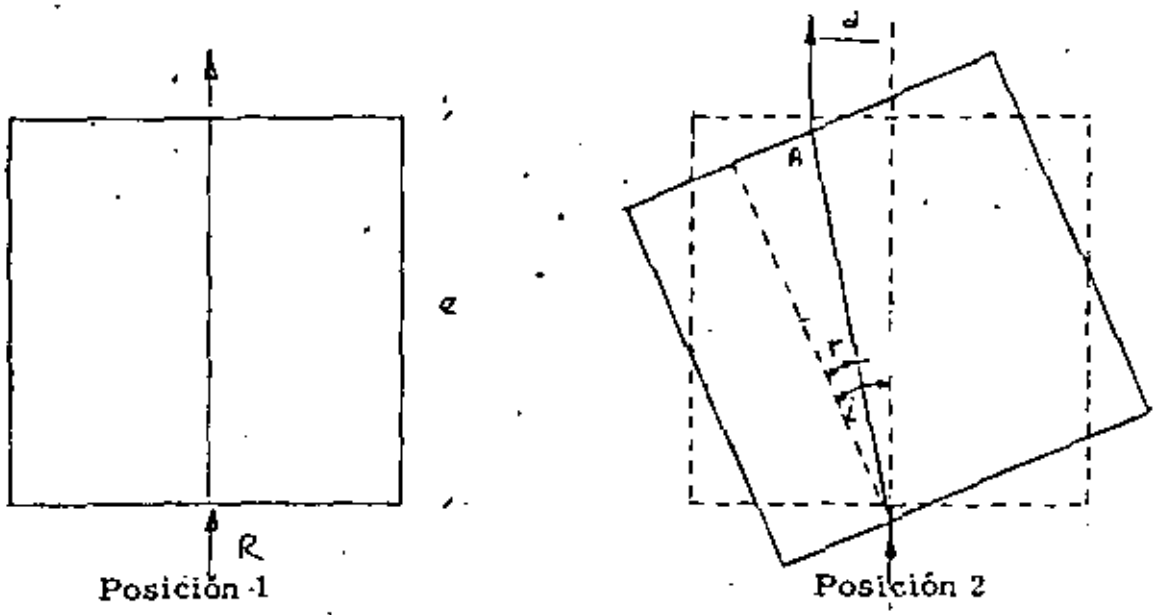


Figura 7

De la figura 2 se tiene:

$$AO = \frac{e}{\cos r}$$

$$d = OA \text{ sen } (i - r)$$

$$d = \frac{e \text{ sen } (i - r)}{\cos r}$$

Como i es un ángulo muy pequeño: sen (i - r) = (i - r) y

cos r = 1, por lo tanto:

$$d = e\,(i - r)$$

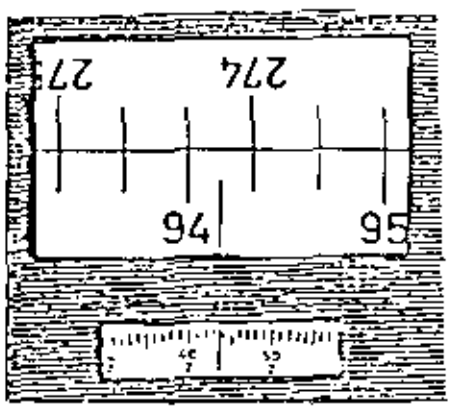
$$d = e\,\frac{i/r - 1}{i/r}\,i$$

$\frac{i}{r} = n$, que es el índice de refracción, por lo tanto:

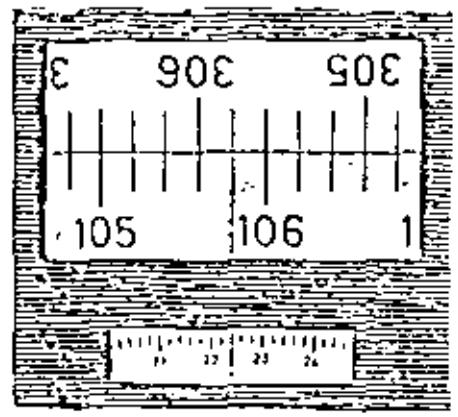
$$d = e\,\frac{n - 1}{n}\,i$$

Lo que quiere decir que la desviación se puede considerar como proporcional al ángulo i.

Si ahora se hace girar a las dos láminas de vidrio intercaladas respectivamente en los haces de rayos luminosos correspondiente a cada una de las imágenes de la figura 6 , el mismo ángulo en sentido contrario, se verá desplazarse los dos sectores del limbo hasta conseguir la exacta coincidencia de sus divisiones, como se muestra en la figura del teodolito Wild T2, donde se aprecia en el micrómetro el desplazamiento de las imágenes que equivale a la fracción de división que se debería apreciar a la estima.



94° 12' 44''



105.8224 g

Figura 8

En la escala del limbo, lo mismo que en la graduación sexagesimal que centesimal, se leen los grados y las decenas de minutos, mientras que los valores unitarios de éstos y los segundos se leen en la escala del micrómetro, junto al limbo y con el mismo microscopio.

En la figura 8 se observa como mediante el giro de un círculo de vidrio graduado se obliga a las dos placas micrométricas a girar en sentidos opuestos, desplazando los respectivos rayos luminosos procedentes de sectores opuestos del limbo hasta lograr la coincidencia de divisiones.

La parte del sector graduado del círculo de vidrio visible por el microscopio corresponde a la escalilla de la figura 8 .

Los dispositivos ópticos simplificados que dan una sola imagen del limbo pueden llevar también micrómetro óptico de coincidencia, que consiste en este caso, en una sola placa de vidrio de caras planas que desplaza la imagen hasta la coincidencia con un índice del retículo.

En todos los casos la desviación máxima del micrómetro, corres

ponde a una división del limbo, por lo que se consigue unicamente la coincidencia indicando el tope, el sentido en que ha de hacerse girar. La lectura da el desplazamiento desde la posición 0 de desviación nula.

A continuación se muestran los esquemas de lectura de los nuevos teodolitos Wild T2, que indican las decenas de minuto en forma digital.

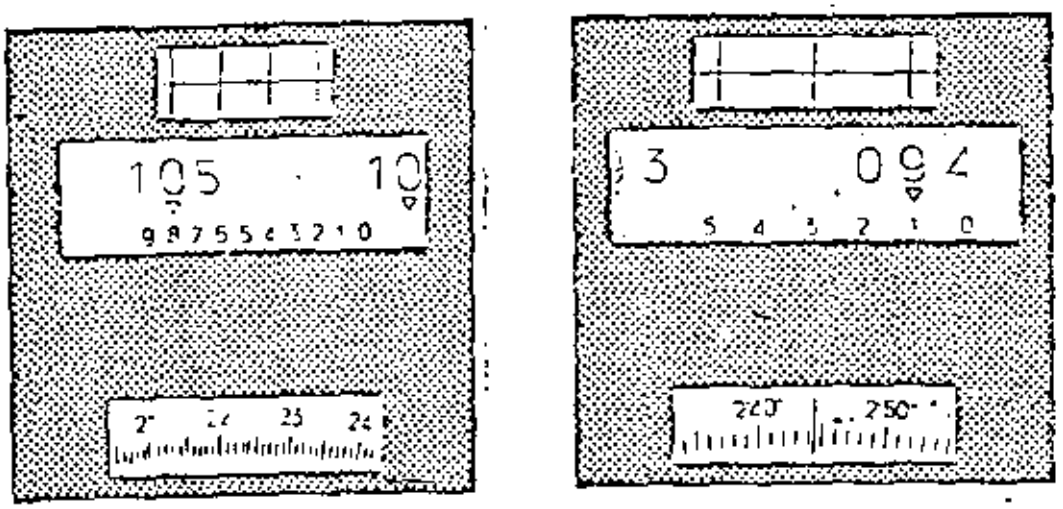


Figura 9

3. DISCO CODIFICADO PARA LECTURAS ELECTRONICAS.

La determinación de los ángulos horizontales y verticales en los tránsitos o teodolitos se puede hacer electrónicamente, transformandolos a lecturas digitales directas por medio de varios códigos binarios, como el que se muestra en la figura 10 , los cuales son impresos en círculos de vidrio y leídos por medios fotoeléctricos, magnéticos o por contacto directo. Las señales son clasificadas electronicamente y los desplazamientos angulares cuyas lecturas son mostradas por medio de pequeños tubos de nixie que corresponden a las lecturas del círculo horizontal y vertical. Los resultados también pueden ser almacenados en cinta magnética, cinta de papel o impresos en tarjetas para su posterior procesamiento en computadora.

El distanciómetro electrónico Reg Elta 14 y el Geodímetro Aga 700, tienen integrados teodolitos digitales y pueden proporcionar las lecturas en tubos nixie de 6 dígitos. Los valores con la información de identificación pueden ser registrados en la cinta.

Los sistemas de lectura electrónica digital directa son de construcción reciente y por la comodidad de su operación y fácil lectura son muy

aceptados en los medios de trabajo. Su construcción ha sido posible gracias al desarrollo que ha tenido la interpretación de códigos de varias clases de transformadores de un sistema a otro y discos codificados.

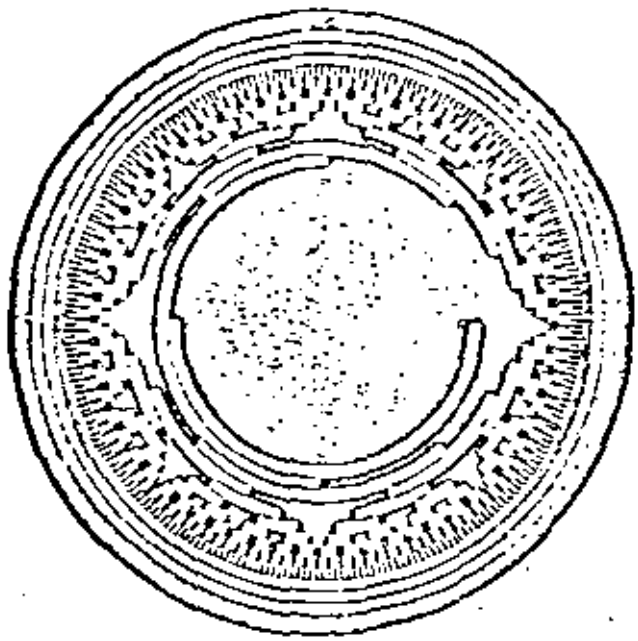
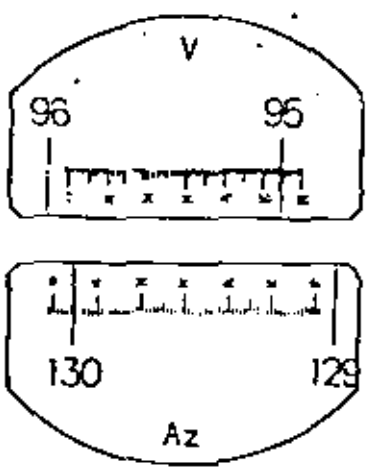


Figura 10

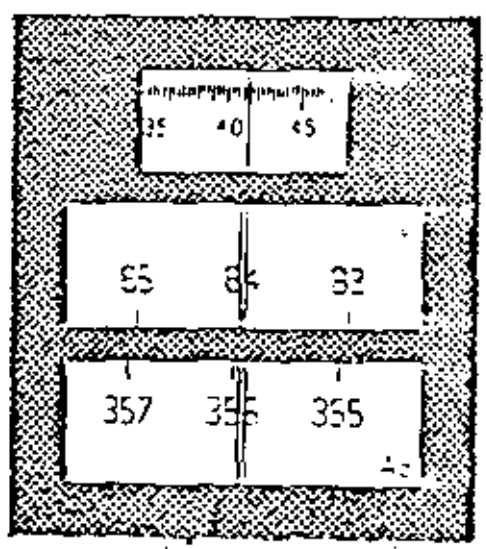
Ejemplos de lecturas

Wild T16



360° Lectura: del círculo vertical 95° 54,4'
del círculo horizontal 130° 04,6'

Wild T1A



Lectura del círculo vertical, 84° 41' 15" (360°)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

AGOSTO, 1981.

acio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

8.1 PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

8.1.1 Generalidades.

En años recientes varios sistemas electrónicos han sido desarrollados con el propósito explícito de medir distancias en topografía. Se han basado en la velocidad invariable de la luz y de las ondas electromagnéticas en el vacío. El primero de éstos sistemas, denominado Geodímetro, aportó un valor muy preciso de la velocidad de la luz que difirió en sólo 0.4 de km., de la velocidad determinada por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en el año de 1957 y cuyo valor fue de 299,792.5 km/seg. La invención de este sistema marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

El primer geodímetro, así como todos los modelos siguientes utilizan un rayo de luz modulada para la determinación de distancias. Al final de la década de 1950 fué desarrollado el telurómetro, instrumento que utiliza microondas moduladas. Instrumentos similares al telurómetro fueron construídos en los años siguientes, y éstos junto con el geodímetro llegaron a ser comunes en la medición de grandes distancias.

El desarrollo y perfección de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicas de estado sólido, aportaron nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de distancias. Con estos nuevos recursos fué posible construir instrumentos más portátiles con menos consumo de energía y con más facilidad para operar y leer. Sin embargo, estos instrumentos no tienen el alcance de los antes indicados. Son ejemplos los instrumentos que utilizan luz infrarroja.

Con el estudio y desarrollo de la luz láser ha sido posible en años recientes construir instrumentos para los mismos fines que utilizan luz láser altamente coherente.

En la actualidad, debido a la inversión, precisión de los resultados y facilidad relativa de su operación, los geodímetros y los instrumentos de microondas se usan todavía. Los instrumentos que utilizan luz infrarroja y que, en general son de corto alcance, han tenido éxito notable en la topografía común, pues en muchos casos han eliminado el longímetro con excepción de las distancias muy cortas que se presentan en la topografía de construcción. Los instrumentos de luz laser tienden a desplazar a los dos anteriores, sin embargo, en la actualidad existen serias dudas con relación al daño que puedan causar a los operadores.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para medir distancias, que en lo sucesivo se van a designar como EDM, se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance, pues los instrumen-

tos que se han construido a través del tiempo se han mantenido dentro de ciertos rangos de alcance máximo. Los instrumentos EDM de corto alcance son generalmente los que usan luz infrarroja y llegan a tener hasta 5 km. de alcance. Los modelos más recientes son de lectura digital, peso ligero, poco consumo de energía y algunos tienen adaptado un goniómetro para la medición de ángulos.

Estos instrumentos usan diodos emisores de luz para generar luz infrarroja en la región de los 900 a 930 nm de longitud de onda (fuera del espectro visible).

Algunos instrumentos de corto alcance utilizan como onda de transmisión luz láser visible como el Geodímetro AGA modelo 76.

Un instrumento de alcance medio es aquél que es capaz de medir distancias hasta de 16 km. Estos instrumentos usan varios tipos de ondas de transmisión como luz de tungsteno, luz de mercurio, luz láser y microondas con frecuencias del orden de 10 billionHz ó 10 Gigahertz (10 GHz). La mayor parte de los instrumentos de este tipo usan luz láser como onda de transmisión.

Los instrumentos de largo alcance son aquellos capaces de medir distancias mayores de 16 km. Algunos utilizan luz como onda de transmisión y pueden medir distancias hasta de 60 km. con excelente precisión. Los geodímetros y los nuevos instrumentos láser están en este rango; otros utilizan microondas como el telurómetro y el electrotape, éstos últimos llegan a tener un alcance mayor que los primeros.

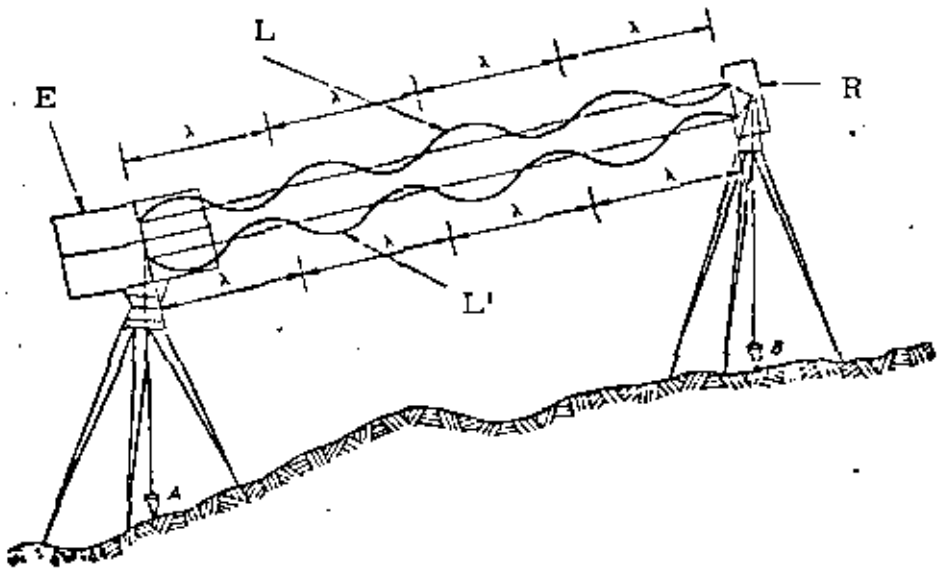
Continuamente se diseñan accesorios y nuevos instrumentos que permiten una mayor variedad de alcances, de tal modo que su optimización va en aumento lográndose poco a poco mejor operabilidad del instrumento, reducción de tamaño, peso y digitalización en las lecturas, tanto de la distancia como de los ángulos horizontales y verticales que le corresponden.

8.1.2 Principio de medición de los instrumentos EDM que usan ondas de luz.

En la figura siguiente:

E : Emisor — L : Luz modulada

R : Reflector — L' : Regreso de L



En todos los instrumentos EDM que usan tungsteno, mercurio, láser o luz infrarroja como ondas de transmisión, un rayo contínuo de luz es generado en el instrumento emisor. Antes de entrar a las colimaciones ópticas y tener dirigido al reflector que es colocado en el otro extremo de la línea por medir, este rayo contínuo es modulado en intensidad a muy alta frecuencia. La modulación, en efecto, transforma el rayo de arriba en longitudes de onda que están en función directa de la frecuencia de modulación. Esta longitud de onda está dada por:

$$\lambda = \frac{v'a}{f}$$

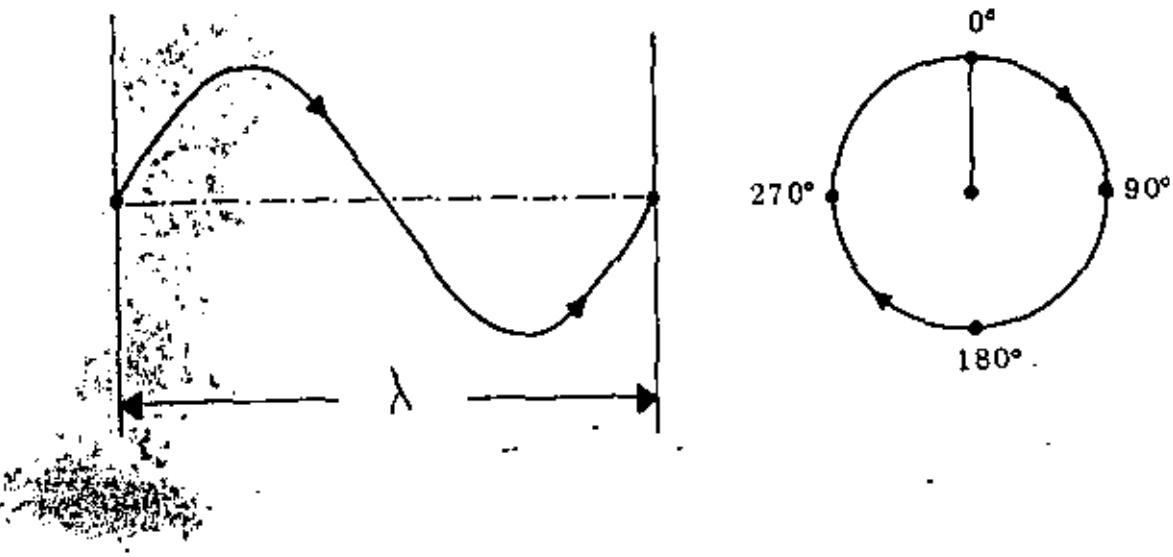
en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros.

$v'a$: es la velocidad de la luz a través de la atmósfera en metros por segundo.

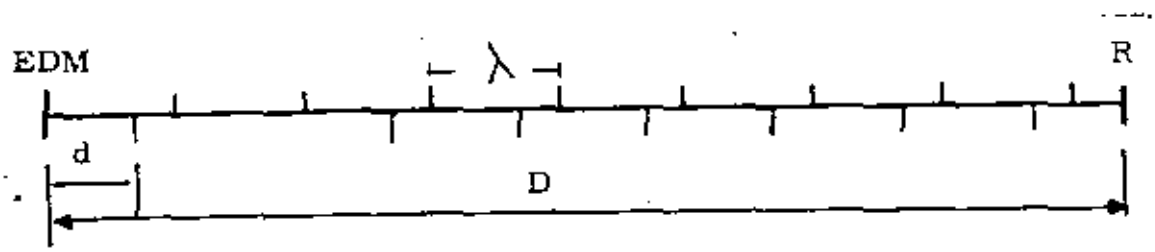
f : es la modulación de frecuencia en hertzios.

El valor de v'a está en función de la temperatura del aire, presión atmosférica y presión parcial del vapor de agua.

La intensidad de la luz modulada varía de 0 al principio de cada longitud de onda, llega a un máximo a los 90°, regresa a los 180°, disminuye hasta un mínimo a los 270° y regresa a 0 a los 360°. La distancia entre 0° y 360° es por lo tanto igual a la longitud de onda completa.



Por esta razón, los instrumentos EDM generan una cinta luminosa para medir, cuya longitud es igual a la longitud de onda de la luz modulada. Por ejemplo, si la frecuencia de modulación es 10MHz y la velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/seg., la longitud de la onda modulada es de alrededor de 30 metros.



En la figura anterior el instrumento EDM está localizado a la izquierda en un extremo de la línea por medir y el reflector R a la derecha ocupando el otro extremo de la línea. El reflector es la esquina de un cubo de vidrio en el cual los lados del cubo son perpendiculares uno al otro dentro de tolerancias muy estrechas. Esta perpendicularidad causa que la luz que llega sea reflejada internamente y salga paralela a ella misma. La esquina del cubo, por lo tanto, constituye un retroreflector. Un número entero de longitudes de onda, más una distancia parcial llamada d integran el total de la distancia del instrumento EDM al reflector y de regreso al aparato EDM. Se observa que si el reflector o el instrumento emisor se mueven hacia atrás o hacia adelante, a lo largo de la línea en una distancia igual a una mitad de longitud de onda o cualquier número de medias longitudes de onda, el valor de la distancia parcial d, será el mismo en cada caso.

Esta distancia parcial es medida en el instrumento con un cierto tipo de medidor de fase. La distancia buscada D entre los dos extremos de la línea, está dada por:

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

en la que: n : es el número entero de longitudes de onda en la doble distancia.

λ : longitud de onda de modulación en metros.

d : distancia parcial.

Una manera en la cual esta ecuación se podría resolver sería tener el conocimiento previo de la longitud de la doble trayectoria hasta la media longitud de onda más cercana, lo cual requiere que la longitud de la línea sea conocida al cuarto de la longitud de onda más cercano. Como esto no es práctico la ambiguedad de n puede ser resuelta utilizando la técnica de las frecuencias múltiples.

Si la medición es realizada conociendo su frecuencia y ésta se repite usando una frecuencia ligeramente diferente, dos valores distintos de d serán leídos en el medidor de fase. Conociendo los dos valores de las longitudes de onda, se obtienen dos ecuaciones similares a la anterior, pudiendo ahora resolverlas simultáneamente y obtener el valor de la incógnita y por lo tanto la distancia D buscada.

La técnica de frecuencias múltiples para resolver la ambigüedad está incorporada dentro de los modernos EDM. Tal sistema en uso común es la técnica de modulación de diez en diez. Suponiendo que una modulación de frecuencia de 15 MHz es establecida en el instrumento, resulta una longitud de media onda de 10 metros. Aceptemos que la extensión completa del medidor de fase esté representando una distancia de 10 metros.

La lectura del medidor de fase entonces da como unidad el metro y parte decimal del metro en la medida de una distancia de 0 a 9.999 m. Por ejemplo en una distancia de 3,485.276 m. esta frecuencia daría la parte 5.276. Cambiando a 1.5 MHz, la media longitud de onda es ahora 100.0 metros, la cual es resuelta por el medidor de fase para dar las decenas de metros, en este caso 80 (8 decenas). La siguiente frecuencia es entonces 0.15 MHz, la cual en unión con el medidor de fase, proporciona las centenas de metros, lo que en este caso es 400 (4 centenas) Finalmente a una frecuencia de 15 KHz dará el número de miles de metros en la distancia la cual en este caso es 3,000 (3 miles).

El instrumento EDM HP-3800 en el cual se lee en pies, emplea la técnica de modulación de diez en diez. El operador primero apunta la óptica del instrumento al reflector colocado en el otro extremo de la línea, usando el telescopio de observación, y manipula un par de tornillos tangenciales para perfeccionar el alineamiento vertical y horizontal. El mejor alineamiento se determina observando un medidor que muestra la intensidad de la señal de regreso. El operador entonces equilibra las intensidades de las señales de salida y de entrada con objeto de asegurar un adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos. Por medio de un switch deslizante se mueve a la primera frecuencia y se sintoniza en el número adecuado de pies y partes decimales y se lee 7.14 pies. Entonces se desliza el switch a la próxima frecuencia más baja y se sintoniza en 10 pies; la siguiente frecuencia de más abajo da 400 pies; y la más baja de todas las frecuencias proporciona 7,000 pies. La distancia medida es por lo tanto 7,417.14 pies.

Como hay gran variedad de instrumentos EDM no es práctico discutir los detalles particulares de operación de cada instrumento. Los fabricantes describen ampliamente la operación de los mismos.

8.1.3 Principio de medición de instrumentos EDM que utilizan microondas.

Los instrumentos de microondas generan superalta frecuencia (SHF) u ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente alta en el rango de 3 a 35 GHz, como ondas portadoras. Estas, a su vez, están moduladas a frecuencias que varían de 10 a 75 MHz según el tipo de instrumento. La longitud de onda modulada está dada por:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

en la que: λ: es la longitud de onda de modulación en metros o pies.

Vr : es la velocidad de la microonda a través de la atmósfera en metros por segundo

f : es la frecuencias de modulación en hertzios.

El valor Vr depende de la temperatura, presión atmosférica y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares, que se colocan en los extremos de la línea por medir, éstos son conocidos como instrumento maestro e instrumento remoto. Las observaciones son realizadas en el instrumento maestro, y

en el remoto también debe haber un operador, éste funcionará como re-- flector de la onda generada por la estación maestra.

El operador en la estación maestra selecciona una frecuencia de- modulación en la cual las microondas son transmitidas hacia el instru-- mento remoto; quien indica al operador en la estación remota por medio de la comunicación del instrumento (está interconstruída en el mismo -- aparato) qué frecuencia de transmisión está siendo usada. El operador remoto coloca su instrumento a la frecuencia correspondiente. La señal es recibida por el instrumento remoto y es retransmitida a la estación - maestra sin demora. Un medidor de fase, en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas emitida y recibida, en un osciloscopio en los primeros modelos de microondas o en forma digital en los más re cientes. Esto, en efecto, da la fracción o parte decimal de la longitud - de onda por la cual la doble trayectoria, de la estación maestra a la re- mota, se desvía de un número entero de longitudes de onda. Esto es equi valente a la distancia d ya tratada.

Si cualquiera de los dos, el instrumento maestro o remoto tuvie-- ran que ser movidos sobre la línea por medir, ya sea hacia adelante o ha cia atrás, por media longitud de onda modulada, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior. Por lo tanto la ambiguedad - que existe en los instrumentos de ondas de luz, se presenta también en - los instrumentos de microondas.

La técnica para resolver la ambiguedad en el número de longitudes de onda completas contenidas en la doble distancia, generalmente es la - misma como la que se indicó en el EDM a base de ondas de luz.

En el telurómetro, por ejemplo, la modulación múltiple de frecuen cias patrón es como se indica:

Patrón A:	10,000 MHz
Patrón B:	9,990 MHz
Patrón C:	9,900 MHz
Patrón D:	9,000 MHz

El patrón A por sí mismo interrumpe la onda de 10 MHz por me- dio del medidor de fase para dar lo más próximo a 50 pies y la parte de- cimal de 50 pies contenida en la distancia directa entre la estación maes- tra y la remota. Una combinación de los patrones A y D resuelve lo más próximo a 500 pies; una combinación de los patrones A y C resuelve lo - más próximo a 5,000 pies y una combinación de los patrones A y B resuel ve lo más próximo a 50,000 pies. En los instrumentos más antiguos se - hacían cálculos para reducir las lecturas del medidor de fase a la distan- cia deseada, mientras que los instrumentos recientes proporcionan auto-

mática o semiautomáticamente la reducción.

8.1.4 Efectos de las condiciones atmosféricas en la velocidad de la onda.

Las condiciones de la atmósfera que afectan la velocidad de propagación de la luz y las microondas son: la temperatura del aire, presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa, a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Un conocimiento de estos elementos permite una determinación del índice refractor del aire, el cual se debe conocer para calcular la velocidad de la luz o de las microondas, bajo ciertas condiciones meteorológicas dadas.

Para ondas de luz el índice refractivo n_s de aire normal está dado por:

$$n_s = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4})\, 10^{-6}$$

en la que: λ_c : es la longitud de la onda de la luz portadora en micras.

Según la clase de luz utilizada en los EDM los valores de λ_c son como sigue:

Ondas de transmisión	λ_c (μm)
Vapor de mercurio	0.5500
Incandescente	0.5650
Laser roja	0.6328
Infrarroja	0.900 - 0.930

El índice de refracción n_a para ondas de luz partiendo de las condiciones del aire normal, puede ser calculado por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_s - 1)\, p}{273.2 + t} - \frac{1.5026\, e \times 10^{-5}}{273.2 + t}$$

en la que: p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio (Torr).

t : es la temperatura del aire en grados centígrados.

e : es la presión de vapor en Torr.

Prácticamente para todas las mediciones de distancias con luz, el último término de la ecuación anterior que incluya la presión de vapor, puede ser despreciado, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en las ondas de luz.

La velocidad de las ondas de luz en el aire, Va está relacionada a la velocidad de la luz en el vacío por:

$$Va = \frac{C}{n_a}$$

El valor de C es 299,792.5 km/seg.

Ejemplo. Un rayo laser rojo con frecuencia modulada de 24 MHz atraviesa la atmósfera, cuya temperatura es 26° C y la presión atmosférica es 759 Torr. ¿Cuál es la longitud de onda modulada de la luz?.

Solución. El índice de refracción del aire normal para la onda de transmisión laser es:

$$n_s = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{0.6328^2} + \frac{0.068}{0.6328^4}\right) 10^{-6} = 1.0003002$$

El índice de refracción del aire bajo las condiciones atmosféricas dadas despreciando el último término es:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474\,(1.0003002 - 1) \times 759}{273.2 + 26} = 1.0002738$$

La velocidad de la luz laser a través de esta atmósfera está dada por la expresión:

$$Va = \frac{299,792.5}{1.0002738} = 299710.4 \text{ km/seg.}$$

Finalmente la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,710.4}{24 \times 10^6} = 0.01248793 \text{ km} = 12.48793 \text{ m.}$$

El efecto de la presión del vapor de agua, el cual puede se

ciado cuando se trabaja con luz, es muy grande cuando se usan EDM de microondas. Consecuentemente la humedad relativa debe ser determinada cuidadosamente en el campo, en el momento de la medición.

Un Psicómetro de alta calidad el cual da lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, debe ser empleado para la determinación de la presión del vapor.

El índice de refracción de las microondas n_r, está dado por:

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}\left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right)e$$

En la que p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio. (torr).

e : es la presión del vapor en milímetros de mercurio, en torrs.

t : es la temperatura del aire (bulbo seco) en grados centígrados.

La velocidad de la propagación de las microondas Vr a través de la atmósfera está dada por:

$$Vr = \frac{C}{n_r}$$

Y la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

Ejemplo. ¿Cuál es la longitud de onda en metros, de microondas moduladas a una frecuencia de 10 MHz, si la presión atmosférica es 643 Torr, la temperatura es 23.9° C y la presión de vapor 3.5 Torr?.

Solución.

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{297.1}(643.0 - 3.5) + \frac{86.26}{297.1}\left(1 + \frac{5748}{297.1}\right)3.5 = 243.4$$

y $n_r = 1.0002434$. Con la ecuación:

$$Vr = \frac{299,792.5}{1.0002434} = 299,719.5 \text{ km/seg.}$$

Finalmente con la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,719.5}{10 \times 10^6} = 0.02997195 \text{ km} = 29.97195 \text{ m.}$$

Las ecuaciones dadas para la determinación del índice de refracción se presentan en diferentes formas en varios artículos y publicaciones. Hay ligeras e insignificantes variaciones en los resultados obtenidos por medio de las diferentes expresiones o fórmulas.

Las fórmulas tratadas con anterioridad permiten al lector apreciar la importancia relativa de la temperatura; presión y presión del vapor en ambos casos, luz y microondas.

Los efectos de las condiciones atmosféricas son tratados de varias maneras en los diversos sistemas de EDM.

Las correcciones son pequeñas para distancias cortas, cuando se emplean EDM a base de ondas luminosas. Para líneas más largas un error de 10° C en la temperatura efectiva de la trayectoria del rayo, introduce un error relativo de 10 ppm y un error de 25 mm de mercurio, en la medición de la presión atmosférica también introduce un error relativo de 10 ppm.

Las correcciones en cualquiera de los dos casos son calculadas en base a los datos meteorológicos determinados al momento de medir, o también el circuito del instrumento es modificado para considerar las condiciones atmosféricas dentro del cálculo.

En el instrumento HP-3800, por ejemplo, las correcciones del medio ambiente se marcan en una carátula dentro de la unidad de potencia. Esto cambia la frecuencia modulada con objeto de mantener una longitud de onda constante a cualquier temperatura y presión. En el caso de los instrumentos EDM de microondas, la presión parcial del vapor de agua obtenida por las lecturas termométricas del bulbo seco y húmedo debe ser determinada con buena precisión. Un error de 2 mm en la presión del vapor o un error de 1.5° C en la diferencia entre la temperatura del bulbo seco y húmedo producirán un error relativo aproximado de 10 ppm a temperatura normal. Este error relativo crece con un incremento en la temperatura del aire. Suponiendo que las condiciones meteorológicas hayan sido determinadas satisfactoriamente, las correcciones para las distancias medidas se hacen fácilmente con la ayuda de varias gráficas, tablas o nomogramas, que son suministrados con los instrumentos.

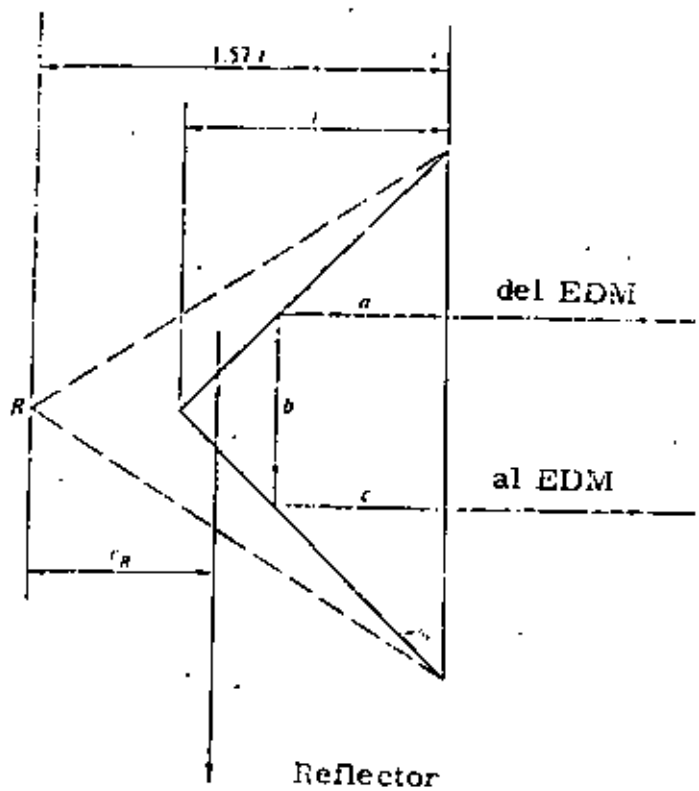
Si se usa un barómetro aneroide para determinar la presión atmós

férica, la lectura de elevación en metros o pies debe ser convertida al valor apropiado de presión en milímetros o pulgadas de mercurio. Esta conversión se hace usando gráficas o tablas suministradas por el fabricante del instrumento.

La tabla siguiente puede ser usada para convertir metros de elevación a milímetros de mercurio y recíprocamente.

8.1.5 Errores instrumentales en los EDM.

Si un instrumento EDM moderno es adecuadamente sintonizado, hay muy pocas causas de errores instrumentales que necesiten corrección. Un error conocido como "constante del reflector" es causado por no tener el centro efectivo del reflector plomeado en el extremo lejano de la línea. Este tipo de error se muestra en la figura siguiente para el caso de un reflector cúbico. La distancia a través de la cual viaja la luz en el cubo de vidrio durante la retrorreflexión es a + b + c, la que a su vez es igual a 2t. La distancia t se mide desde la superficie del reflector hasta la esquina del cubo de vidrio. La distancia equivalente en el aire a través de la cual la luz viaja es 1.57 x 2t, debido al índice de refracción del vidrio. La esquina efectiva del cubo está en R y representa el final de la línea. Si la línea de la plomada pasara verticalmente enfrente del punto R, entonces un error C_R se introduciría en la distancia medida de la línea, y en este caso la distancia C_R tendría que ser restada. La constante del reflector es eliminada mediante la posición adecuada del centro eléctrico del EDM y del prisma de reflexión en su montura.

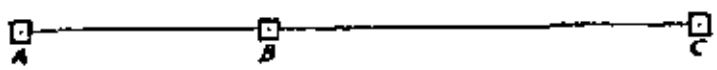


Un error similar se presenta en la estación remota de un sistema de microondas. Si el centro eléctrico no está sobre la línea vertical del instrumento, en este caso un error constante se introduce en cada medición. Un error sistemático se introducirá si la línea de la plomada en el aparato transmisor no pasa a través del centro eléctrico del instrumento. Este es idéntico al error en el extremo remoto de los sistemas de microondas. Dos métodos pueden ser empleados para determinar el valor de este error.

En el primero, se establece una línea lo más larga posible y se mide usando una cinta invar, de acero, o con un EDM de onda de luz, conocida la constante del reflector. Debido a la precisión inherente de los EDM, esta línea debe ser medida con un alto grado de precisión. Si la distancia conocida es medida con el EDM, la distancia corregida por condiciones meteorológicas, por la constante del reflector e inclinación de la línea, debe concordar con la distancia establecida. La diferencia entre las dos da el valor de la constante del instrumento C_1.

Cuando se usa el sistema de microondas, la constante de la estación maestra puede ser combinada con la constante de la estación remota y proporcionar un valor único para aplicarlo a cada distancia medida. Esta constante combinada se obtiene midiendo a lo largo de una distancia conocida y haciendo la comparación correspondiente como se indicó con anterioridad.

Si una línea base confiable no está disponible y si no es factible medir una línea, un segundo método puede ser aplicado para determinar la constante del instrumento. En la siguiente figura, tres puntos A, B y C, se localizan sobre una línea recta.



El EDM ocupa el punto A y se miden las distancias AB y AC. Se traslada el EDM al punto B y se mide la distancia BC. Estas tres mediciones se corrigen debido a las condiciones meteorológicas constantes del reflector (en el caso de un instrumento de onda de luz) e inclinación. Entonces si C_1 es la constante del instrumento o la constante maestra remota combinada:

(medida AB + C_1) + (medida BC + C_1) = medida AC + C_1, dando C_1 = medida AC - (medida AB + medida BC).

Los instrumentos y reflectores actuales llegan a estar tan bien calibrados en el momento de la fabricación, que las pequeñas constantes del instrumento y del reflector se conocen con precisión. Generalmente están reducidas a cero en el proceso de fabricación. La determinación de las constantes en el terreno generalmente no se requiere. La determinación del valor C_1 se hace bajo la suposición de que el instrumento está adecuadamente sintonizado para dar la modulación de frecuencia correcta.

Un error en la frecuencia produce un error de escala tal como la longitud de la cinta incorrecta, discutida con anterioridad. Por ejemplo, si la modulación de frecuencia correcta es 10 MHz y si la verdadera frecuencia se desvía de ésta por 100 Hz, un error relativo de 10 ppm afecta cada medida. Las frecuencias pueden ser comprobadas por medio de un contador de frecuencia. Una comprobación de frecuencia deberá ejecutarse a intervalos regulares, particularmente si se ejecutan levantamientos de alta precisión o estos tienen líneas muy largas. Alternativamente, si el EDM se comprueba regularmente con una distancia conocida, aplicando correcciones por constantes del instrumento y del reflector, condiciones meteorológicas e inclinación, se puede detectar un cambio de frecuencia.

8.1.6 Reflexión de microondas terrestres.

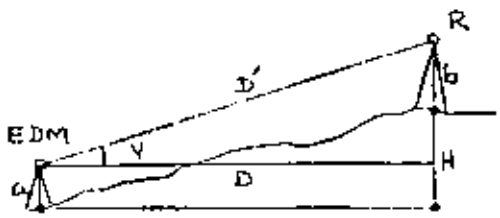
El EDM de microondas tiene un rayo relativamente amplio. Consecuentemente, las ondas que viajan de un extremo al otro de la línea, pueden tener reflexiones importantes originadas por el terreno entre las estaciones, particularmente si este es plano y libre de vegetación gruesa.

Las ondas reflejadas pueden introducir serias alteraciones cuando las mediciones se hacen sobre el agua. Las ondas reflejadas en este caso son causantes que se obtenga una distancia defectuosa, debido a que viajan sobre trayectorias más largas que los rayos directos. Si se hace una serie de lecturas finas como se toman las del modelo A del telurómetro, cada una con una frecuencia diferente y si hay fuertes reflexiones, estas lecturas variarán en forma cíclica. Si las lecturas se grafican, como una función de la frecuencia portadora, idealmente toman la forma de una curva senoidal. La variación cíclica en las lecturas finas se llama oscilación. La interpretación de la curva de oscilación que representará el mejor valor es cuestión de experiencia y criterio. Generalmente un promedio de las lecturas finas, será lo suficientemente preciso para la mayoría de las mediciones.

8.1.7 Reducción al horizonte de la distancia inclinada.

Algunos modelos recientes proporcionan distancia inclinada, distancia horizontal y distancia vertical, por lo que la reducción al horizonte es innecesaria, sin embargo, para aquellos modelos que no realicen automáticamente esta operación se procederá como sigue:

Cuando no se conocen las elevaciones de la estación E.D.M. y del prisma R:



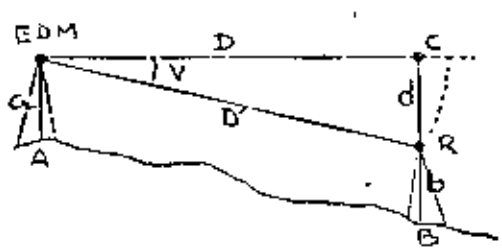
$$D = D' \cos V$$

$$H = D' \operatorname{sen} V + a - b$$

En la figura:

E.D.M.: Estación emisora.
R : Estación reflectora.
D' : Distancia inclinada
D : Distancia horizontal.
H : Distancia vertical.
a : Altura del punto eléctrico EDM.
b : Altura del punto de reflección R.
V : Angulo vertical.

Cuando se conocen las elevaciones de las estaciones:



En la figura:

C : Corrección aplicada a D' para obtener D.
A : Estación EDM.
B : Estación del reflector.

$$C = D' - D$$
$$d^2 = D'^2 - D^2$$
$$d^2 = (D' - D)\,(D' + D)$$
$$d^2 = C\,(D' + D)$$

$$C = \frac{d^2}{2D} \quad \text{aprox.}$$

En la que:

d = (cota A + a) - (Cota B + b)

$$D = D' - C$$

INSTRUMENTOS PARA MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS

INSTRUMENTO	C	F	O.P.	ALCANCE	PESO Kg
Geodímetro 12	a	1	1	1,600	3
Geodímetro 77		1	1	500	11
Distomat DI 10	a	2	1	2,000	18
Distomat DI 3	a, c	2	1	900	7
Distomat DI 35	a, c	2	1	1,500	7
DM 2000		3	1	2,500	11
DM 500	a	3	1	500	2
SM 11	b, c	4	1	2,000	20
Reg Elta 14	b, c, d	4	1	2,000	20
Eldi 1		4	1	5,000	8
Eldi 2		4	1	3,000	4
Eldi 3		4	1	1,500	4
SM 4		4	1	2,000	8
HP-3800		5	1	3,000	8
HP-3805		5	1	1,600	8
HP-3810	b, c	5	1	1,600	12
Micro-ranger	a	6	1	1,600	6
DM 03 Cubitape		7	1	2,000	7
MA 100		8	1	2,000	14
CD 6	a	8	1	2,000	4
Beetle 500	a	9	1	500	3
SDM 3H		10	1	1,600	17
SDM 3C		10.	1	1,600	6
Akkuranger MK-II		11	1	1,350	-
Distomat DI 4	a, c	2	1	2,000	-
Taquimat TC 1	b, c, d	2	1	2,000	-
Geodímetro 76		1	2	3,000	8
Geodímetro 710	b, c	1	2	5,000	14
Geodímetro 6BL		1	2	25,000	15
Geodímetro 8		1	2	60,000	23
Geodímetro 700		1	2	500	14
Ranger I		6	2	4,000	16
Ranger II		6	2	6,000	16
Ranger III		6	2	12,000	16
Ranger IV		6	2	12,800	16
Rangemaster		6	2	60,000	30

INSTRUMENTO	C	F	O.P.	ALCANCE	PESO Kg
Distomat DI 50		2	3	50,000	19
DM 20 Electrotape		7	3	50,000	12
CA 1000		8	3	30,000	3,5
MRA-3		8	3	80,000	2
Geodímetro 6A		1	4	25,000	16
Mekometer ME 3000		3	5	3,000	15

C. Características:

a: E.D.M. Unidad montada sobre un teodolito común.
b: El círculo horizontal y vertical están integrados en la unidad E.D.M.
c: Integrado en la Unidad el reductor automático de la distancia horizontal y diferencia de elevación.
d: Unidad para perforar cinta para computadora.

F. Fabricantes:

1. Aga, Suecia.
2. Wild, Heerbrugg Suiza.
3. Kern, Aarau Suiza.
4. Zeiss, Oberkochen, Alemania Federal.
5. Hewlett-Packard, U.S.A.
6. Keuffel and Esser, U.S.A.
7. Cubic Corporation, U.S.A.
8. Tellurometer(Plessey) Corp. U.S.A.
9. Precision International, U.S.A.
10 Sokkisha, Tokio, Japón.
11 Scintrex, Ontario, Canadá.

O.P. Onda portadora:

1. Infrarroja.
2. Laser.
3. Microonda.
4. Vapor de mercurio
5. Xenón.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

La Topografía tiene por objeto efectuar las mediciones y cálculos necesarios para representar un cuerpo o una porción de terreno en una superficie plana, de acuerdo a una orientación que puede ser astronómica, magnética o respecto a alguna línea convencional.

La Topografía prescinde de la clase de materia que constituye a los cuerpos o terrenos y solo se ocupa de ellos en lo que concierne a sus dimensiones, considerando solamente algunas relaciones comunes que permiten sustituirlos por un esquema ideal llamado figura geométrica. Así por ejemplo, si se tiene un terreno horizontal, plano y limitado por cuatro lados rectos, este terreno, se puede representar por la figura llamada "cuadrilátero" y por lo tanto, se pueden hallar las relaciones afines a esta figura y consecuentemente al terreno en estudio. Por la relación tan estrecha que existe entre la Topografía y la Geometría es recomendable un buen conocimiento de esta última ciencia para una buena preparación en el conocimiento de los métodos topográficos.

1. ELEMENTO GEOMETRICO.

Es un elemento simple y con características propias que sirve para formar o definir diversas composiciones geométricas. Los elementos geométricos son en su división más simple: puntos, líneas, ángulos, superficies y espacios.

Punto. Es un lugar geométrico que no tiene dimensión, solo posición.

Línea. Es un conjunto ordenado de puntos. Las líneas pueden ser rectas o curvas.

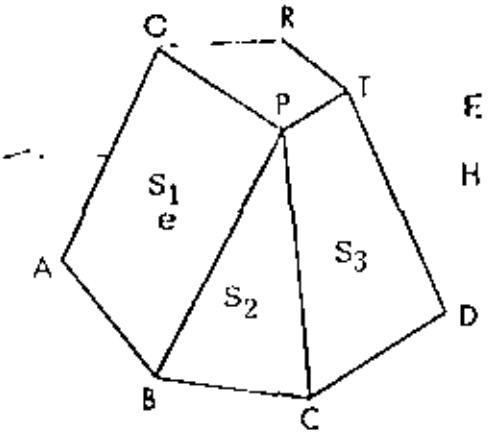
Angulo. Es la abertura entre dos rectas que se cortan en un punto llamado vértice.

Superficie. Es un elemento geométrico que divide a dos regiones o espacios.

Espacio. Es un conjunto de puntos contenidos en una región limitada por varias superficies.

1.1 Cuerpo geométrico.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos. Los elementos de un cuerpo geométrico en el espacio son:

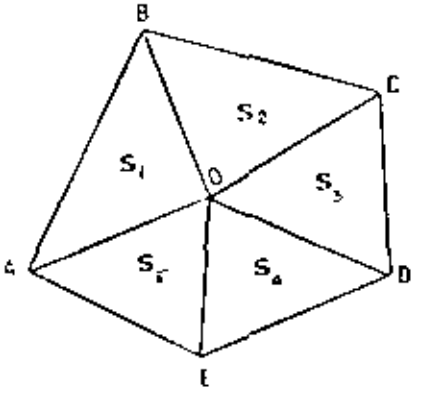


Puntos: A, B, C, D	N
Líneas: AB, BC, CD	MN
Angulos: A, B, C, D	N
Superficies: S_1, S_2, S_3	Sn
Espacios: exterior E, e interior	e

1.2 Polígono.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos enlazados que sirven para representar un objeto o una porción de terreno. En este caso el conjunto de elementos geométricos tiene posición relativa, lo que implica el concepto de orientación que puede ser magnética, astronómica o relativa a algún otro elemento.

A los elementos geométricos de los polígonos les corresponden magnitudes o valores que son:



Elementos geométricos	Magnitudes
Puntos	Coordenadas
Líneas	Distancias
Angulos	Angulos
Superficies	Areas
Espacios	Volúmenes
Orientación	Azimut

Coordenadas. Es una terna ordenada de número que sirven para indicar la posición en el espacio, de los puntos de una cadena topográfica; generalmente se les designa con las letras X, Y, Z.

Distancia. Es el número de unidades, de longitud que contiene -

una línea limitada por dos extremos.

Angulo. Es el número de unidades que contiene la abertura entre las líneas que lo forman.

Area. Es el número de unidades cuadradas que contiene una porción de superficie. Esta porción puede estar limitada por líneas rectas o curvas.

Volumen. Es el número de unidades cúbicas que contiene un espacio limitado por superficies planas o curvas.

Azimut. Es un ángulo formado por alguna línea de la línea de referencia llamada meridiana.

1.3 Sistema de referencia.

Elementos de referencia.

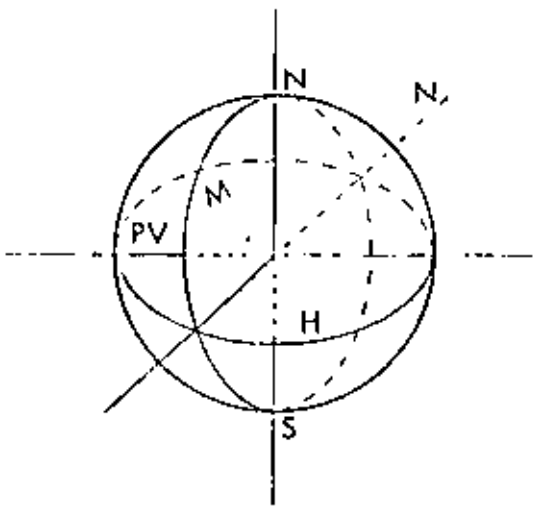
Vertical del lugar. Es la dirección que sigue la plomada en el lugar considerado.

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical del lugar.

Plano meridiano. Es un plano formado por el eje terrestre y la vertical del lugar. Es perpendicular al plano del horizonte.

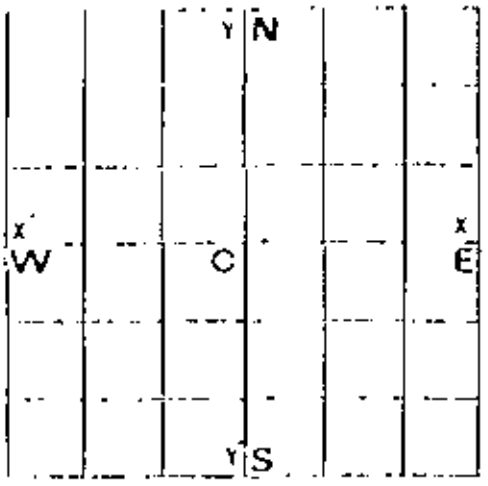
Primer vertical. Es un plano perpendicular al plano del meridiano y también al plano del horizonte.

El sistema de referencia está definido por tres ejes que se cortan perpendicularmente entre ellos y son: el eje X, el eje Y y el eje Z.



Eje X es la intersección del primer vertical con el plano del horizonte.

Eje Y es la intersección del meridiano con el plano del horizonte. Es coincidente con la meridiana.



Los extremos del eje X reciben el nombre de ESTE y OESTE.

Los extremos del eje Y reciben el nombre de NORTE y SUR.

Los cuatro puntos se indican con las letras N, S, E, W, respectivamente.

El plano de referencia queda dividido en cuatro regiones o cuadrantes que son: el Nor-Este (NE), el Nor-Oeste (NW) y el Sur-Este (SE) y el Sur-Oeste (SW).

2. MAGNITUDES.

Teniendo en cuenta los elementos geométricos que intervienen en las poligonales topográficas, se tienen las siguientes magnitudes:

2.1 Coordenadas.

X. Si la poligonal es lineal; por ejemplo un alineamiento recto.

X, Y. Si la poligonal es planimétrica, por ejemplo las figuras geométricas, que es el caso más común en la topografía tradicional.

X, Y, Z. Si la poligonal es tridimensional, es decir, que se tratan simultáneamente los elementos planimétricos y altimétricos. Algunos lenguajes de computación topográfica pueden resolver el problema en esta forma.

2.2 Distancias.

Inclinada. Es la contada sobre la línea que pasa por la estación y el punto observado y limitada por estos puntos. En Topografía es poco empleada.

Horizontal. Es la que tienen las dimensiones de la poligonal -

rpoyectadas en el plano horizontal. Son las distancias que se usan en Topografía, de tal manera que cuando se habla de "distancia" en estaciencia, se entiende que es "horizontal".

Vertical. Es la que tienen los puntos de la poligonal, contada desde una superficie horizontal de referencia, hasta el punto que se trata y sobre la línea vertical de proyección.

2.3 Angulos.

Horizontal. Es el ángulo diedro formado por los planos verticales que pasan por los extremos del ángulo (extremos observados) y por su vértice (estación).

Vertical. Es el ángulo contado desde el plano del horizonte que pasa por la estación hasta el punto observado, contado sobre el plano vertical que contiene a estos puntos.

De liga. Es el ángulo que relaciona a la poligonal con el sistema de referencia; puede ser el Azimut o el Rumbo, magnético o astronómico.

Azimut.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte de la meridiana, hasta el punto observado, sobre el plano del horizonte y en el mismo sentido del movimiento de las manecillas de un reloj. Se mide de 0 a 360° ó de 0 a 400 grados centesimales.

Rumbo.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte o Sur de la meridiana, hasta el punto observado sobre el plano del horizonte, hacia el Este o el Oeste. Se mide de 0 a 90° ó de 0 a 100 grados centesimales.

2.4 Areas.

En Topografía solo interesan las áreas horizontales y verticales, se determinan por cálculo, en función de las demás magnitudes de la figura.

2.5 Volúmenes.

Interesan los volúmenes limitados por la superficie natural del terreno, el plano horizontal de referencia y los planos verticales que pasan por los lados. En Topografía los volúmenes se determinan por cálculo.

3. INSTRUMENTOS.

Un instrumento de topografía en su concepto más general es un conjunto de elementos ópticos, mecánicos y electrónicos que sirven para determinar en el terreno o en el plano las magnitudes que intervienen en la topografía y en muchas ocasiones las posiciones de puntos en la superficie terrestre.

A continuación se indican algunos:

Magnitudes	Instrumentos
Coordenadas:	Coordinatógrafos ortogonales y polares.
Distancias:	Alineadores de pínula, alineadores de prisma, podómetros, ruedas, perambuladoras, cadenas de agrimensor, longímetros, telémetros, estadias, distanciómetros electrónicos, equialtímetros y altímetros.
Angulos:	Escuadras de Agrimensor, escuadras de espejos o reflexión, escuadras de prisma o refracción, goniógrafos y goniómetros.
Areas:	Planímetros.
Volúmenes:	En topografía no existen instrumentos para determinarlos. Se calculan en función de otras magnitudes.
Orientación y Posición:	Astrolabios, giróscopos y posicionadores inerciales. Se utilizan para dar orientación y posición geográfica.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

El coordinatógrafo es un instrumento diseñado para establecer o medir coordenadas. Su solución mecánica consiste básicamente en la materialización de ejes cartesianos o polares. Se fabrican para lograr diversas precisiones, por lo que vienen dotados con varias escalas, vernieres, microscopios para lecturas y accesorios para realizar diferentes trazos sobre la base de redacción.

Se distinguen dos tipos de coordinatógrafos: ortogonales y polares.

A continuación se describen algunos de los más conocidos y los accesorios que se utilizan para dibujar o grabar en papel o plástico recubierto (stabilene).

1. COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO H. S. A.

El graficado de puntos para producir una cuadrícula de apoyo para cualquier plano es una tarea mecánica y repetitiva, que puede ser resuelta mediante el coordinatógrafo de escalas, sin embargo, el trazado se puede realizar con mejores resultados mediante el coordinatógrafo ortogonal maestro, que consiste en una lámina de metal invar, con perforaciones correspondientes a los puntos de cuadrícula. La calidad del metal y el terminado anodizado le proporciona rigidez y limpieza en el uso, así como la precisión original de los orificios.

Los puntos se pican con un picógrafo manual, en el cual una guía embona perfectamente en los orificios y además permite ajustar el tamaño de la marca picada.

El uso combinado del coordinatógrafo maestro y un coordinatógrafo sencillo de escalas supera en muchos casos a un instrumento graficador, porque obtiene una superficie de trabajo mayor.

Se fabrican en los siguientes tamaños:

100 x 700 y 500 x 400 mm, con orificios a intervalos de 100 ó 50 mm y 40 x 30 pulgadas, con orificios a intervalos de 5 pulgadas.

2. COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO H. S. A.

Escalas: Sistema métrico:	1:500	1:1000	1:2000
Lecturas de escala: distancia de	0.05 mm, 0.0025 pulgadas		

círculo de 400^g, lectura hasta 5^g, estimación de 1^c.

círculo de 360°, lectura hasta 2', estimación de 1'.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor.

Las características mecánicas de este coordinatógrafo son las siguientes:

- Guía de distancia y patines de acero inoxidable.
- Tornillos ajustadores para centrar el instrumento sobre el punto origen.
- Tornillos micrométricos para colocar con precisión los valores angulares y de distancia.
- Soportes de baleros para todos los movimientos.
- Superficie de trabajo de 400 mm de radio.
- División del círculo en 400^g o 360° . Se fabrican también con los dos sistemas.

3. COORDINATOGRAFOS ORTOGONALES DE ESCALAS.

3.1 Modelo 1200 x 1200 mm. H. S. A.

La precisión gráfica es de 0.04 mm (0.0015 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. La precisión es mayor para distancias menores. Un intervalo en el disco corresponde a un movimiento del carro de 0.005" (estimación de 0.001").

Con la integración del taladro con el microscopio (amplificación - 7x) en una unidad, se eliminan los errores causados por el uso de múltiples aditamentos ópticos y de perforación.

Este instrumento viene provisto de cintas sin-fin ajustables, de - acero inoxidable con numeración espaciada, una mesa con marco de acero tubular que apoya la tabla de dibujo y una caja de 1.930 x 0.609 m. x 0.1524 m para guardar los rieles.

Es un instrumento muy preciso porque no tiene cremalleras ni piñones. Los mecanismos de conteo con discos son fácilmente intercambiables para cada escala.

Para el trabajo que requiere iluminación interior, este coordinatógrafo puede ser habilitado con una mesa iluminada. Esta mesa especial está fabricada con marco tubular de cuatro patas y apoya 2 placas de

vidrio que forman la superficie para dibujo. El equipo de iluminación está instalado en una caja y consta de tubos fluorescentes estabilizadores y un ventilador. La totalidad del área de placa de vidrio es de 1320 x 1320 mm, con iluminación uniforme por debajo.

Este instrumento puede usar un aditamento para dibujar ángulos de tal modo que multiplica sus posibilidades mecánicas, entre las que se cuentan:

- Dibujar líneas oblícuas a cualquier ángulo dado.
- Poder colocar los puntos angulares en cualquier parte de la región de trabajo del coordinatógrafo. Esto no afecta la relación con el sistema coordenado rectangular.
- Permitir mediante el sistema óptico, lecturas directas de 1' y estimaciones de 10".
- Poder usar los mismos accesorios del coordinatógrafo en este aditamento.

3.2 Modelo 400 x 240 mm H. S. A.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en las direcciones X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado del carro de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumento para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las características mecánicas siguientes:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Las graduaciones y la numeración están en celuloide blanco y libre de reflejos.
- Tornillos micrométricos para la colocación precisa de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.3 Modelo 550 x 500 mm H. S. A.

La precisión gráfica es de ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumen

to, para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las siguientes características mecánicas:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Graduaciones en celuloide blanco, libre de reflejos y con verniers de vidrio.
- Cintas de escala móviles.
- Tornillos micrométricos para el posicionamiento preciso de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.
- Posibilidad de acoplarle un compás radial.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.4 Modelo 90 x 120 EA-F.

Esta variante se usa principalmente como mesa trazadora para hacer mapas en unión con el Stereometrograph. La caja de engranes se localiza en la pared posterior de la mesa trazadora. Bajo la caja de velocidades (caja de engranes) dispositivos síncronos (selsyn) están adosados, así que la mesa trazadora se acciona electrónicamente por el graficador. Las manivelas y contadores digitales, si se quiere, pueden ser colocadas en el lado frontal. Flechas articuladas aseguran la conexión mecánica desde la caja de engranes a las manivelas. Debido a esta prolongación, el coordinatógrafo de precisión cambia de modelo para convertirse en el 90 x 120 EZ-F, y en esta forma puede ser usado como una unidad separada. Conectando el instrumento registrador electrónico Coordimeter F, el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 EZ-F, debe estar suplementado con una fuente de poder autosíncrona (selsyn) y una caja de conexiones.

En este caso la combinación se designa como 90 x 120 EC-F.

3.5 Modelo 90 x 120 MA-F.

Este tipo no está equipado con una caja autosíncrona (selsyn) y así puede estar conectado a trazadores en forma mecánica solamente. La conexión mecánica del coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MA-F, a los graficadores estereográficos Techcart y Topocart por medio de flechas articuladas. Este equipo no está en particular provisto con manivelas y contadores digitales de coordenadas, pero se les puede adicionar si así se requiere. Por esta ampliación la designación 90 x 120 -

MZ-F, se aplica al coordinatógrafo de precisión que puede emplearse para hacer mapas sin usar un graficador.

La caja de engranes está localizada en el lado posterior de la mesa.

3.6 Modelo 90 x 120 MK-F.

La caja de engranes con manivelas y los contadores digitales de este coordinatógrafo de precisión están colocados en la parte frontal. Este coordinatógrafo no es adecuado para conectarlo a instrumentos graficadores. Se usa exclusivamente como una unidad separada.

Sus aplicaciones incluyen: la producción de modelos para retículas y placas de prueba en las industrias ópticas y de precisión. Valores calculados y medidos sobre mapas suministrados en forma tabular para la representación en diagramas, curvas y escantillones.

3.7 Modelo 90 x 120 MS-F.

La unidad básica es la misma que la usada con el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MK-F. El equipo está adaptado a las técnicas de corte para subestratos de emulsión con laca en bandas o en hojas (método por bandas). Incluye los siguientes accesorios:

Herramientas de corte, dispositivo para corte en forma circular con radios hasta de 120 mm, dispositivo para corte circular con radios desde 110 hasta 300 mm, reglas graduadas para cortes de líneas oblícuas, dispositivo afilador para las herramientas de corte, proyector para localizar los puntos. Para corte de círculos los carros X e Y pueden ser sujetados para aumentar la estabilidad.

3.8 Modelo Z-2 Zeiss.

Es un instrumento de precisión complemento del Estereoplanígrafo C-8 y que puede ser usado individualmente como coordinatógrafo manual o en combinación con el graficador electrónico Koordimat operado con tarjetas perforadas.

Puede ser utilizado para picar puntos, gravar líneas con punzón, dibujar líneas y círculos con minas de grafito y dibujar círculos con bolígrafo.

Tiene instrumentos adicionales como un contador de presión para el registro mecánico de las coordenadas X, Y, Z, número de puntos y símbolos en bandas de papel en zig zag o en hojas unitarias de formato-

DIN - A 4 si es necesario con papel copia.

Precisión en las lecturas de coordenadas X, Y:

a) en escalas (aproximación de 0.1 mm)
b) en contadores giratorios iluminados (aproximación de 0.02 mm)

Tiene una superficie utilizable en placa de vidrio de 1200 x 1200 - mm.

3.9 Koordimat - Coordinatógrafo controlado por tarjetas perforadas.

El equipo se compone del coordinatógrafo de precisión Z2 con servocontrol eléctrico, instrumento de coincidencia, armario de control y - perforador de tarjetas IBM. Sirve para el dibujo automático de puntos cuyas coordenadas rectangulares "x" e "y" hayan sido registradas en tarjetas perforadas. Si en lugar del imán elevador se utiliza el cabezal impresor St2, es también posible identificar automáticamente los puntos dibujados mediante tarjetas perforadas, con un número de cuatro dígitos y un - símbolo.

Cabezal impresor St2.

Utilizable en lugar del imán elevador en el Z2 para identificar automáticamente puntos aislados mediante un número de cuatro cifras y un - símbolo discrecional.

Dispositivo retrolector de coordenadas para el Koordimat.

Con este dispositivo, compuesto del proyector EP para mesa de dibujo, un panel adicional para el armario de control, un dispositivo de conmutación para el instrumento de coincidencia y una unidad de salida de tarjetas para el perforador de tarjetas, también se puede emplear el Koordimat para registrar en tarjetas perforadas las coordenadas de los puntos ya dibujados (por ejemplo, para fines catastrales).

3.10 Accesorios para Coordinatógrafos H. S. A.

Existen varios accesorios intercambiables con el estilete-microscopio, diseñados para grabar en diferentes materiales.

A continuación se describen algunos:

a) Compás giratorio para marcar círculos con diámetros de 0 a -- 0.5 mm ó a 0.2 pulgadas.

Se presentan con agujas de punta de acero o de zafiro para grabar en materiales revestidos.

b) Buriles y cojinete de centrado para grabar cuadrículas rectangulares y cualquier línea en X e Y.

El cojinete de centrado es intercambiable con el estilete-microscopio y sostiene los dispositivos de grabado en una posición vertical. Un disco fijador evita que gire.

El grosor de las líneas de grabado debe tenerse en cuenta al seleccionar el accesorio.

Existen las siguientes clases de buriles para grabar en distintos materiales:

- Para vidrio recubierto: buriles de acero.
- Para película recubierta: buriles con punta de zafiro.
- Para metal: grabadores lineales, cónicos con punta de metal duro y pesas adicionales.

c) Soporte para afilar los buriles.

Se utiliza para reafilar con precisión los buriles de acero o ángulos correctos. Un excéntrico ajusta y a la vez arregla el buril.

Este accesorio se suministra con la piedra de afilar junto con el anillo para grabar en vidrio revestido.

d) Eje con punta de diamante.

Cuando se preparan dibujos de referencia muy precisos en vidrio o en la manufactura de modelos metálicos, el eje con punta de diamante se puede usar para marcar directamente sobre el material en cuestión. El aditamento del estilete de punta de diamante es intercambiable con el estilete-microscopio en los coordinatógrafos tratados.

El eje trabaja en soportes con baleros y puede girar manualmente. Su lado más bajo está provisto con un soporte ajustable para la punta de diamante en forma piramidal.

Un aditamento para freno permite el ajuste del tamaño del punto.

El aditamento del estilete con punta de diamante del coordinatógrafo 550 x 500 mm, el estilete-microscopio y la pluma de dibujo descansan sobre la placa de vidrio.

e) Compases radiales.

Para dibujar arcos circulares existen compases radiales para los coordinatógrafos de 1200 x 1200 mm y 550 x 500 mm.

El compás gira en un eje rematado en punta, el cual está unido al centro del mango del microscopio. El radio requerido se establece por medio del desplazamiento del vernier con tornillos de aproximación.

Tamaño de los radios:	0 a 160 mm	0 a 540 mm
	0 a 300 mm	0 a 1000 mm

Los círculos y arcos se dibujan con una pluma suministrada como un accesorio standard o se graban con un aditamento especial con punta de metal duro o de diamante.

H. S. A.: Haag Streit Ag.
Manufacturers of Precision
Instruments Liebefeld, Suiza.

ZEISS/J.: Veb Carl Zeiss, Jena
D. D. R. República Democrática
Alemana.

ZEISS /O.: Carl Zeiss 7082,
Oberkochen, Alemania Federal.

NOMBRE	FABRICANTE	AREA	ESCALAS	PRECISION	ENLACE	PESO
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO	H. S. A.	1000 x 700 mm 1016 x 762 mm	Perforaciones cada 100, 50 mm y 5''	0.1 mm		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Con mesa de iluminación inferior	H. S. A.	1200 x 1200 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 Sistema inglés: 1:1200 1:2400 1:4800 1:6000 Ambos sistemas: 10:1 20:1 50:1	0.04 mm 0.0015 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	550 x 500 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 10:1 20:1 50:1 Ambos	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	400 x 240 mm	Sistema métrico: 1:5000 1:1000 1:2000	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO	H. S. A.	Area circular de 400 mm de diámetro	Sistema métrico: 1:500 1:1000 1:2000 Graduación círculo: 400g 5c estimación 1c 360° 2' estimación 1'	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFOS: *EA-F EC-F **MA-F MK-F MS-F	ZEISS/J	1200 x 900 mm	1:200 1:250 1:400 1:500 1:800 1:4000 1:5000 1:625 1:600 1:3200 adicional para los modelos EA-F, EZ-F, MA-F y MZ-F.	Errores mínimos cuadrados: En coordenadas: ± 0.03 mm En puntos: ± 0.04 mm	*Topocart Technocart Stereometrograph **Topocart Technocart	230 kg
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Z2	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	5 :1 1.5 :1 0.8 :1 0.375:1 4.166:1 1.5 :1 0.75 :1 0.25 :1 4 :1 1.33:1 0.66 :1 0.24 :1 2.66 :1 1.25:1 0.625:1 0.2 :1 2.5 :1 1.2 :1 0.6 :1 2 :1 1 :1 0.5 :1 1.66 :1 0.83:1 0.4 :1	En escalas: 0.1 mm En elementos giratorios: 0.02 mm	Estereoplanígrafo C-8 Ecomat 1	458 kg
KOORDIMAT	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	1:48 1:50 1:75 1:80 1:100 1:120 1:125 1:150 1:160 1:200 1:240 1:250 1:300 1:400 1:500 1:800	0.2 mm		580 kg

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

ELEMENTOS PARA MEDICION ANGULAR

PROFESORES:
MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ELEMENTOS DE MEDICION ANGULAR

1. GENERALIDADES.

Los limbos son los elementos para la medición angular y están -- formados por círculos graduados. Los teodolitos y tránsitos tienen uno para la medición de ángulos horizontales y otro para ángulos verticales. En los instrumentos antiguos o tradicionales los limbos son metálicos - con una cinta de plata en el lugar donde tienen las marcas de la graduación, algunos están protegidos con una cubierta metálica.

Estos limbos presentan las graduaciones siguientes:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno del limbo y de 360° a 0° en sentido izquierdo en el borde externo. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno y en cuadrantes en el borde externo.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 90° con el 90 en el zenit y el nadir.

Las casas constructoras han sustituido gradualmente a los limbos metálicos por limbos de vidrio porque éstos tienen la ventaja de que las marcas de graduación se pueden hacer con extraordinaria precisión y - absoluta nitidéz. La lectura de estos limbos se hace generalmente por transparencias y además su resistencia es excelente. Estos limbos tienen la forma de un anillo con varios milímetros de espesor, van montados en un anillo de metal de similar coeficiente de dilatación.

Estos limbos tienen los tipos de graduación siguiente:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 360° con el 0 en el zenit.

Los avances logrados en las máquinas para grabar han hecho posible extraordinarias perfecciones en la graduación de los limbos, por - ejemplo el teodolito Wild T2 tiene 1,080 partes en un limbo de sólo 70 mm de diámetro.

2. MECANISMOS DE LECTURA.

Los índices o mecanismos de lectura de los limbos están formados por vernieres, micrómetros y discos codificados para lectura electrónica.

2.1 VERNIERES.

El vernier o nonio es un dispositivo mecánico que se utiliza para leer una cifra que en una escala común sería solo estimada. El vernier en su conjunto está formado por el elemento de medición (limbo graduado) y por una regla graduada que contiene el índice.

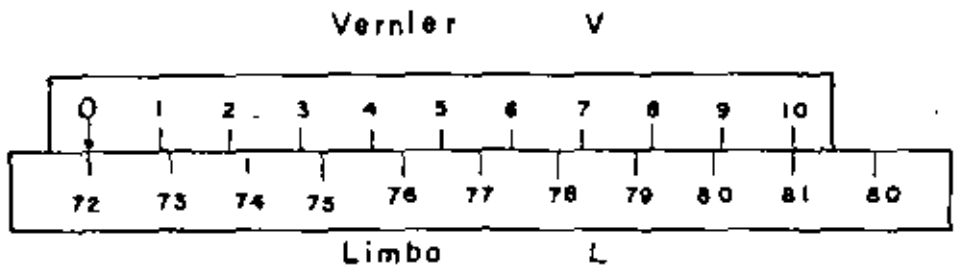


Figura 1

Si en la escala L considerada, se desliza la escala V, el índice O marca la fracción en el sentido de crecimiento de la escala L, si no se utilizara el vernier, esta lectura sería estimada, sin embargo, la fracción precisa es aquella que indica la marca del vernier que coincide con alguna marca del limbo.

Aproximación del vernier.

Sea: L : Valor de la menor división del limbo.
V : Valor de una división del vernier.
n : Número de partes del vernier.
a : Aproximación del vernier.

$$L - V = a \qquad nV = (n-1)\,L$$

$$a = \frac{L}{n}$$

En los vernieres no hay que confundir la aproximación con la apreciación, pues no siempre son iguales. La apreciación depende del

límite de la percepción visual (agudeza visual del observador). La expresión L entre n, es la aproximación del vernier y parece indicar que en un limbo graduado podría aumentarse la aproximación haciendo mayor número de divisiones al construir el vernier, sin embargo, no sería posible apreciar las rayas coincidentes pues habría incertidumbre, debido a los límites de la agudeza visual del operador.

Ejemplos de lecturas en escalas rectas.

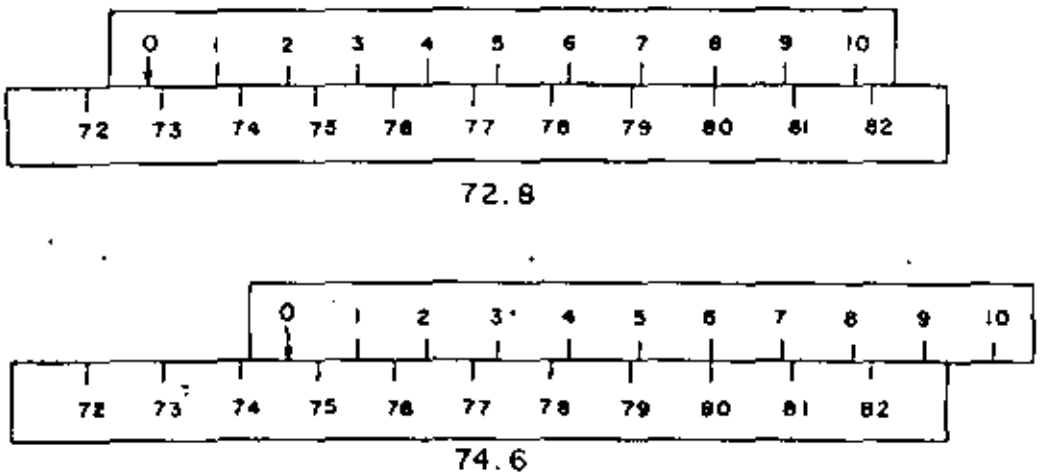


Figura 2

Ejemplos de lecturas en limbos y vernieres de tránsito.

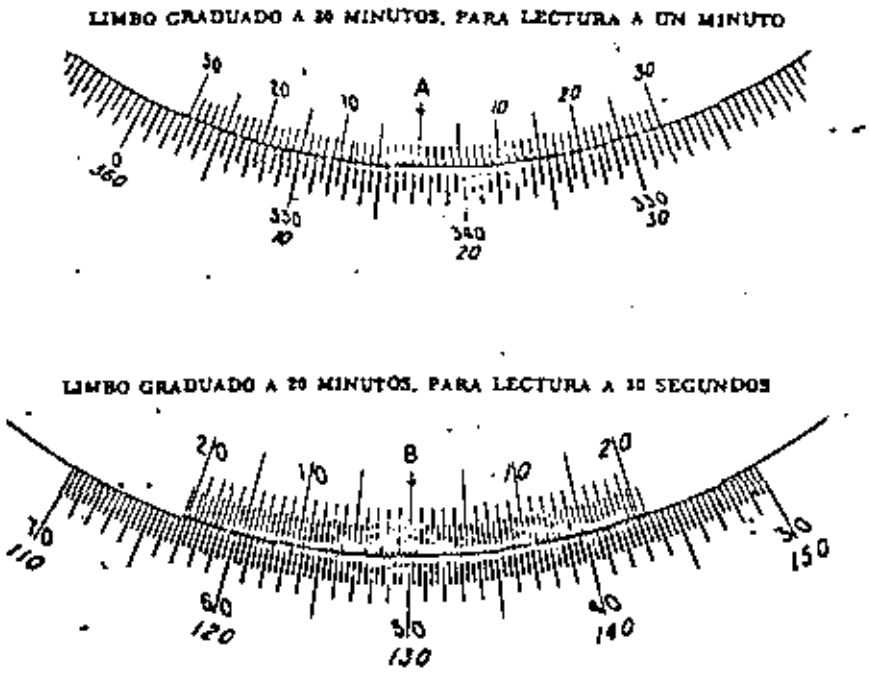


Figura 3

2.2 MICROMETROS.

En los instrumentos modernos para medición angular existe la tendencia a sustituir al vernier en los limbos de vidrio, por otros dispositivos más adecuados como es el caso de los micrómetros, que adoptan varias formas como las que a continuación se indican.

1. Micrómetro de estima.

Consiste en un microscopio de lectura dividido en forma de escala, cuya imagen coincide con la del limbo de igual modo que la retícula de un antojo se superpone con la imagen del objeto. La retícula tiene una dimensión tal que al mirar a través del microscopio se ve de una magnitud idéntica a una división del limbo.

En los modelos más antiguos, el micrómetro tiene un solo hilo en el centro, sin embargo, hay algunos que mejoran la precisión aumentando los hilos de la retícula, algunos tienen tres o cinco hilos equidistantes de tal manera que las lecturas obtenidas con los hilos situados a la izquierda del central serán erróneas por defecto, mientras que las lecturas de los hilos de la derecha lo serán por exceso; el valor de la lectura es el promedio, con lo cual se aumenta la precisión.

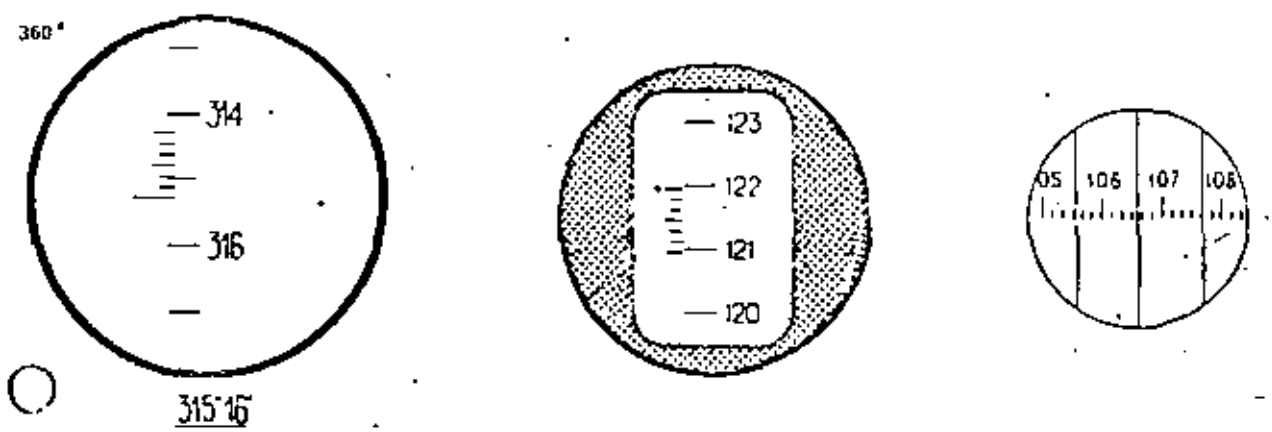


Figura 4

2. Micrómetro óptico de estima.

El Doctor Heinrich Wild logró revolucionar la construcción de los instrumentos topográficos introduciendo micrómetros de lectura sin necesidad de hilos ni de retículas. La fabricación de estos micrómetros fueron hechos al principio por la Casa Zeiss de Alemania, posteriormente por las fábricas Wild y más recientemente por la Casa Kern, ambas de Suiza.

El fundamento del método es el siguiente:

Sea L1, L2 un limbo de vidrio graduado de 0 a 360° y que, por un método óptico al observarlo a través de un microscopio, se traslada la imagen del sector L2 paralelamente a ella misma hasta verla en L'2 tangente al círculo. La graduación del punto de contacto en el sector L1, diferirá exactamente 180° de la leída en el sector L'2, y si la graduación del L1 crece a la derecha, la del L'2 crecerá hacia la izquierda, permaneciendo equidistantes a uno y otro lado del punto de contacto, las lecturas de L1 y de L'2 que difieren en una semicircunferencia.

Si se hace girar al círculo un cierto ángulo, la imagen L'2 girará el mismo ángulo en sentido contrario y en el punto de contacto las lecturas de ambos sectores seguirán siendo iguales (corrigiendo L'2 en una semicircunferencia). La diferencia de las lecturas extremas es el ángulo girado.

De este modo, no se necesita índice alguno, debiendo tomar como lectura la del punto de contacto de los dos círculos.

Unos prismas denominados separadores cortan ligeramente ambas imágenes del limbo de modo que aparezcan separadas por una línea fina.

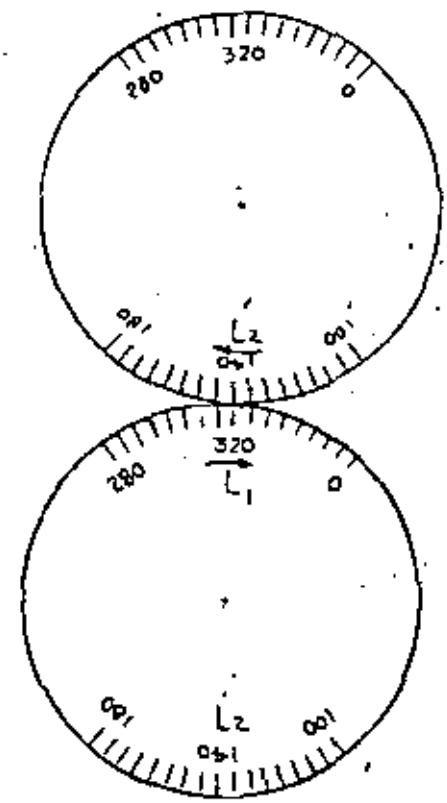
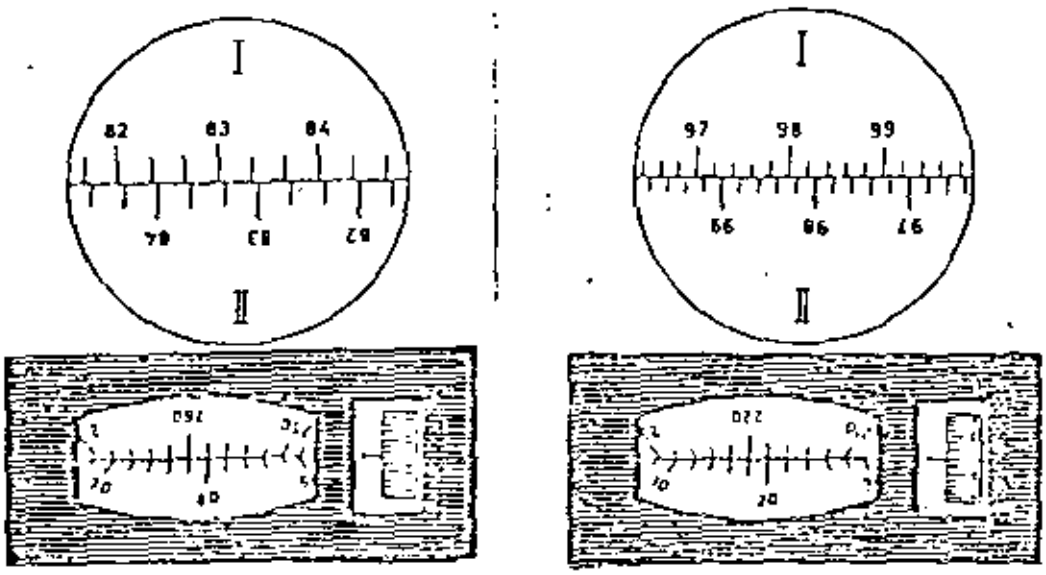


Figura 5

El teodolito Wild T-0 tiene este tipo de micrómetro. En este caso el limbo va dividido de 20' en 20' y para la lectura se tiene en cuenta que la distancia entre dos graduaciones iguales en ambos sectores, es doble de la que separa cualquiera de ellas del punto central, de lecturas coincidentes. De este modo se duplica la apreciación al medir la primera distancia y para reducirla a la mitad se toman las divisiones como si fueran de 10', apreciando a la estima la última fracción.

La ventaja de los micrómetros ópticos radica en la rapidez y claridad en las lecturas, duplicación del poder de apreciación y dar por corregido, con una sola lectura el error de excentricidad.

Ejemplos de lecturas.



Lectura : del círculo vertical 83° 12'
del círculo horizontal 79° 42'

Lectura : del círculo vertical 98,149
del círculo horizontal 19,248

Figura 6

3. Micrómetro óptico de coincidencia.

Principio de la placa de vidrio.

Con los dispositivos anteriores sólo se puede apreciar el minuto o cuando más el medio minuto. Es posible aumentar la apreciación, adoptando el método óptico el principio de la placa de vidrio que se utilizan varios instrumentos que alcanzan excelentes precisiones.

El sistema se funda en el desplazamiento óptico en sentido contrario de las dos imágenes de la figura anterior, hasta que coincidan las divisiones de una y otra, midiendo el desplazamiento ampliado en un tambor o en una escala.

Se consigue esto intercalando en el recorrido de cada haz de rayos luminosos, una placa de vidrio de caras opuestas, planas y paralelas.

Cuando la placa ocupe la posición 1, el rayo luminoso R la atraviesa sin desviación, pero si se le hace girar un ángulo i será éste el de incidencia y el rayo se refracta, formando con la normal el ángulo r, saliendo de la placa paralelo a la primera posición pero separado de ella una distancia d. La distancia d se puede medir en función del ángulo i de giro de la placa y de las constantes de la misma.

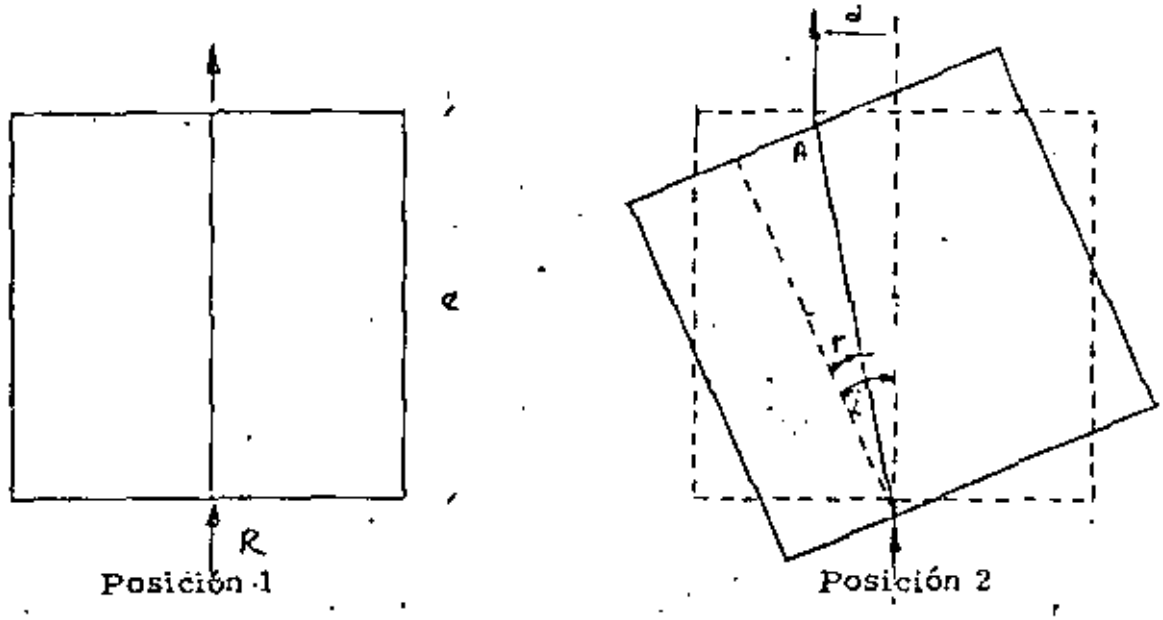


Figura 7

De la figura 2 se tiene:

$$AO = \frac{e}{\cos r}$$

$$d = OA \text{ sen } (i - r)$$

$$d = \frac{e \text{ sen } (i - r)}{\cos r}$$

Como i es un ángulo muy pequeño: sen (i - r) = (i - r) y

cos r = 1, por lo tanto:

$$d = e\,(i - r)$$

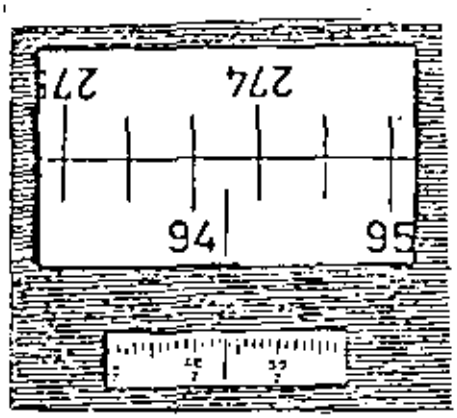
$$d = e\,\frac{i/r - 1}{i/r}\,i$$

$\frac{i}{r} = n$, que es el índice de refracción, por lo tanto:

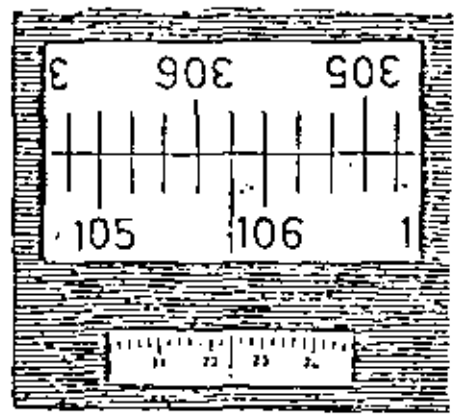
$$d = e\,\frac{n - 1}{n}\,i$$

Lo que quiere decir que la desviación se puede considerar como proporcional al ángulo i.

Si ahora se hace girar a las dos láminas de vidrio intercaladas respectivamente en los haces de rayos luminosos correspondiente a cada una de las imágenes de la figura 6 , el mismo ángulo en sentido contrario, se verá desplazarse los dos sectores del limbo hasta conseguir la exacta coincidencia de sus divisiones, como se muestra en la figura del teodolito Wild T2, donde se aprecia en el micrómetro el desplazamiento de las imágenes que equivale a la fracción de división que se debería apreciar a la estima.



94° 12' 44''



105.8224 g

Figura 8

En la escala del limbo, lo mismo que en la graduación sexagesimal que centesimal, se leen los grados y las decenas de minutos, mientras que los valores unitarios de éstos y los segundos se leen en la escala del micrómetro, junto al limbo y con el mismo microscopio.

En la figura 8 se observá como mediante el giro de un círculo de vidrio graduado se obliga a las dos placas micrométricas a girar en sentidos opuestos, desplazando los respectivos rayos luminosos procedentes de sectores opuestos del limbo hasta lograr la coincidencia de divisiones.

La parte del sector graduado del círculo de vidrio visible por el microscopio corresponde a la escalilla de la figura 8 .

Los dispositivos ópticos simplificados que dan una sola imagen del limbo pueden llevar también micrómetro óptico de coincidencia, que consiste en este caso, en una sola placa de vidrio de caras planas que desplaza la imagen hasta la coincidencia con un índice del retículo.

En todos los casos la desviación máxima del micrómetro, corres

ponde a una división del limbo, por lo que se consigue unicamente la coincidencia indicando el tope, el sentido en que ha de hacerse girar. La lectura da el desplazamiento desde la posición 0 de desviación nula.

A continuación se muestran los esquemas de lectura de los nuevos teodolitos Wild T2, que indican las decenas de minuto en forma digital.

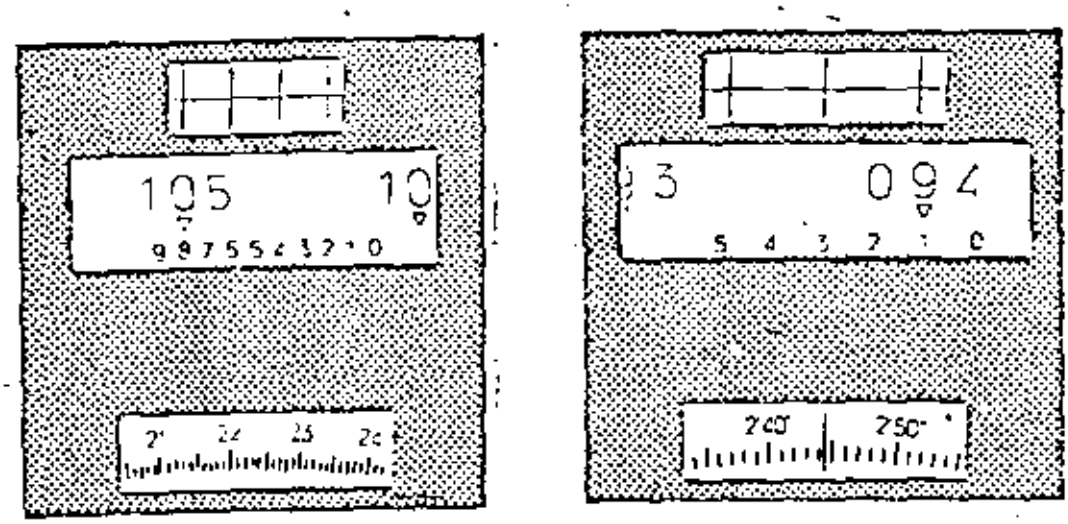


Figura 9

3. DISCO CODIFICADO PARA LECTURAS ELECTRONICAS.

La determinación de los ángulos horizontales y verticales en los tránsitos o teodolitos se puede hacer electrónicamente, transformandolos a lecturas digitales directas por medio de varios códigos binarios, como el que se muestra en la figura 10 , los cuales son impresos en círculos de vidrio y leídos por medios fotoeléctricos, magnéticos o por contacto directo. Las señales son clasificadas electronicamente y los desplazamientos angulares cuyas lecturas son mostradas por medio de pequeños tubos de nixie que corresponden a las lecturas del círculo horizontal y vertical. Los resultados también pueden ser almacenados en cinta magnética, cinta de papel o impresos en tarjetas para su posterior procesamiento en computadora.

El distanciómetro electrónico Reg Elta 14 y el Geodímetro Aga 700, tienen integrados teodolitos digitales y pueden proporcionar las lecturas en tubos nixie de 6 dígitos. Los valores con la información de identificación pueden ser registrados en la cinta.

Los sistemas de lectura electrónica digital directa son de construcción reciente y por la comodidad de su operación y fácil lectura son muy

aceptados en los medios de trabajo. Su construcción ha sido posible gracias al desarrollo que ha tenido la interpretación de códigos de varias clases de transformadores de un sistema a otro y discos codificados.

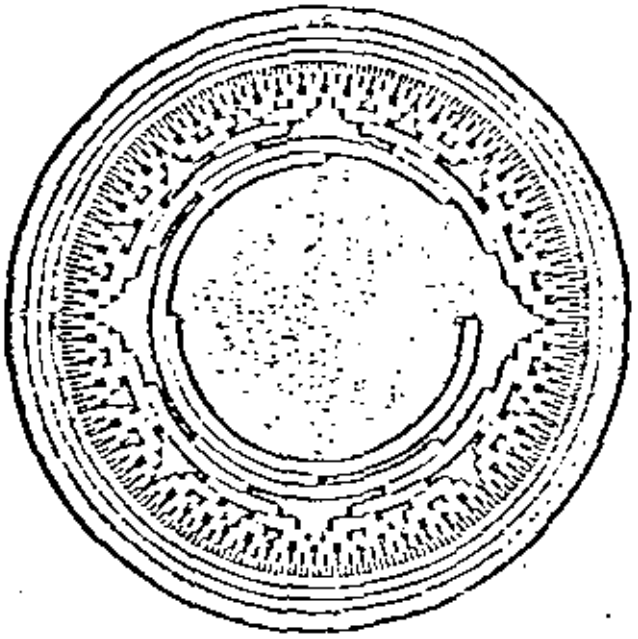
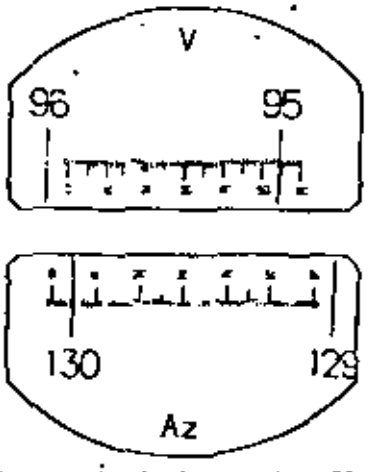


Figura 10

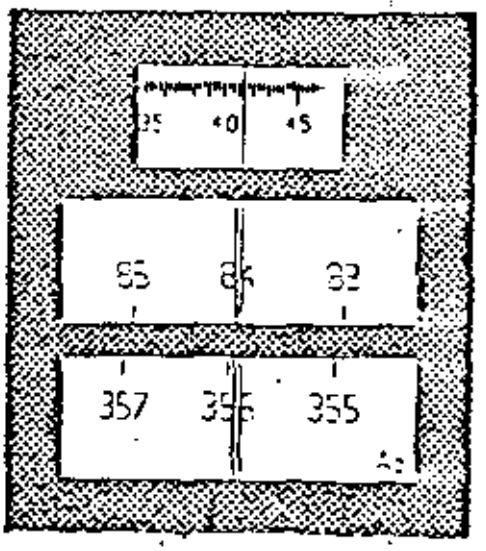
Ejemplos de lecturas

Wild T16



360° Lectura: del círculo vertical 95° 54,4'
del círculo horizontal 130° 04,6'

Wild T1A



Lectura del círculo vertical: 84° 41' 15'' (360°)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

8.1 PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

8.1.1 Generalidades.

En años recientes varios sistemas electrónicos han sido desarrollados con el propósito explícito de medir distancias en topografía. Se han basado en la velocidad invariable de la luz y de las ondas electromagnéticas en el vacío. El primero de estos sistemas, denominado Geodímetro, aportó un valor muy preciso de la velocidad de la luz que difirió en sólo 0.4 de km., de la velocidad determinada por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en el año de 1957 y cuyo valor fue de 299,792.5 km/seg. La invención de este sistema marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

El primer geodímetro, así como todos los modelos siguientes utilizan un rayo de luz modulada para la determinación de distancias. Al final de la década de 1950 fué desarrollado el telurómetro, instrumento que utiliza microondas moduladas. Instrumentos similares al telurómetro fueron construídos en los años siguientes, y éstos junto con el geodímetro llegaron a ser comunes en la medición de grandes distancias.

El desarrollo y perfección de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicas de estado sólido, aportaron nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de distancias. Con estos nuevos recursos fué posible construir instrumentos más portátiles con menos consumo de energía y con más facilidad para operar y leer. Sin embargo, estos instrumentos no tienen el alcance de los antes indicados. Son ejemplos los instrumentos que utilizan luz infrarroja.

Con el estudio y desarrollo de la luz láser ha sido posible en años recientes construir instrumentos para los mismos fines que utilizan luz láser altamente coherente.

En la actualidad, debido a la inversión, precisión de los resultados y facilidad relativa de su operación, los geodímetros y los instrumentos de microondas se usan todavía. Los instrumentos que utilizan luz infrarroja y que, en general son de corto alcance, han tenido éxito notable en la topografía común, pues en muchos casos han eliminado el longímetro con excepción de las distancias muy cortas que se presentan en la topografía de construcción. Los instrumentos de luz laser tienden a desplazar a los dos anteriores, sin embargo, en la actualidad existen serias dudas con relación al daño que puedan causar a los operadores.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para medir distancias, que en lo sucesivo se van a designar como EDM, se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance, pues los instrumen-

tos que se han construido a través del tiempo se han mantenido dentro de ciertos rangos de alcance máximo. Los instrumentos EDM de corto alcance son generalmente los que usan luz infrarroja y llegan a tener hasta 5 km. de alcance. Los modelos más recientes son de lectura digital, peso ligero, poco consumo de energía y algunos tienen adaptado un goniómetro para la medición de ángulos.

Estos instrumentos usan diodos emisores de luz para generar luz infrarroja en la región de los 900 a 930 nm de longitud de onda (fuera del espectro visible).

Algunos instrumentos de corto alcance utilizan como onda de transmisión luz láser visible como el Geodímetro AGA modelo 76.

Un instrumento de alcance medio es aquél que es capaz de medir distancias hasta de 16 km. Estos instrumentos usan varios tipos de ondas de transmisión como luz de tungsteno, luz de mercurio, luz láser y microondas con frecuencias del orden de 10 billionHz ó 10 Gigahertz -- (10 GHz). La mayor parte de los instrumentos de este tipo usan luz láser como onda de transmisión.

Los instrumentos de largo alcance son aquellos capaces de medir distancias mayores de 16 km. Algunos utilizan luz como onda de transmisión y pueden medir distancias hasta de 60 km. con excelente precisión. Los geodímetros y los nuevos instrumentos láser están en este rango; otros utilizan microondas como el telurómetro y el electrotape, éstos últimos llegan a tener un alcance mayor que los primeros.

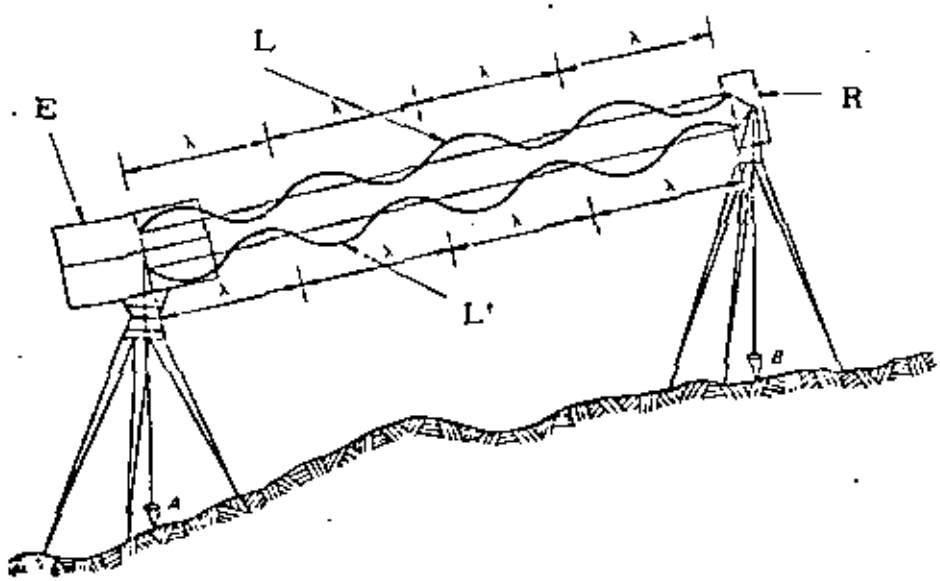
Continuamente se diseñan accesorios y nuevos instrumentos que permiten una mayor variedad de alcances, de tal modo que su optimización va en aumento lográndose poco a poco mejor operabilidad del instrumento, reducción de tamaño, peso y digitalización en las lecturas, tanto de la distancia como de los ángulos horizontales y verticales que le corresponden.

8.1.2 Principio de medición de los instrumentos EDM que usan ondas de luz.

En la figura siguiente:

E : Emisor L : Luz modulada

R : Reflector L' : Regreso de L



En todos los instrumentos EDM que usan tungsteno, mercurio, láser o luz infrarroja como ondas de transmisión, un rayo contínuo de luz es generado en el instrumento emisor. Antes de entrar a las colimaciones ópticas y tener dirigido al reflector que es colocado en el otro extremo de la línea por medir, este rayo contínuo es modulado en intensidad a muy alta frecuencia. La modulación, en efecto, transforma el rayo de arriba en longitudes de onda que están en función directa de la frecuencia de modulación. Esta longitud de onda está dada por:

$$\lambda = \frac{v'a}{f}$$

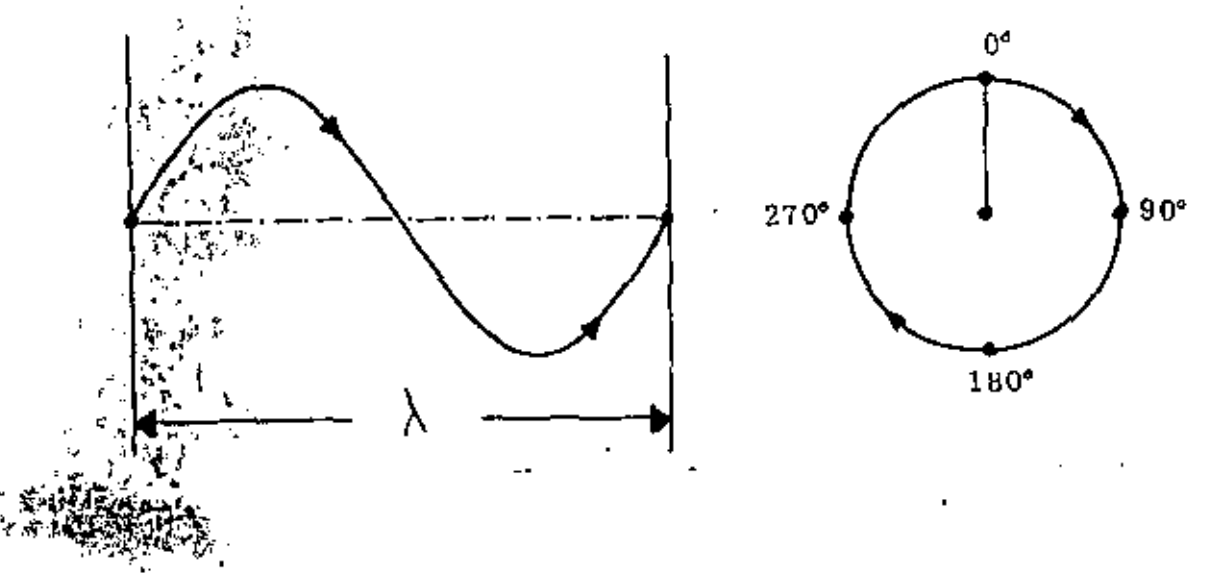
en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros.

$v'a$: es la velocidad de la luz a través de la atmósfera en metros por segundo.

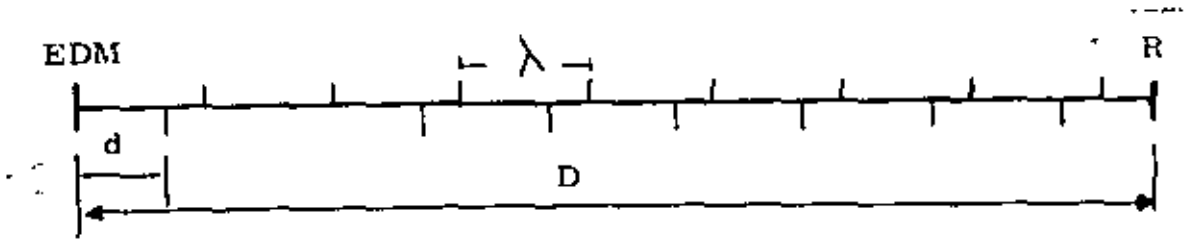
f : es la modulación de frecuencia en hertzios.

El valor de v'a está en función de la temperatura del aire, presión atmosférica y presión parcial del vapor de agua.

La intensidad de la luz modulada varía de 0 al principio de cada longitud de onda, llega a un máximo a los 90°, regresa a los 180°, disminuye hasta un mínimo a los 270° y regresa a 0 a los 360°. La distancia entre 0° y 360° es por lo tanto igual a la longitud de onda completa.



Por esta razón, los instrumentos EDM generan una cinta luminosa para medir, cuya longitud es igual a la longitud de onda de la luz modulada. Por ejemplo, si la frecuencia de modulación es 10MHz y la velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/seg., la longitud de la onda modulada es de alrededor de 30 metros.



En la figura anterior el instrumento EDM está localizado a la izquierda en un extremo de la línea por medir y el reflector R a la derecha ocupando el otro extremo de la línea. El reflector es la esquina de un cubo de vidrio en el cual los lados del cubo son perpendiculares uno al otro dentro de tolerancias muy estrechas. Esta perpendicularidad causa que la luz que llega sea reflejada internamente y salga paralela a ella misma. La esquina del cubo, por lo tanto, constituye un retroreflector. Un número entero de longitudes de onda, más una distancia parcial llamada d integran el total de la distancia del instrumento EDM al reflector y de regreso al aparato EDM. Se observa que si el reflector o el instrumento emisor se mueven hacia atrás o hacia adelante, a lo largo de la línea en una distancia igual a una mitad de longitud de onda o cualquier número de medias longitudes de onda, el valor de la distancia parcial d, será el mismo en cada caso.

Esta distancia parcial es medida en el instrumento con un cierto tipo de medidor de fase. La distancia buscada D entre los dos extremos de la línea, está dada por:

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

en la que: n : es el número entero de longitudes de onda en la doble distancia.

λ : longitud de onda de modulación en metros.

d : distancia parcial.

Una manera en la cual esta ecuación se podría resolver sería tener el conocimiento previo de la longitud de la doble trayectoria hasta la media longitud de onda más cercana, lo cual requiere que la longitud de la línea sea conocida al cuarto de la longitud de onda más cercano. Como esto no es práctico la ambiguedad de n puede ser resuelta utilizando la técnica de las frecuencias múltiples.

Si la medición es realizada conociendo su frecuencia y ésta se repite usando una frecuencia ligeramente diferente, dos valores distintos de d serán leídos en el medidor de fase. Conociendo los dos valores de las longitudes de onda, se obtienen dos ecuaciones similares a la anterior, pudiendo ahora resolverlas simultáneamente y obtener el valor de la incógnita y por lo tanto la distancia D buscada.

La técnica de frecuencias múltiples para resolver la ambiguedad está incorporada dentro de los modernos EDM. Tal sistema en uso común es la técnica de modulación de diez en diez. Suponiendo que una modulación de frecuencia de 15 MHz es establecida en el instrumento, resulta una longitud de media onda de 10 metros. Aceptemos que la extensión completa del medidor de fase esté representando una distancia de 10 metros.

La lectura del medidor de fase entonces da como unidad el metro y parte decimal del metro en la medida de una distancia de 0 a 9.999 m. Por ejemplo en una distancia de 3,485.276 m. esta frecuencia daría la parte 5.276. Cambiando a 1.5 MHz, la media longitud de onda es ahora 100.0 metros, la cual es resuelta por el medidor de fase para dar las decenas de metros, en este caso 80 (8 decenas). La siguiente frecuencia es entonces 0.15 MHz, la cual en unión con el medidor de fase, proporciona las centenas de metros, lo que en este caso es 400 (4 centenas) Finalmente a una frecuencia de 15 KHz dará el número de miles de metros en la distancia la cual en este caso es 3,000 (3 miles).

El instrumento EDM HP-3800 en el cual se lee en pies, emplea la técnica de modulación de diez en diez. El operador primero apunta la óptica del instrumento al reflector colocado en el otro extremo de la línea, usando el telescopio de observación, y manipula un par de tornillos tangenciales para perfeccionar el alineamiento vertical y horizontal. El mejor alineamiento se determina observando un medidor que muestra la intensidad de la señal de regreso. El operador entonces equilibra las intensidades de las señales de salida y de entrada con objeto de asegurar un adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos. Por medio de un switch deslizante se mueve a la primera frecuencia y se sintoniza en el número adecuado de pies y partes decimales y se lee 7.14 pies. Entonces se desliza el switch a la próxima frecuencia más baja y se sintoniza en 10 pies; la siguiente frecuencia de más abajo da 400 pies; y la más baja de todas las frecuencias proporciona 7,000 pies. La distancia medida es por lo tanto 7,417.14 pies.

Como hay gran variedad de instrumentos EDM no es práctico discutir los detalles particulares de operación de cada instrumento. Los fabricantes describen ampliamente la operación de los mismos.

8.1.3 Principio de medición de instrumentos EDM que utilizan microondas.

Los instrumentos de microondas generan superalta frecuencia -- (SHF) u ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente alta en el rango de 3 a 35 GHz, como ondas portadoras. Estas, a su vez, están moduladas a frecuencias que varían de 10 a 75 MHz según el tipo de instrumento. La longitud de onda modulada está dada por:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

en la que: λ: es la longitud de onda de modulación en metros o pies.

Vr : es la velocidad de la microonda a través de la atmósfera en metros por segundo

f : es la frecuencias de modulación en hertzios.

El valor Vr depende de la temperatura, presión atmosférica y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares, que se colocan en los extremos de la línea por medir, éstos son conocidos como instrumento maestro e instrumento remoto. Las observaciones son realizadas en el instrumento maestro, y

en el remoto también debe haber un operador, éste funcionará como reflector de la onda generada por la estación maestra.

El operador en la estación maestra selecciona una frecuencia de modulación en la cual las microondas son transmitidas hacia el instrumento remoto; quien indica al operador en la estación remota por medio de la comunicación del instrumento (está interconstruída en el mismo aparato) qué frecuencia de transmisión está siendo usada. El operador remoto coloca su instrumento a la frecuencia correspondiente. La señal es recibida por el instrumento remoto y es retransmitida a la estación maestra sin demora. Un medidor de fase, en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas emitida y recibida, en un osciloscopio en los primeros modelos de microondas o en forma digital en los más recientes. Esto, en efecto, da la fracción o parte decimal de la longitud de onda por la cual la doble trayectoria, de la estación maestra a la remota, se desvía de un número entero de longitudes de onda. Esto es equivalente a la distancia d ya tratada.

Si cualquiera de los dos, el instrumento maestro o remoto tuvieran que ser movidos sobre la línea por medir, ya sea hacia adelante o hacia atrás, por media longitud de onda modulada, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior. Por lo tanto la ambiguedad que existe en los instrumentos de ondas de luz, se presenta también en los instrumentos de microondas.

La técnica para resolver la ambiguedad en el número de longitudes de onda completas contenidas en la doble distancia, generalmente es la misma como la que se indicó en el EDM a base de ondas de luz.

En el telurómetro, por ejemplo, la modulación múltiple de frecuencias patrón es como se indica:

Patrón A: 10,000 MHz
Patrón B: 9,990 MHz
Patrón C: 9,900 MHz
Patrón D: 9,000 MHz

El patrón A por sí mismo interrumpe la onda de 10 MHz por medio del medidor de fase para dar lo más próximo a 50 pies y la parte decimal de 50 pies contenida en la distancia directa entre la estación maestra y la remota. Una combinación de los patrones A y D resuelve lo más próximo a 500 pies; una combinación de los patrones A y C resuelve lo más próximo a 5,000 pies y una combinación de los patrones A y B resuelve lo más próximo a 50,000 pies. En los instrumentos más antiguos se hacían cálculos para reducir las lecturas del medidor de fase a la distancia deseada, mientras que los instrumentos recientes proporcionan auto-

mática o semiautomáticamente la reducción.

8.1.4 Efectos de las condiciones atmosféricas en la velocidad de la onda.

Las condiciones de la atmósfera que afectan la velocidad de propagación de la luz y las microondas son: la temperatura del aire, presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa, a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Un conocimiento de estos elementos permite una determinación del índice refractor del aire, el cual se debe conocer para calcular la velocidad de la luz o de las microondas, bajo ciertas condiciones meteorológicas dadas.

Para ondas de luz el índice refractivo n_g de aire normal está dado por:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4})\, 10^{-6}$$

en la que: λ_c : es la longitud de la onda de la luz portadora en micras.

Según la clase de luz utilizada en los EDM los valores de λ_c son como sigue:

Ondas de transmisión	λ_c (μm)
Vapor de mercurio	0.5500
Incandescente	0.5650
Laser roja	0.6328
Infrarroja	0.900 - 0.930

El índice de refracción n_a para ondas de luz partiendo de las condiciones del aire normal, puede ser calculado por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)\, p}{273.2 + t} - \frac{1.5026\, e \times 10^{-5}}{273.2 + t}$$

en la que: p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio - (Torr).

t : es la temperatura del aire en grados centígrados.

e : es la presión de vapor en Torr.

Prácticamente para todas las mediciones de distancias con luz, el último término de la ecuación anterior que incluya la presión de vapor, puede ser despreciado, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en las ondas de luz.

La velocidad de las ondas de luz en el aire, Va está relacionada a la velocidad de la luz en el vacío por:

$$V_a = \frac{C}{n_a}$$

El valor de C es 299,792.5 km/seg.

Ejemplo. Un rayo laser rojo con frecuencia modulada de 24 MHz atraviesa la atmósfera, cuya temperatura es 26° C y la presión atmosférica es 759 Torr. ¿Cuál es la longitud de onda modulada de la luz?.

Solución. El índice de refracción del aire normal para la onda de transmisión laser es:

$$n_s = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{0.6328^2} + \frac{0.068}{0.6328^4})\, 10^{-6} = 1.0003002$$

El índice de refracción del aire bajo las condiciones atmosféricas dadas despreciando el último término es:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474\,(1.0003002 - 1) \times 759}{273.2 + 26} = 1.0002738$$

La velocidad de la luz laser a través de esta atmósfera está dada por la expresión:

$$Va = \frac{299.792.5}{1.0002738} = 299710.4 \text{ km/seg.}$$

Finalmente la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{299.710.4}{24 \times 10^6} = 0.01248793 \text{ km} = 12.48793 \text{ m.}$$

El efecto de la presión del vapor de agua, el cual puede se

ciado cuando se trabaja con luz, es muy grande cuando se usan EDM de - microondas. Consecuentemente la humedad relativa debe ser determinada cuidadosamente en el campo, en el momento de la medición.

Un Psicómetro de alta calidad el cual da lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, debe ser empleado para la determinación de la presión del vapor.

El índice de refracción de las microondas n_r, está dado por:

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}\left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right)e$$

En la que p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio. (torr).

e : es la presión del vapor en milímetros de mercurio, en torrs.

t : es la temperatura del aire (bulbo seco) en grados centígrados.

La velocidad de la propagación de las microondas Vr a través de la atmósfera está dada por:

$$Vr = \frac{C}{n_r}$$

Y la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

Ejemplo. ¿Cuál es la longitud de onda en metros, de microondas moduladas a una frecuencia de 10 MHz, si la presión atmosférica es 643 Torr, la temperatura es 23.9° C y la presión de vapor 3.5 Torr?.

Solución.

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{297.1}\,(643.0 - 3.5) + \frac{86.26}{297.1}\left(1 + \frac{5748}{297.1}\right)3.5 = 243.4$$

y $n_r = 1.0002434$. Con la ecuación:

$$Vr = \frac{299,792.5}{1.0002434} = 299,719.5 \text{ km/seg.}$$

Finalmente con la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,719.5}{10 \times 10^6} = 0.02997195 \text{ km} = 29.97195 \text{ m.}$$

Las ecuaciones dadas para la determinación del índice de refracción se presentan en diferentes formas en varios artículos y publicaciones. Hay ligeras e insignificantes variaciones en los resultados obtenidos por medio de las diferentes expresiones o fórmulas.

Las fórmulas tratadas con anterioridad permiten al lector apreciar la importancia relativa de la temperatura, presión y presión del vapor en ambos casos, luz y microondas.

Los efectos de las condiciones atmosféricas son tratados de varias maneras en los diversos sistemas de EDM.

Las correcciones son pequeñas para distancias cortas, cuando se emplean EDM a base de ondas luminosas. Para líneas más largas un error de 10° C en la temperatura efectiva de la trayectoria del rayo, introduce un error relativo de 10 ppm y un error de 25 mm de mercurio, en la medición de la presión atmosférica también introduce un error relativo de 10 ppm.

Las correcciones en cualquiera de los dos casos son calculadas en base a los datos meteorológicos determinados al momento de medir, o también el circuito del instrumento es modificado para considerar las condiciones atmosféricas dentro del cálculo.

En el instrumento HP-3800, por ejemplo, las correcciones del medio ambiente se marcan en una carátula dentro de la unidad de potencia. Esto cambia la frecuencia modulada con objeto de mantener una longitud de onda constante a cualquier temperatura y presión. En el caso de los instrumentos EDM de microondas, la presión parcial del vapor de agua obtenida por las lecturas termométricas del bulbo seco y húmedo debe ser determinada con buena precisión. Un error de 2 mm en la presión del vapor o un error de 1.5° C en la diferencia entre la temperatura del bulbo seco y húmedo producirán un error relativo aproximado de 10 ppm a temperatura normal. Este error relativo crece con un incremento en la temperatura del aire. Suponiendo que las condiciones meteorológicas hayan sido determinadas satisfactoriamente, las correcciones para las distancias medidas se hacen fácilmente con la ayuda de varias gráficas, tablas o nomogramas, que son suministrados con los instrumentos.

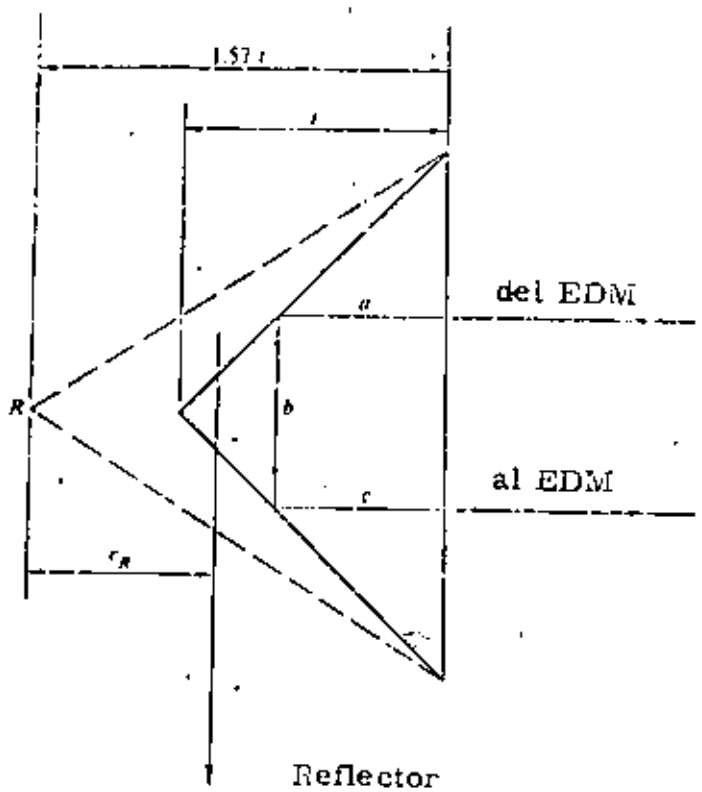
Si se usa un barómetro aneroide para determinar la presión atmós

férica, la lectura de elevación en metros o pies debe ser convertida al valor apropiado de presión en milímetros o pulgadas de mercurio. Esta conversión se hace usando gráficas o tablas suministradas por el fabricante del instrumento.

La tabla siguiente puede ser usada para convertir metros de elevación a milímetros de mercurio y recíprocamente.

8.1.5 Errores instrumentales en los EDM.

Si un instrumento EDM moderno es adecuadamente sintonizado, hay muy pocas causas de errores instrumentales que necesiten corrección. Un error conocido como "constante del reflector" es causado por no tener el centro efectivo del reflector plomeado en el extremo lejano de la línea. Este tipo de error se muestra en la figura siguiente para el caso de un reflector cúbico. La distancia a través de la cual viaja la luz en el cubo de vidrio durante la retrorreflexión es a + b + c, la que a su vez es igual a 2t. La distancia t se mide desde la superficie del reflector hasta la esquina del cubo de vidrio. La distancia equivalente en el aire a través de la cual la luz viaja es 1.57 x 2t, debido al índice de refracción del vidrio. La esquina efectiva del cubo está en R y representa el final de la línea. Si la línea de la plomada pasara verticalmente enfrente del punto R, entonces un error C_R se introduciría en la distancia medida de la línea, y en este caso la distancia C_R tendría que ser restada. La constante del reflector es eliminada mediante la posición adecuada del centro eléctrico del EDM y del prisma de reflexión en su montura.

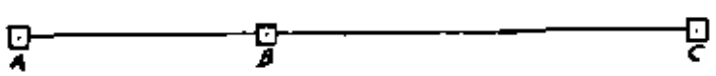


Un error similar se presenta en la estación remota de un sistema de microondas. Si el centro eléctrico no está sobre la línea vertical del instrumento, en este caso un error constante se introduce en cada medición. Un error sistemático se introducirá si la línea de la plomada en el aparato transmisor no pasa a través del centro eléctrico del instrumento. Este es idéntico al error en el extremo remoto de los sistemas de microondas. Dos métodos pueden ser empleados para determinar el valor de este error.

En el primero, se establece una línea lo más larga posible y se mide usando una cinta invar, de acero, o con un EDM de onda de luz, conocida la constante del reflector. Debido a la precisión inherente de los EDM, esta línea debe ser medida con un alto grado de precisión. Si la distancia conocida es medida con el EDM, la distancia corregida por condiciones meteorológicas, por la constante del reflector e inclinación de la línea, debe concordar con la distancia establecida. La diferencia entre las dos da el valor de la constante del instrumento C_1.

Cuando se usa el sistema de microondas, la constante de la estación maestra puede ser combinada con la constante de la estación remota y proporcionar un valor único para aplicarlo a cada distancia medida. Esta constante combinada se obtiene midiendo a lo largo de una distancia conocida y haciendo la comparación correspondiente como se indicó con anterioridad.

Si una línea base confiable no está disponible y si no es factible medir una línea, un segundo método puede ser aplicado para determinar la constante del instrumento. En la siguiente figura, tres puntos A, B y C, se localizan sobre una línea recta.



El EDM ocupa el punto A y se miden las distancias AB y AC. Se traslada el EDM al punto B y se mide la distancia BC. Estas tres mediciones se corrigen debido a las condiciones meteorológicas constantes del reflector (en el caso de un instrumento de onda de luz) e inclinación. Entonces si C_1 es la constante del instrumento o la constante maestra remota combinada:

(medida AB + C_1) + (medida BC + C_1) = medida AC + C_1, dando C_1 = medida AC - (medida AB + medida BC).

Los instrumentos y reflectores actuales llegan a estar tan bien calibrados en el momento de la fabricación, que las pequeñas constantes del instrumento y del reflector se conocen con precisión. Generalmente están reducidas a cero en el proceso de fabricación. La determinación de las constantes en el terreno generalmente no se requiere. La determinación del valor C_1 se hace bajo la suposición de que el instrumento está adecuadamente sintonizado para dar la modulación de frecuencia correcta.

Un error en la frecuencia produce un error de escala tal como la longitud de la cinta incorrecta, discutida con anterioridad. Por ejemplo, si la modulación de frecuencia correcta es 10 MHz y si la verdadera frecuencia se desvía de ésta por 100 Hz, un error relativo de 10 ppm afecta cada medida. Las frecuencias pueden ser comprobadas por medio de un contador de frecuencia. Una comprobación de frecuencia deberá ejecutarse a intervalos regulares, particularmente si se ejecutan levantamientos de alta precisión o estos tienen líneas muy largas. Alternativamente, si el EDM se comprueba regularmente con una distancia conocida, aplicando correcciones por constantes del instrumento y del reflector, condiciones meteorológicas e inclinación, se puede detectar un cambio de frecuencia.

8.1.6 Reflexión de microondas terrestres.

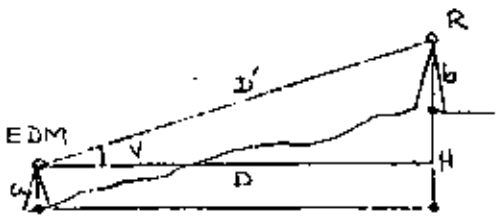
El EDM de microondas tiene un rayo relativamente amplio. Consecuentemente, las ondas que viajan de un extremo al otro de la línea, pueden tener reflexiones importantes originadas por el terreno entre las estaciones, particularmente si este es plano y libre de vegetación gruesa.

Las ondas reflejadas pueden introducir serias alteraciones cuando las mediciones se hacen sobre el agua. Las ondas reflejadas en este caso son causantes que se obtenga una distancia defectuosa, debido a que viajan sobre trayectorias más largas que los rayos directos. Si se hace una serie de lecturas finas como se toman las del modelo A del telurómetro, cada una con una frecuencia diferente y si hay fuertes reflexiones, estas lecturas variarán en forma cíclica. Si las lecturas se grafican, como una función de la frecuencia portadora, idealmente toman la forma de una curva senoidal. La variación cíclica en las lecturas finas se llama oscilación. La interpretación de la curva de oscilación que representará el mejor valor es cuestión de experiencia y criterio. Generalmente un promedio de las lecturas finas, será lo suficientemente preciso para la mayoría de las mediciones.

8.1.7 Reducción al horizonte de la distancia inclinada.

Algunos modelos recientes proporcionan distancia inclinada, distancia horizontal y distancia vertical, por lo que la reducción al horizonte es innecesaria, sin embargo, para aquellos modelos que no realicen automáticamente esta operación se procederá como sigue:

Cuando no se conocen las elevaciones de la estación E.D.M. y del prisma R:



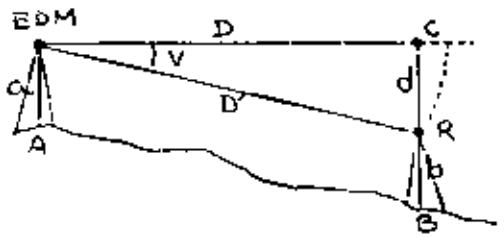
$$D = D' \cos V$$

$$H = D' \operatorname{sen} V + a - b$$

En la figura:

E.D.M.: Estación emisora.
R : Estación reflectora.
D' : Distancia inclinada
D : Distancia horizontal.
H : Distancia vertical.
a : Altura del punto eléctrico EDM.
b : Altura del punto de reflección R.
V : Angulo vertical.

Cuando se conocen las elevaciones de las estaciones:



En la figura:

C : Corrección aplicada a D' para obtener D.
A : Estación EDM.
B : Estación del reflector.

$$C = D' - D$$
$$d^2 = D'^2 - D^2$$
$$d^2 = (D' - D)\,(D' + D)$$
$$d^2 = C\,(D' + D)$$

$$C = \frac{d^2}{2D} \quad \text{aprox.}$$

En la que:

d = (cota A + a) - (Cota B + b)

$$D = D' - C$$

INSTRUMENTOS PARA MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Geodímetro 12	a	1	1	1,600	3
Geodímetro 7T		1	1	500	11
Distomat DI 10	a	2	1	2,000	18
Distomat DI 3	a, c	2	1	900	7
Distomat DI 3S	a, c	2	1	1,500	7
DM 2000		3	1	2,500	11
DM 500	a	3	1	500	2
SM 11	b, c	4	1	2,000	20
Reg Elta 14	b, c, d	4	1	2,000	20
Eldi 1		4	1	5,000	8
Eldi 2		4	1	3,000	4
Eldi 3		4	1	1,500	4
SM 4		4	1	2,000	8
HP-3800		5	1	3,000	8
HP-3805		5	1	1,600	8
HP-3810	b, c	5	1	1,600	12
Micro-ranger	a	6	1	1,600	6
DM 60 Cubitape		7	1	2,000	7
MA 100		8	1	2,000	14
CD 6	a	8	1	2,000	4
Beetle 500	a	9	1	500	3
SDM 3H		10	1	1,600	17
SDM IC		10	1	1,600	6
Akkuranger MK-II		11	1	1,350	-
Distomat DI 4	a, c	2	1	2,000	-
Taquimat TC 1	b, c, d	2	1	2,000	-
Geodímetro 76		1	2	3,000	8
Geodímetro 710	b, c	1	2	5,000	14
Geodímetro 6BL		1	2	25,000	15
Geodímetro 8		1	2	60,000	23
Geodímetro 700		1	2	500	14
Ranger I		6	2	4,000	16
Ranger II		6	2	6,000	16
Ranger III		6	2	12,000	16
Ranger IV		6	2	12,800	16
Rangemaster		6	2	60,000	30

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Distomat DI 50		2	3	50,000	19
DM 20 Electrotape		7	3	50,000	12
CA 1000		8	3	30,000	3,5
MRA-3		8	3	80,000	2
Geodímetro 6A		1	4	25,000	16
Mekometer ME 3000		3	5	3,000	15

C. Características:

a: E.D.M. Unidad montada sobre un teodolito común.
b: El círculo horizontal y vertical están integrados en la unidad E.D.M.
c: Integrado en la Unidad el reductor automático de la distancia horizontal y diferencia de elevación.
d: Unidad para perforar cinta para computadora.

F. Fabricantes:

1. Aga, Suecia.
2. Wild, Heerbrugg Suiza.
3. Kern, Aarau Suiza.
4. Zeiss, Oberkochen, Alemania Federal.
5. Hewlett-Packard, U.S.A.
6. Keuffel and Esser, U.S.A.
7. Cubic Corporation, U.S.A.
8. Tellurometer (Plessey) Corp. U.S.A.
9. Precision International, U.S.A.
10 Sokkisha, Tokio, Japón.
11 Scintrex, Ontario, Canadá.

O.P. Onda portadora:

1. Infrarroja.
2. Laser.
3. Microonda.
4. Vapor de mercurio
5. Xenón.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

La Topografía tiene por objeto efectuar las mediciones y cálculos necesarios para representar un cuerpo o una porción de terreno en una superficie plana, de acuerdo a una orientación que puede ser astronómica, magnética o respecto a alguna línea convencional.

La Topografía prescinde de la clase de materia que constituye a los cuerpos o terrenos y solo se ocupa de ellos en lo que concierne a sus dimensiones, considerando solamente algunas relaciones comunes que permiten sustituirlos por un esquema ideal llamado figura geométrica. Así por ejemplo, si se tiene un terreno horizontal, plano y limitado por cuatro lados rectos, este terreno, se puede representar por la figura llamada "cuadrilátero" y por lo tanto, se pueden hallar las relaciones afines a esta figura y consecuentemente al terreno en estudio. Por la relación tan estrecha que existe entre la Topografía y la Geometría es recomendable un buen conocimiento de esta última ciencia para una buena preparación en el conocimiento de los métodos topográficos.

1. ELEMENTO GEOMETRICO.

Es un elemento simple y con características propias que sirve para formar o definir diversas composiciones geométricas. Los elementos geométricos son en su división más simple: puntos, líneas, ángulos, superficies y espacios.

Punto. Es un lugar geométrico que no tiene dimensión, solo posición.

Línea. Es un conjunto ordenado de puntos. Las líneas pueden ser rectas o curvas.

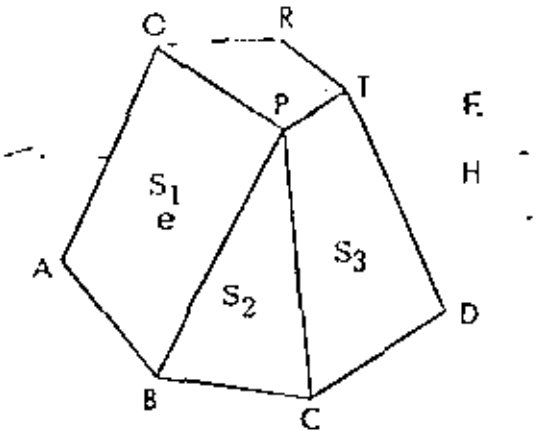
Angulo. Es la abertura entre dos rectas que se cortan en un punto llamado vértice.

Superficie. Es un elemento geométrico que divide a dos regiones o espacios.

Espacio. Es un conjunto de puntos contenidos en una región limitada por varias superficies.

1.1 Cuerpo geométrico.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos. Los elementos de un cuerpo geométrico en el espacio son:

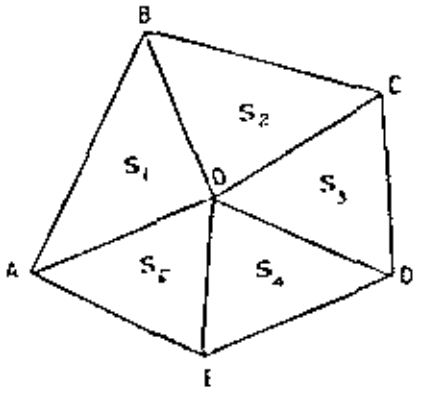


Puntos: A, B, C, D	N
Líneas: AB, BC, CD	MN
Angulos: A, B, C, D	N
Superficies: S_1, S_2, S_3	Sn
Espacios: exterior E, e interior	e

1.2 Polígono.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos enlazados que sirven para representar un objeto o una porción de terreno. En este caso el conjunto de elementos geométricos tiene posición relativa, lo que implica el concepto de orientación que puede ser magnética, astronómica o relativa a algún otro elemento.

A los elementos geométricos de los polígonos les corresponden magnitudes o valores que son:



Elementos geométricos	Magnitudes
Puntos	Coordenadas
Líneas	Distancias
Angulos	Angulos
Superficies	Areas
Espacios	Volúmenes
Orientación	Azimut

Coordenadas. Es una terna ordenada de número que sirven para indicar la posición en el espacio, de los puntos de una cadena topográfica; generalmente se les designa con las letras X, Y, Z.

Distancia. Es el número de unidades, de longitud que contiene

una línea limitada por dos extremos.

Angulo. Es el número de unidades que contiene la abertura entre las líneas que lo forman.

Area. Es el número de unidades cuadradas que contiene una porción de superficie. Esta porción puede estar limitada por líneas rectas o curvas.

Volumen. Es el número de unidades cúbicas que contiene un espacio limitado por superficies planas o curvas.

Azimut. Es un ángulo formado por alguna línea de la línea de referencia llamada meridiana.

1.3 Sistema de referencia.

Elementos de referencia.

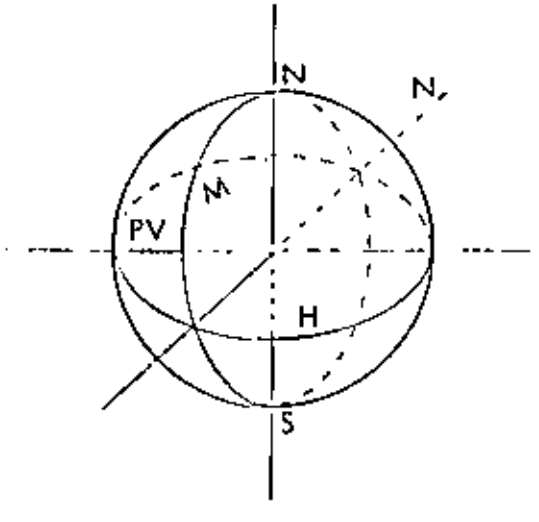
Vertical del lugar. Es la dirección que sigue la plomada en el lugar considerado.

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical del lugar.

Plano meridiano. Es un plano formado por el eje terrestre y la vertical del lugar. Es perpendicular al plano del horizonte.

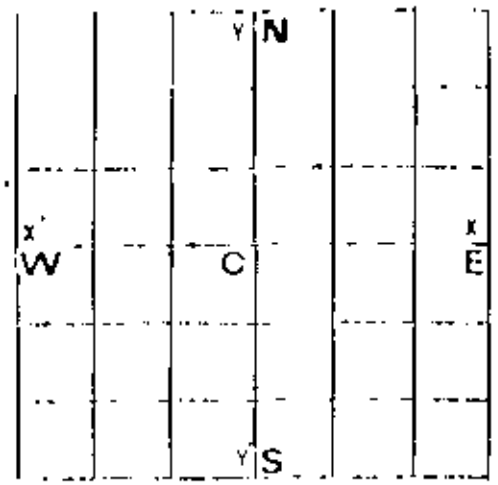
Primer vertical. Es un plano perpendicular al plano del meridiano y también al plano del horizonte.

El sistema de referencia está definido por tres ejes que se cortan perpendicularmente entre ellos y son: el eje X, el eje Y y el eje Z.



Eje X es la intersección del primer vertical con el plano del horizonte.

Eje Y es la intersección del meridiano con el plano del horizonte. Es coincidente con la meridiana.



Los extremos del eje X reciben el nombre de ESTE y OESTE.

Los extremos del eje Y reciben el nombre de NORTE y SUR.

Los cuatro puntos se indican con las letras N, S, E, W, respectivamente.

El plano de referencia queda dividido en cuatro regiones o cuadrantes que son: el Nor-Este (NE), el Nor-Oeste (NW) y el Sur-Este (SE) y el Sur-Oeste (SW).

2. MAGNITUDES.

Teniendo en cuenta los elementos geométricos que intervienen en las poligonales topográficas, se tienen las siguientes magnitudes:

2.1 Coordenadas.

X. Si la poligonal es lineal; por ejemplo un alineamiento recto.

X, Y. Si la poligonal es planimétrica, por ejemplo las figuras geométricas, que es el caso más común en la topografía tradicional.

X, Y, Z. Si la poligonal es tridimensional, es decir, que se tratan simultáneamente los elementos planimétricos y altimétricos. Algunos lenguajes de computación topográfica pueden resolver el problema en esta forma.

2.2 Distancias.

Inclinada. Es la contada sobre la línea que pasa por la estación y el punto observado y limitada por estos puntos. En Topografía es poco empleada.

Horizontal. Es la que tienen las dimensiones de la poligonal -

rpoyectadas en el plano horizontal. Son las distancias que se usan en Topografía, de tal manera que cuando se habla de "distancia" en estaciencia, se entiende que es "horizontal".

Vertical. Es la que tienen los puntos de la poligonal, contada desde una superficie horizontal de referencia, hasta el punto que se trata y sobre la línea vertical de proyección.

2.3 Angulos.

Horizontal. Es el ángulo diedro formado por los planos verticales que pasan por los extremos del ángulo (extremos observados) y por su vértice (estación).

Vertical. Es el ángulo contado desde el plano del horizonte que pasa por la estación hasta el punto observado, contado sobre el plano vertical que contiene a estos puntos.

De liga. Es el ángulo que relaciona a la poligonal con el sistema de referencia; puede ser el Azimut o el Rumbo, magnético o astronómico.

Azimut.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte de la meridiana, hasta el punto observado, sobre el plano del horizonte y en el mismo sentido del movimiento de las manecillas de un reloj. Se mide de 0 a 360° ó de 0 a 400 grados centesimales.

Rumbo.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte o Sur de la meridiana, hasta el punto observado sobre el plano del horizonte, hacia el Este o el Oeste. Se mide de 0 a 90° ó de 0 a 100 grados centesimales.

2.4 Areas.

En Topografía solo interesan las áreas horizontales y verticales, se determinan por cálculo, en función de las demás magnitudes de la figura.

2.5 Volúmenes.

Interesan los volúmenes limitados por la superficie natural del terreno, el plano horizontal de referencia y los planos verticales que pasan por los lados. En Topografía los volúmenes se determinan por cálculo.

3. INSTRUMENTOS.

Un instrumento de topografía en su concepto más general es un conjunto de elementos ópticos, mecánicos y electrónicos que sirven para determinar en el terreno o en el plano las magnitudes que intervienen en la topografía y en muchas ocasiones las posiciones de puntos en la superficie terrestre.

A continuación se indican algunos:

Magnitudes	Instrumentos
Coordenadas:	Coordinatógrafos ortogonales y polares.
Distancias:	Alineadores de pínula, alineadores de prisma, podómetros, ruedas, perambuladoras, cadenas de agrimensor, longímetros, telémetros, estadias, distanciómetros electrónicos, equialtímetros y altímetros.
Angulos:	Escuadras de Agrimensor, escuadras de espejos o reflexión, escuadras de prisma o refracción, goniógrafos y goniómetros.
Areas:	Planímetros.
Volúmenes:	En topografía no existen instrumentos para determinarlos. Se calculan en función de otras magnitudes.
Orientación y Posición:	Astrolabios, giróscopos y posicionadores inerciales. Se utilizan para dar orientación y posición geográfica.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

El coordinatógrafo es un instrumento diseñado para establecer o medir coordenadas. Su solución mecánica consiste básicamente en la materialización de ejes cartesianos o polares. Se fabrican para lograr diversas precisiones, por lo que vienen dotados con varias escalas, vernieres, microscopios para lecturas y accesorios para realizar diferentes trazos sobre la base de redacción.

Se distinguen dos tipos de coordinatógrafos: ortogonales y polares.

A continuación se describen algunos de los más conocidos y los accesorios que se utilizan para dibujar o grabar en papel o plástico recubierto (stabilene).

1. COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO H. S. A.

El graficado de puntos para producir una cuadrícula de apoyo para cualquier plano es una tarea mecánica y repetitiva, que puede ser resuelta mediante el coordinatógrafo de escalas, sin embargo, el trazado se puede realizar con mejores resultados mediante el coordinatógrafo ortogonal maestro, que consiste en una lámina de metal invar, con perforaciones correspondientes a los puntos de cuadrícula. La calidad del metal y el terminado anodizado le proporciona rigidez y limpieza en el uso, así como la precisión original de los orificios.

Los puntos se pican con un picógrafo manual, en el cual una guía embona perfectamente en los orificios y además permite ajustar el tamaño de la marca picada.

El uso combinado del coordinatógrafo maestro y un coordinatógrafo sencillo de escalas supera en muchos casos a un instrumento graficador, porque obtiene una superficie de trabajo mayor.

Se fabrican en los siguientes tamaños:

100 x 700 y 500 x 400 mm, con orificios a intervalos de 100 ó 50 mm y 40 x 30 pulgadas, con orificios a intervalos de 5 pulgadas.

2. COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO H. S. A.

Escalas: Sistema métrico:	1:500	1:1000	1:2000
Lecturas de escala: distancia de	0.05 mm,	0.0025 pulgadas	

círculo de 400^g, lectura hasta 5^g, estimación de 1^c.
círculo de 360°, lectura hasta 2', estimación de 1'.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor.

Las características mecánicas de este coordinatógrafo son las siguientes:

- Guía de distancia y patines de acero inoxidable.
- Tornillos ajustadores para centrar el instrumento sobre el punto origen.
- Tornillos micrométricos para colocar con precisión los valores angulares y de distancia.
- Soportes de baleros para todos los movimientos.
- Superficie de trabajo de 400 mm de radio.
- División del círculo en 400^g o 360° . Se fabrican también con los dos sistemas.

3. COORDINATOGRAFOS ORTOGONALES DE ESCALAS.

3.1 Modelo 1200 x 1200 mm. H.S.A.

La precisión gráfica es de 0.04 mm (0.0015 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. La precisión es mayor para distancias menores. Un intervalo en el disco corresponde a un movimiento del carro de 0.005" (estimación de 0.001").

Con la integración del taladro con el microscopio (amplificación 7x) en una unidad, se eliminan los errores causados por el uso de múltiples aditamentos ópticos y de perforación.

Este instrumento viene provisto de cintas sin-fin ajustables, de acero inoxidable con numeración espaciada, una mesa con marco de acero tubular que apoya la tabla de dibujo y una caja de 1.930 x 0.609 m. x 0.1524 m para guardar los rieles.

Es un instrumento muy preciso porque no tiene cremalleras ni piñones. Los mecanismos de conteo con discos son fácilmente intercambiables para cada escala.

Para el trabajo que requiere iluminación interior, este coordinatógrafo puede ser habilitado con una mesa iluminada. Esta mesa especial está fabricada con marco tubular de cuatro patas y apoya 2 placas de

vidrio que forman la superficie para dibujo. El equipo de iluminación está instalado en una caja y consta de tubos fluorescentes estabilizadores y un ventilador. La totalidad del área de placa de vidrio es de 1320 x 1320 mm, con iluminación uniforme por debajo.

Este instrumento puede usar un aditamento para dibujar ángulos de tal modo que multiplica sus posibilidades mecánicas, entre las que se cuentan:

- Dibujar líneas oblícuas a cualquier ángulo dado.
- Poder colocar los puntos angulares en cualquier parte de la región de trabajo del coordinatógrafo. Esto no afecta la relación con el sistema coordenado rectangular.
- Permitir mediante el sistema óptico, lecturas directas de 1' y estimaciones de 10".
- Poder usar los mismos accesorios del coordinatógrafo en este aditamento.

3.2 Modelo 400 x 240 mm H. S. A.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en las direcciones X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado del carro de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumento para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las características mecánicas siguientes:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Las graduaciones y la numeración están en celuloide blanco y libre de reflejos.
- Tornillos micrométricos para la colocación precisa de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.3 Modelo 550 x 500 mm H. S. A.

La precisión gráfica es de ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumen

to, para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las siguientes características mecánicas:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Graduaciones en celuloide blanco, libre de reflejos y con vernieres de vidrio.
- Cintas de escala móviles.
- Tornillos micrométricos para el posicionamiento preciso de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.
- Posibilidad de acoplarle un compás radial.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.4 Modelo 90 x 120 EA-F.

Esta variante se usa principalmente como mesa trazadora para hacer mapas en unión con el Stereometrograph. La caja de engranes se localiza en la pared posterior de la mesa trazadora. Bajo la caja de velocidades (caja de engranes) dispositivos síncronos (selsyn) están adosados, así que la mesa trazadora se acciona electrónicamente por el graficador. Las manivelas y contadores digitales, si se quiere, pueden ser colocadas en el lado frontal. Flechas articuladas aseguran la conexión mecánica desde la caja de engranes a las manivelas. Debido a esta prolongación, el coordinatógrafo de precisión cambia de modelo para convertirse en el 90 x 120 EZ-F, y en esta forma puede ser usado como una unidad separada. Conectando el instrumento registrador electrónico Coordimeter F, el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 EZ-F, debe estar suplementado con una fuente de poder autosíncrona (selsyn) y una caja de conexiones.

En este caso la combinación se designa como 90 x 120 EC-F.

3.5 Modelo 90 x 120 MA-F.

Este tipo no está equipado con una caja autosíncrona (selsyn) y así puede estar conectado a trazadores en forma mecánica solamente. La conexión mecánica del coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MA-F, a los graficadores estereográficos Techcart y Topocart por medio de flechas articuladas. Este equipo no está en particular provisto con manivelas y contadores digitales de coordenadas, pero se les puede adicionar si así se requiere. Por esta ampliación la designación 90 x 120 -

MZ-F, se aplica al coordinatógrafo de precisión que puede emplearse para hacer mapas sin usar un graficador.

La caja de engranes está localizada en el lado posterior de la mesa.

3.6 Modelo 90 x 120 MK-F.

La caja de engranes con manivelas y los contadores digitales de este coordinatógrafo de precisión están colocados en la parte frontal. Este coordinatógrafo no es adecuado para conectarlo a instrumentos graficadores. Se usa exclusivamente como una unidad separada.

Sus aplicaciones incluyen: la producción de modelos para retículas y placas de prueba en las industrias ópticas y de precisión. Valores calculados y medidos sobre mapas suministrados en forma tabular para la representación en diagramas, curvas y escantillones.

3.7 Modelo 90 x 120 MS-F.

La unidad básica es la misma que la usada con el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MK-F. El equipo está adaptado a las técnicas de corte para subestratos de emulsión con laca en bandas o en hojas (método por bandas). Incluye los siguientes accesorios:

Herramientas de corte, dispositivo para corte en forma circular con radios hasta de 120 mm, dispositivo para corte circular con radios desde 110 hasta 300 mm, reglas graduadas para cortes de líneas oblícuas, dispositivo afilador para las herramientas de corte, proyector para localizar los puntos. Para corte de círculos los carros X e Y pueden ser sujetados para aumentar la estabilidad.

3.8 Modelo Z-2 Zeiss.

Es un instrumento de precisión complemento del Estereoplanígrafo C-8 y que puede ser usado individualmente como coordinatógrafo manual o en combinación con el graficador electrónico Koordimat operado con tarjetas perforadas.

Puede ser utilizado para picar puntos, gravar líneas con punzón, dibujar líneas y círculos con minas de grafito y dibujar círculos con bolígrafo.

Tiene instrumentos adicionales como un contador de presión para el registro mecánico de las coordenadas X, Y, Z, número de puntos y símbolos en bandas de papel en zig zag o en hojas unitarias de formato-

DIN - A 4 si es necesario con papel copia.

Precisión en las lecturas de coordenadas X, Y:

a) en escalas (aproximación de 0.1 mm)
b) en contadores giratorios iluminados (aproximación de 0.02 mm)

Tiene una superficie utilizable en placa de vidrio de 1200 x 1200 - mm.

3.9 Koordimat - Coordinatógrafo controlado por tarjetas perforadas.

El equipo se compone del coordinatógrafo de precisión Z2 con servocontrol eléctrico, instrumento de coincidencia, armario de control y - perforador de tarjetas IBM. Sirve para el dibujo automático de puntos cuyas coordenadas rectangulares "x" e "y" hayan sido registradas en tarjetas perforadas. Si en lugar del imán elevador se utiliza el cabezal impresor St2, es también posible identificar automáticamente los puntos dibujados mediante tarjetas perforadas, con un número de cuatro dígitos y un - símbolo.

Cabezal impresor St2.

Utilizable en lugar del imán elevador en el Z2 para identificar automáticamente puntos aislados mediante un número de cuatro cifras y un - símbolo discrecional.

Dispositivo retrolector de coordenadas para el Koordimat.

Con este dispositivo, compuesto del proyector EP para mesa de dibujo, un panel adicional para el armario de control, un dispositivo de conmutación para el instrumento de coincidencia y una unidad de salida de tarjetas para el perforador de tarjetas, también se puede emplear el Koordimat para registrar en tarjetas perforadas las coordenadas de los puntos ya dibujados (por ejemplo, para fines catastrales).

3.10 Accesorios para Coordinatógrafos H. S. A.

Existen varios accesorios intercambiables con el estilete-microscopio, diseñados para grabar en diferentes materiales.

A continuación se describen algunos:

a) Compás giratorio para marcar círculos con diámetros de 0 a -- 0.5 mm ó a 0.2 pulgadas.

Se presentan con agujas de punta de acero o de zafiro para grabar en materiales revestidos.

b) Buriles y cojinete de centrado para grabar cuadrículas rectangulares y cualquier línea en X e Y.

El cojinete de centrado es intercambiable con el estilete-microscopio y sostiene los dispositivos de grabado en una posición vertical. Un disco fijador evita que gire.

El grosor de las líneas de grabado debe tenerse en cuenta al seleccionar el accesorio.

Existen las siguientes clases de buriles para grabar en distintos materiales:

- Para vidrio recubierto: buriles de acero.
- Para película recubierta: buriles con punta de zafiro.
- Para metal: grabadores lineales, cónicos con punta de metal duro y pesas adicionales.

c) Soporte para afilar los buriles.

Se utiliza para reafilar con precisión los buriles de acero o ángulos correctos. Un excéntrico ajusta y a la vez arregla el buril.

Este accesorio se suministra con la piedra de afilar junto con el anillo para grabar en vidrio revestido.

d) Eje con punta de diamante.

Cuando se preparan dibujos de referencia muy precisos en vidrio o en la manufactura de modelos metálicos, el eje con punta de diamante se puede usar para marcar directamente sobre el material en cuestión. El aditamento del estilete de punta de diamante es intercambiable con el estilete-microscopio en los coordinatógrafos tratados.

El eje trabaja en soportes con baleros y puede girar manualmente. Su lado más bajo está provisto con un soporte ajustable para la punta de diamante en forma piramidal.

Un aditamento para freno permite el ajuste del tamaño del punto.

El aditamento del estilete con punta de diamante del coordinatógrafo 550 x 500 mm, el estilete-microscopio y la pluma de dibujo descansan sobre la placa de vidrio.

e) Compases radiales.

Para dibujar arcos circulares existen compases radiales para los coordinatógrafos de 1200 x 1200 mm y 550 x 500 mm.

El compás gira en un eje rematado en punta, el cual está unido al centro del mango del microscopio. El radio requerido se establece por medio del desplazamiento del vernier con tornillos de aproximación.

Tamaño de los radios:	0 a 160 mm	0 a 540 mm
	0 a 300 mm	0 a 1000 mm

Los círculos y arcos se dibujan con una pluma suministrada como un accesorio standard o se graban con un aditamento especial con punta de metal duro o de diamante.

H. S. A. : Haag Streit Ag.
Manufacturers of Precision
Instruments Liebefeld, Suiza.

ZEISS/J.: Veb Carl Zeiss, Jena
D. D. R. República Democrática
Alemana.

ZEISS /O.: Carl Zeiss 7082,
Oberkochen, Alemania Federal.

COORDINATOGRAF ó GRAFICADORES

NOMBRE	FABRICANTE	AREA	ESCALAS	PRECISION	ENLACE	PESO
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO	H. S. A.	1000 x 700 mm 1016 x 762 mm	Perforaciones cada 100, 50 mm y 5"	0.1 mm		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Con mesa de iluminación inferior	H. S. A.	1200 x 1200 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 Sistema inglés: 1:1200 1:2400 1:4800 1:6000 Ambos sistemas: 10:1 20:1 50:1	0.04 mm 0.0015 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	550 x 500 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 10:1 20:1 50:1 Ambos	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	400 x 240 mm	Sistema métrico: 1:5000 1:1000 1:2000	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO	H. S. A.	Area circular de 400 mm de diámetro	Sistema métrico: 1:500 1:1000 1:2000 Graduación círculo: 400g 5c estimación 1c 360° 2' estimación 1'	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFOS: *EA-F EC-F **MA-F MK-F MS-F	ZEISS/J	1200 x 900 mm	1:200 1:250 1:400 1:500 1:800 1:4000 1:5000 1:625 1:600 1:3200 adicional para los modelos EA-F, EZ-F, MA-F y MZ-F.	Errores mínimos cuadrados: En coordenadas: ± 0.03 mm En puntos: ± 0.04 mm	*Topocart Technocart Stereometrograph **Topocart Technocart	230 kg
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Z2	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	5 :1 1.5 :1 0.8 :1 0.375:1 4.166:1 1.5 :1 0.75 :1 0.25 :1 4 :1 1.33:1 0.66 :1 0.24 :1 2.66 :1 1.25:1 0.625:1 0.2 :1 2.5 :1 1.2 :1 0.6 :1 2 :1 1 :1 0.5 :1 1.66 :1 0.83:1 0.4 :1	En escalas: 0.1 mm En elementos giratorios: 0.02 mm	Estereoplanígrafo C-8 Ecomat 1	458 kg
KOORDIMAT	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	1:48 1:50 1:75 1:80 1:100 1:120 1:125 1:150 1:160 1:200 1:240 1:250 1:300 1:400 1:500 1:800	0.2 mm		580 kg

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

ELEMENTOS PARA MEDICION ANGULAR

PROFESORES:
MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ELEMENTOS DE MEDICION ANGULAR

1. GENERALIDADES.

Los limbos son los elementos para la medición angular y están formados por círculos graduados. Los teodolitos y tránsitos tienen uno para la medición de ángulos horizontales y otro para ángulos verticales. En los instrumentos antiguos o tradicionales los limbos son metálicos con una cinta de plata en el lugar donde tienen las marcas de la graduación, algunos están protegidos con una cubierta metálica.

Estos limbos presentan las graduaciones siguientes:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno del limbo y de 360° a 0° en sentido izquierdo en el borde externo. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno y en cuadrantes en el borde externo.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 90° con el 90 en el zenit y el nadir.

Las casas constructoras han sustituido gradualmente a los limbos metálicos por limbos de vidrio porque éstos tienen la ventaja de que las marcas de graduación se pueden hacer con extraordinaria precisión y absoluta nitidéz. La lectura de estos limbos se hace generalmente por transparencias y además su resistencia es excelente. Estos limbos tienen la forma de un anillo con varios milímetros de espesor, van montados en un anillo de metal de similar coeficiente de dilatación.

Estos limbos tienen los tipos de graduación siguiente:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 360° con el 0 en el zenit.

Los avances logrados en las máquinas para grabar han hecho posible extraordinarias perfecciones en la graduación de los limbos, por ejemplo el teodolito Wild T2 tiene 1,080 partes en un limbo de sólo 70 mm de diámetro.

2. MECANISMOS DE LECTURA.

Los índices o mecanismos de lectura de los limbos están formados por vernieres, micrómetros y discos codificados para lectura electrónica.

2.1 VERNIERES.

El vernier o nonio es un dispositivo mecánico que se utiliza para leer una cifra que en una escala común sería solo estimada. El vernier en su conjunto está formado por el elemento de medición (limbo graduado) y por una regla graduada que contiene el índice.

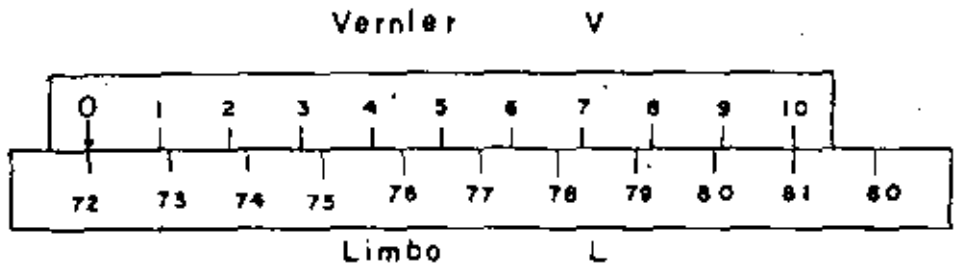


Figura 1

Si en la escala L considerada, se desliza la escala V, el índice O marca la fracción en el sentido de crecimiento de la escala L, si no se utilizara el vernier, esta lectura sería estimada, sin embargo, la fracción precisa es aquella que indica la marca del vernier que coincide -- con alguna marca del limbo.

Aproximación del vernier.

Sea: L : Valor de la menor división del limbo.
V : Valor de una división del vernier.
n : Número de partes del vernier.
a : Aproximación del vernier.

$$L - V = a \qquad nV = (n-1)\,L$$

$$a = \frac{L}{n}$$

En los vernieres no hay que confundir la aproximación con la -- apreciación, pues no siempre son iguales. La apreciación depende del

límite de la percepción visual (agudeza visual del observador). La expresión L entre n, es la aproximación del vernier y parece indicar que en un limbo graduado podría aumentarse la aproximación haciendo mayor número de divisiones al construir el vernier, sin embargo, no sería posible apreciar las rayas coincidentes pues habría incertidumbre, debido a los límites de la agudeza visual del operador.

Ejemplos de lecturas en escalas rectas.

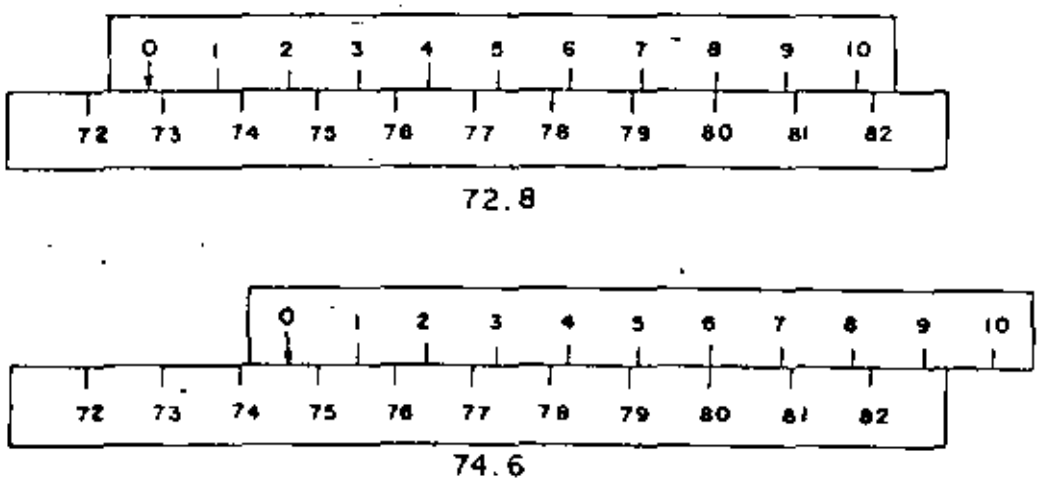


Figura 2

Ejemplos de lecturas en limbos y vernieres de tránsito.

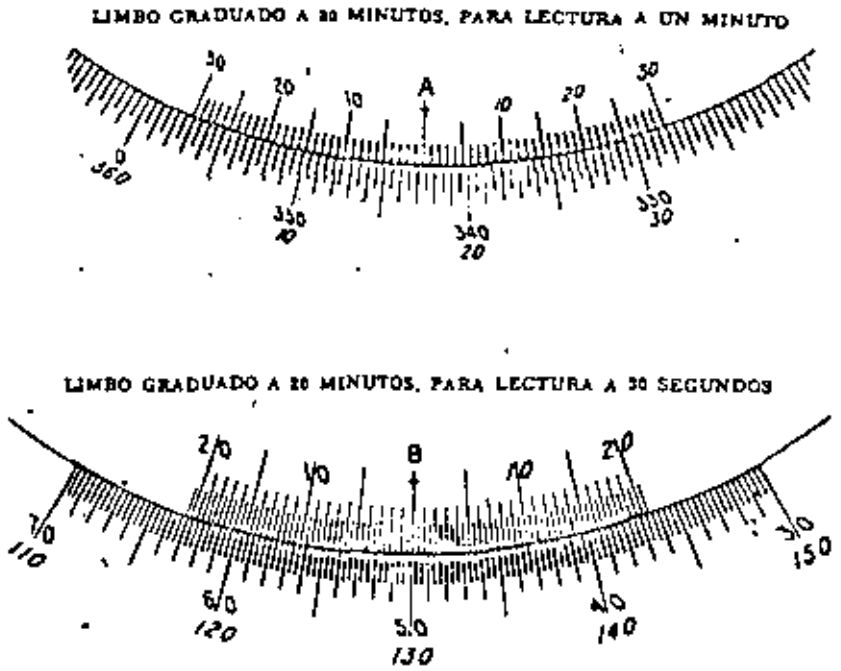


Figura 3

2.2 MICROMETROS.

En los instrumentos modernos para medición angular existe la tendencia a sustituir al vernier en los limbos de vidrio, por otros dispositivos más adecuados como es el caso de los micrómetros, que adoptan varias formas como las que a continuación se indican.

1. Micrómetro de estima.

Consiste en un microscopio de lectura dividido en forma de escala, cuya imagen coincide con la del limbo de igual modo que la retícula de un anteojo se superpone con la imagen del objeto. La retícula tiene una dimensión tal que al mirar a través del microscopio se ve de una magnitud idéntica a una división del limbo.

En los modelos más antiguos, el micrómetro tiene un solo hilo en el centro, sin embargo, hay algunos que mejoran la precisión aumentando los hilos de la retícula, algunos tienen tres o cinco hilos equidistantes de tal manera que las lecturas obtenidas con los hilos situados a la izquierda del central serán erróneas por defecto, mientras que las lecturas de los hilos de la derecha lo serán por exceso; el valor de la lectura es el promedio, con lo cual se aumenta la precisión.

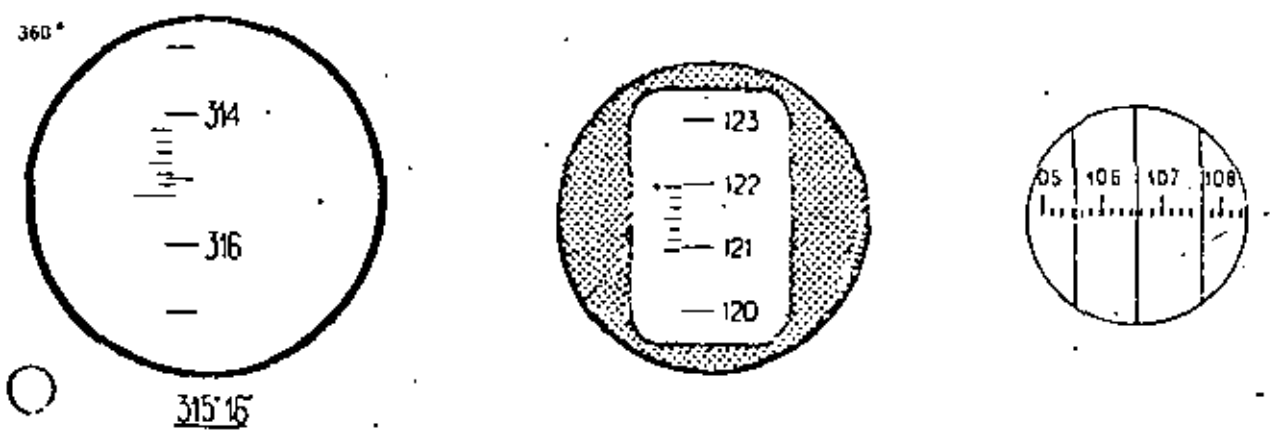


Figura 4

2. Micrómetro óptico de estima.

El Doctor Heinrich Wild logró revolucionar la construcción de los instrumentos topográficos introduciendo micrómetros de lectura sin necesidad de hilos ni de retículas. La fabricación de estos micrómetros fueron hechos al principio por la Casa Zeiss de Alemania, posteriormente por las fábricas Wild y más recientemente por la Casa Kern, ambas de Suiza.

El fundamento del método es el siguiente:

Sea L1, L2 un limbo de vidrio graduado de 0 a 360° y que, por un método óptico al observarlo a través de un microscopio, se traslada la imagen del sector L2 paralelamente a ella misma hasta verla en L'2 tangente al círculo. La graduación del punto de contacto en el sector L1, diferirá exactamente 180° de la leída en el sector L'2, y si la graduación del L1 crece a la derecha, la del L'2 crecerá hacia la izquierda, permaneciendo equidistantes a uno y otro lado del punto de contacto, las lecturas de L1 y de L'2 que difieren en una semicircunferencia.

Si se hace girar al círculo un cierto ángulo, la imagen L'2 girará el mismo ángulo en sentido contrario y en el punto de contacto las lecturas de ambos sectores seguirán siendo iguales (corrigiendo L'2 en una semicircunferencia). La diferencia de las lecturas extremas es el ángulo girado.

De este modo, no se necesita índice alguno, debiendo tomar como lectura la del punto de contacto de los dos círculos.

Unos prismas denominados separadores cortan ligeramente ambas imágenes del limbo de modo que aparezcan separadas por una línea fina.

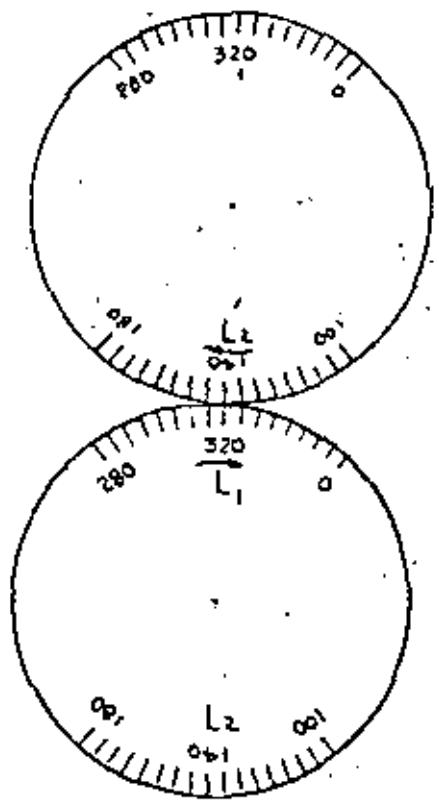
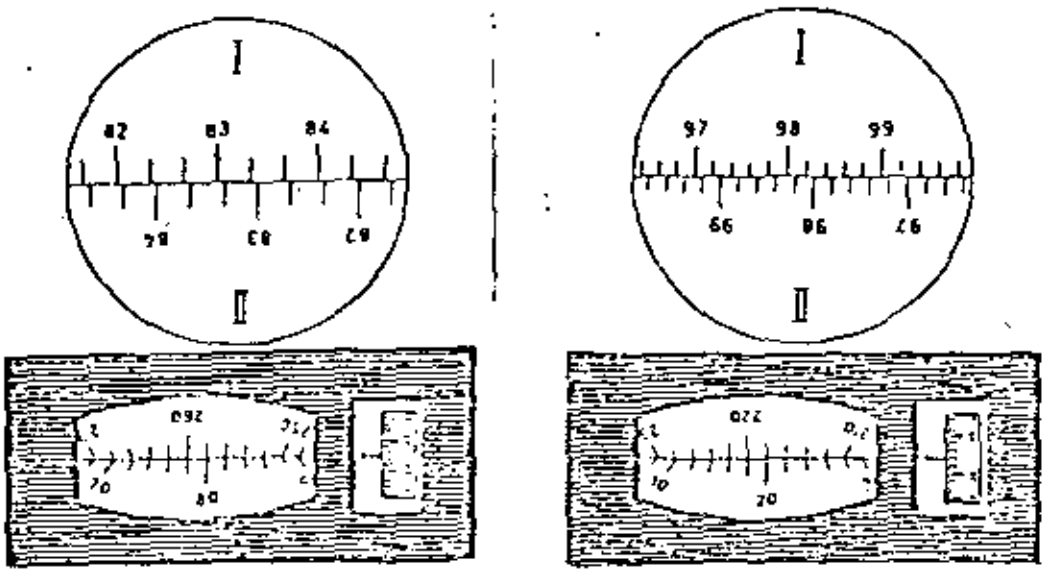


Figura 5

El teodolito Wild T-0 tiene este tipo de micrómetro. En este caso el limbo va dividido de 20' en 20' y para la lectura se tiene en cuenta que la distancia entre dos graduaciones iguales en ambos sectores, es doble de la que separa cualquiera de ellas del punto central, de lecturas coincidentes. De este modo se duplica la apreciación al medir la primera distancia y para reducirla a la mitad se toman las divisiones como si fueran de 10', apreciando a la estima la última fracción.

La ventaja de los micrómetros ópticos radica en la rapidez y claridad en las lecturas, duplicación del poder de apreciación y dar por corregido, con una sola lectura el error de excentricidad.

Ejemplos de lecturas.



Lectura : del círculo vertical 83° 12'
del círculo horizontal 79° 42'

Lectura : del círculo vertical 98,149
del círculo horizontal 19,249

Figura 6

3. Micrómetro óptico de coincidencia.

Principio de la placa de vidrio.

Con los dispositivos anteriores sólo se puede apreciar el minuto o cuando más el medio minuto. Es posible aumentar la apreciación, adoptando el método óptico el principio de la placa de vidrio que se utilizan varios instrumentos que alcanzan excelentes precisiones.

El sistema se funda en el desplazamiento óptico en sentido contrario de las dos imágenes de la figura anterior, hasta que coincidan las divisiones de una y otra, midiendo el desplazamiento ampliado en un tambor o en una escala.

Se consigue esto intercalando en el recorrido de cada haz de rayos luminosos, una placa de vidrio de caras opuestas, planas y paralelas.

Cuando la placa ocupe la posición 1, el rayo luminoso R la atraviesa sin desviación, pero si se le hace girar un ángulo i será éste el de incidencia y el rayo se refracta, formando con la normal el ángulo r, saliendo de la placa paralelo a la primera posición pero separado de ella una distancia d. La distancia d se puede medir en función del ángulo i de giro de la placa y de las constantes de la misma.

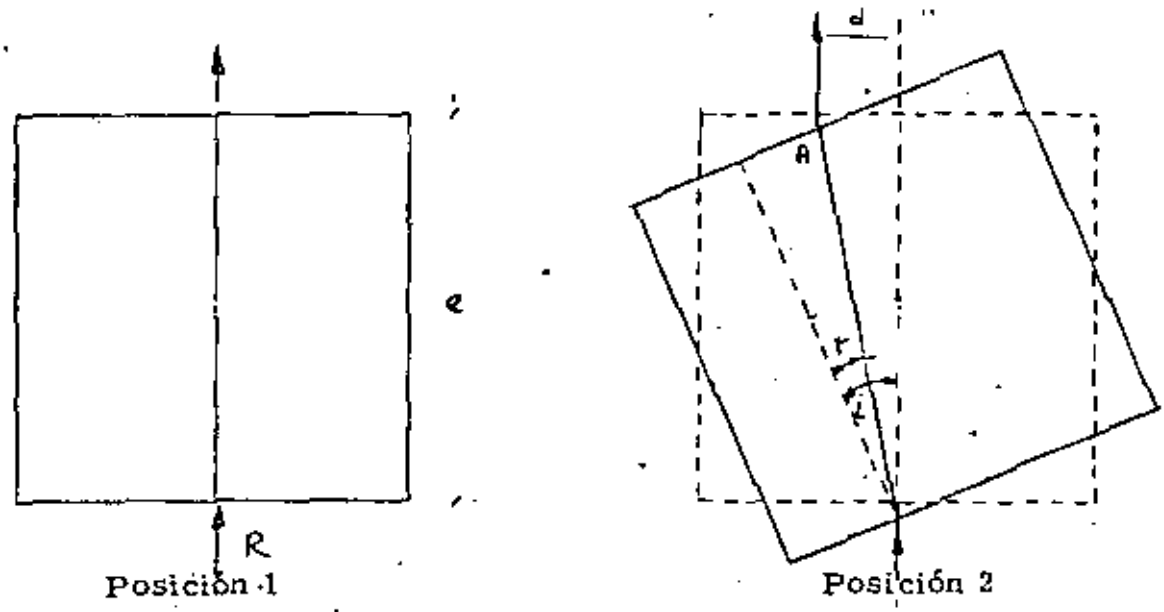


Figura 7

De la figura 2 se tiene:

$$AO = \frac{e}{\cos r}$$

$$d = OA \text{ sen } (i - r)$$

$$d = \frac{e \text{ sen } (i - r)}{\cos r}$$

Como i es un ángulo muy pequeño: sen (i - r) = (i - r) y

cos r = 1, por lo tanto:

$$d = e\,(i - r)$$

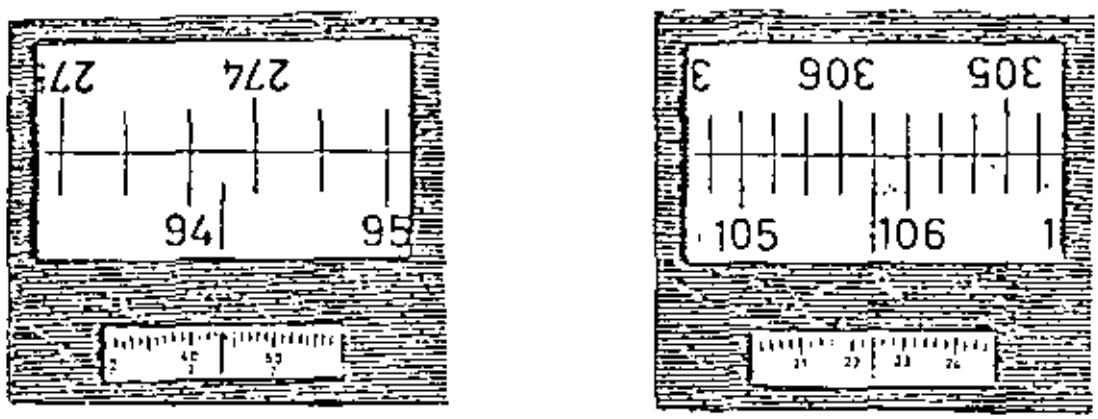
$$d = e\,\frac{i/r - 1}{i/r}\,i$$

$\frac{i}{r} = n$, que es el índice de refracción, por lo tanto:

$$d = e\,\frac{n - 1}{n}\,i$$

Lo que quiere decir que la desviación se puede considerar como proporcional al ángulo i.

Si ahora se hace girar a las dos láminas de vidrio intercaladas respectivamente en los haces de rayos luminosos correspondiente a cada una de las imágenes de la figura 6 , el mismo ángulo en sentido contrario, se verá desplazarse los dos sectores del limbo hasta conseguir la exacta coincidencia de sus divisiones, como se muestra en la figura del teodolito Wild T2, donde se aprecia en el micrómetro el desplazamiento de las imágenes que equivale a la fracción de división que se debería apreciar a la estima.



94° 12' 44'' 105.8224 g

Figura 8

En la escala del limbo, lo mismo que en la graduación sexagesimal que centesimal, se leen los grados y las decenas de minutos, mientras que los valores unitarios de éstos y los segundos se leen en la escala del micrómetro, junto al limbo y con el mismo microscopio.

En la figura 8 se observa como mediante el giro de un círculo de vidrio graduado se obliga a las dos placas micrométricas a girar en sentidos opuestos, desplazando los respectivos rayos luminosos procedentes de sectores opuestos del limbo hasta lograr la coincidencia de divisiones.

La parte del sector graduado del círculo de vidrio visible por el microscopio corresponde a la escalilla de la figura 8 .

Los dispositivos ópticos simplificados que dan una sola imagen del limbo pueden llevar también micrómetro óptico de coincidencia, que consiste en este caso, en una sola placa de vidrio de caras planas que desplaza la imagen hasta la coincidencia con un índice del retículo.

En todos los casos la desviación máxima del micrómetro, corres

ponde a una división del limbo, por lo que se consigue unicamente la coincidencia indicando el tope, el sentido en que ha de hacerse girar. La lectura da el desplazamiento desde la posición 0 de desviación nula.

A continuación se muestran los esquemas de lectura de los nuevos teodolitos Wild T2, que indican las decenas de minuto en forma digital.

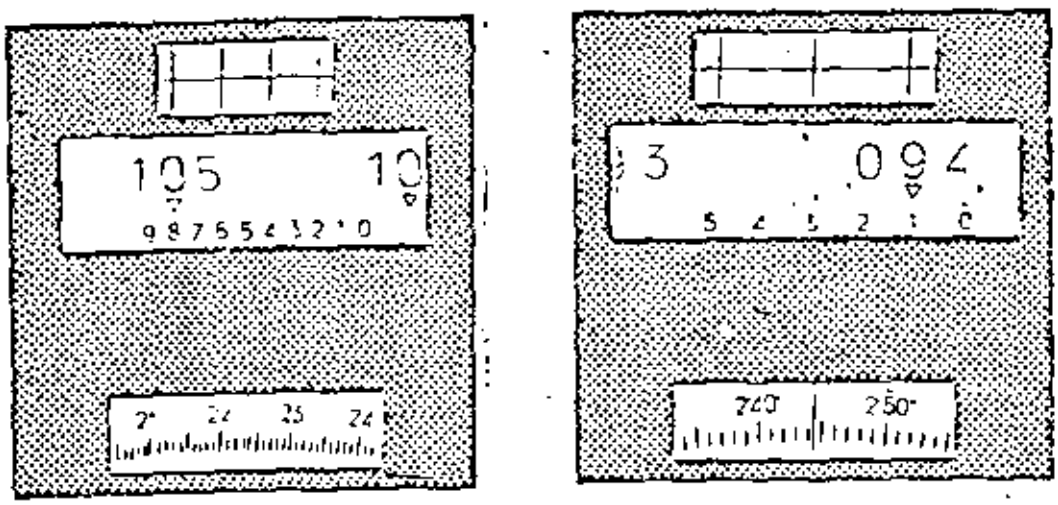


Figura 9

3. DISCO CODIFICADO PARA LECTURAS ELECTRONICAS.

La determinación de los ángulos horizontales y verticales en los tránsitos o teodolitos se puede hacer electrónicamente, transformandolos a lecturas digitales directas por medio de varios códigos binarios, como el que se muestra en la figura 10 , los cuales son impresos en círculos de vidrio y leídos por medios fotoeléctricos, magnéticos o por contacto directo. Las señales son clasificadas electronicamente y los desplazamientos angulares cuyas lecturas son mostradas por medio de pequeños tubos de nixie que corresponden a las lecturas del círculo horizontal y vertical. Los resultados también pueden ser almacenados en cinta magnética, cinta de papel o impresos en tarjetas para su posterior procesamiento en computadora.

El distanciómetro electrónico Reg Elta 14 y el Geodímetro Aga 700, tienen integrados teodolitos digitales y pueden proporcionar las lecturas en tubos nixie de 6 dígitos. Los valores con la información de identificación pueden ser registrados en la cinta.

Los sistemas de lectura electrónica digital directa son de construcción reciente y por la comodidad de su operación y fácil lectura son muy

aceptados en los medios de trabajo. Su construcción ha sido posible gracias al desarrollo que ha tenido la interpretación de códigos de varias clases de transformadores de un sistema a otro y discos codificados.

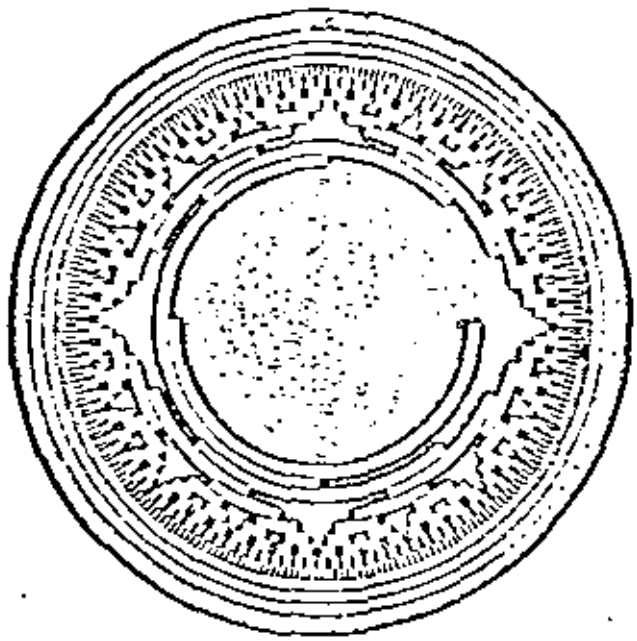
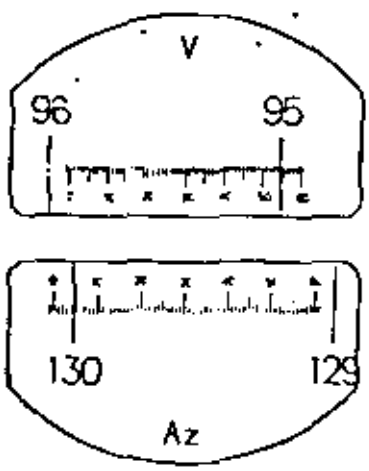


Figura 10

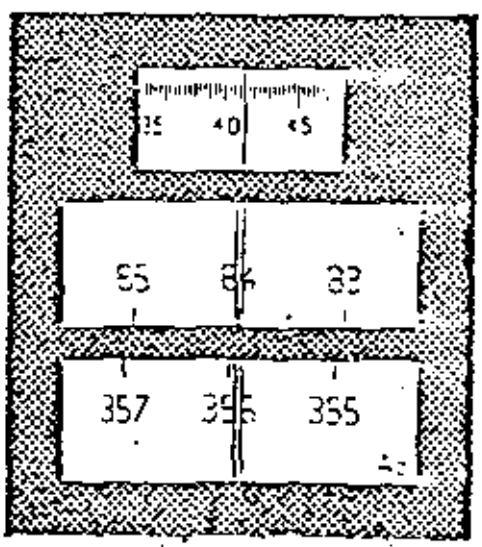
Ejemplos de lecturas

Wild T16



360° Lectura: del círculo vertical 95° 54,4'
del círculo horizontal 130° 04,6'

Wild T1A



Lectura del círculo vertical: 84° 41' 15'' (360°)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

8.1 PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

8.1.1 Generalidades.

En años recientes varios sistemas electrónicos han sido desarrollados con el propósito explícito de medir distancias en topografía. Se han basado en la velocidad invariable de la luz y de las ondas electromagnéticas en el vacío. El primero de estos sistemas, denominado Geodímetro, aportó un valor muy preciso de la velocidad de la luz que difirió en sólo 0.4 de km., de la velocidad determinada por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en el año de 1957 y cuyo valor fue de 299,792.5 km/seg. La invención de este sistema marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

El primer geodímetro, así como todos los modelos siguientes utilizan un rayo de luz modulada para la determinación de distancias. Al final de la década de 1950 fué desarrollado el telurómetro, instrumento que utiliza microondas moduladas. Instrumentos similares al telurómetro fueron construídos en los años siguientes, y éstos junto con el geodímetro llegaron a ser comunes en la medición de grandes distancias.

El desarrollo y perfección de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicas de estado sólido, aportaron nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de distancias. Con estos nuevos recursos fué posible construir instrumentos más portátiles con menos consumo de energía y con más facilidad para operar y leer. Sin embargo, estos instrumentos no tienen el alcance de los antes indicados. Son ejemplos los instrumentos que utilizan luz infrarroja.

Con el estudio y desarrollo de la luz láser ha sido posible en años recientes construir instrumentos para los mismos fines que utilizan luz láser altamente coherente.

En la actualidad, debido a la inversión, precisión de los resultados y facilidad relativa de su operación, los geodímetros y los instrumentos de microondas se usan todavía. Los instrumentos que utilizan luz infrarroja y que, en general son de corto alcance, han tenido éxito notable en la topografía común, pues en muchos casos han eliminado el longímetro con excepción de las distancias muy cortas que se presentan en la topografía de construcción. Los instrumentos de luz laser tienden a desplazar a los dos anteriores, sin embargo, en la actualidad existen serias dudas con relación al daño que puedan causar a los operadores.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para medir distancias, que en lo sucesivo se van a designar como EDM, se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance, pues los instrumen-

tos que se han construido a través del tiempo se han mantenido dentro de ciertos rangos de alcance máximo. Los instrumentos EDM de corto alcance son generalmente los que usan luz infrarroja y llegan a tener hasta 5 km. de alcance. Los modelos más recientes son de lectura digital, peso ligero, poco consumo de energía y algunos tienen adaptado un goniómetro para la medición de ángulos.

Estos instrumentos usan diodos emisores de luz para generar luz infrarroja en la región de los 900 a 930 nm de longitud de onda (fuera del espectro visible).

Algunos instrumentos de corto alcance utilizan como onda de transmisión luz láser visible como el Geodímetro AGA modelo 76.

Un instrumento de alcance medio es aquél que es capaz de medir distancias hasta de 16 km. Estos instrumentos usan varios tipos de ondas de transmisión como luz de tungsteno, luz de mercurio, luz láser y microondas con frecuencias del orden de 10 billionHz ó 10 Gigahertz (10 GHz). La mayor parte de los instrumentos de este tipo usan luz láser como onda de transmisión.

Los instrumentos de largo alcance son aquellos capaces de medir distancias mayores de 16 km. Algunos utilizan luz como onda de transmisión y pueden medir distancias hasta de 60 km. con excelente precisión. Los geodímetros y los nuevos instrumentos láser están en este rango; otros utilizan microondas como el telurómetro y el electrotape, éstos últimos llegan a tener un alcance mayor que los primeros.

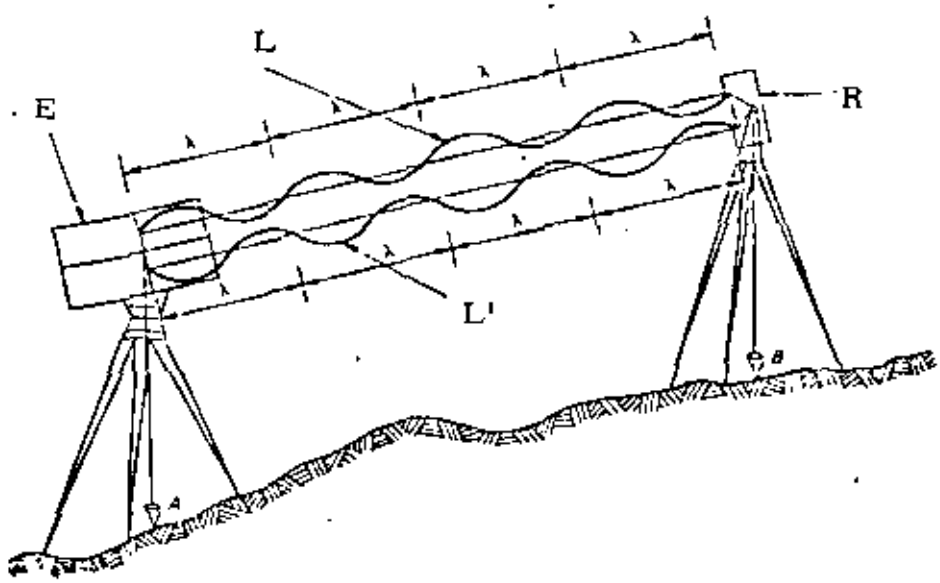
Continuamente se diseñan accesorios y nuevos instrumentos que permiten una mayor variedad de alcances, de tal modo que su optimización va en aumento lográndose poco a poco mejor operabilidad del instrumento, reducción de tamaño, peso y digitalización en las lecturas, tanto de la distancia como de los ángulos horizontales y verticales que le corresponden.

8.1.2 Principio de medición de los instrumentos EDM que usan ondas de luz.

En la figura siguiente:

E : Emisor L : Luz modulada

R : Reflector L' : Regreso de L



En todos los instrumentos EDM que usan tungsteno, mercurio, láser o luz infrarroja como ondas de transmisión, un rayo contínuo de luz es generado en el instrumento emisor. Antes de entrar a las colimaciones ópticas y tener dirigido al reflector que es colocado en el otro extremo de la línea por medir, este rayo contínuo es modulado en intensidad a muy alta frecuencia. La modulación, en efecto, transforma el rayo de arriba en longitudes de onda que están en función directa de la frecuencia de modulación. Esta longitud de onda está dada por:

$$\lambda = \frac{v'a}{f}$$

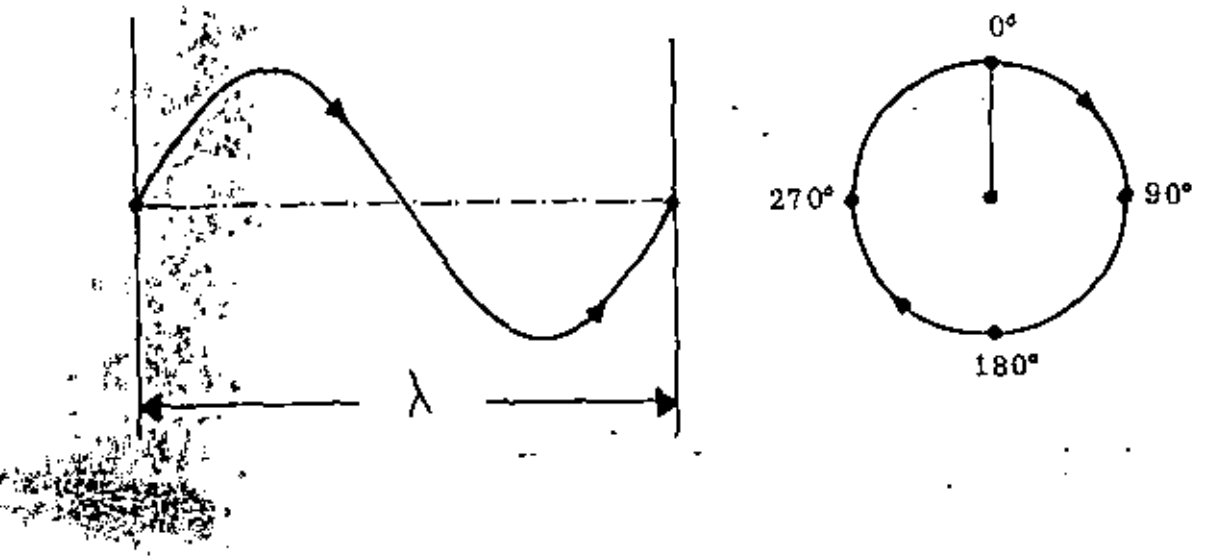
en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros.

$v'a$: es la velocidad de la luz a través de la atmósfera en metros por segundo.

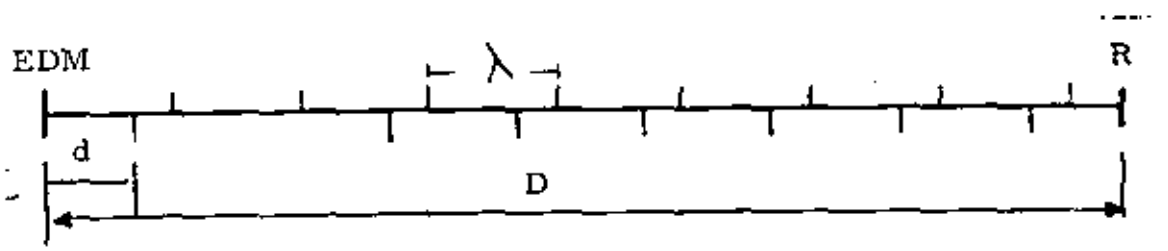
f : es la modulación de frecuencia en hertzios.

El valor de v'a está en función de la temperatura del aire, presión atmosférica y presión parcial del vapor de agua.

La intensidad de la luz modulada varía de 0 al principio de cada longitud de onda, llega a un máximo a los 90°, regresa a los 180°, disminuye hasta un mínimo a los 270° y regresa a 0 a los 360°. La distancia entre 0° y 360° es por lo tanto igual a la longitud de onda completa.



Por esta razón, los instrumentos EDM generan una cinta luminosa para medir, cuya longitud es igual a la longitud de onda de la luz modulada. Por ejemplo, si la frecuencia de modulación es 10MHz y la velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/seg., la longitud de la onda modulada es de alrededor de 30 metros.



En la figura anterior el instrumento EDM está localizado a la izquierda en un extremo de la línea por medir y el reflector R a la derecha ocupando el otro extremo de la línea. El reflector es la esquina de un cubo de vidrio en el cual los lados del cubo son perpendiculares uno al otro dentro de tolerancias muy estrechas. Esta perpendicularidad causa que la luz que llega sea reflejada internamente y salga paralela a ella misma. La esquina del cubo, por lo tanto, constituye un retroreflector. Un número entero de longitudes de onda, más una distancia parcial llamada d integran el total de la distancia del instrumento EDM al reflector y de regreso al aparato EDM. Se observa que si el reflector o el instrumento emisor se mueven hacia atrás o hacia adelante, a lo largo de la línea en una distancia igual a una mitad de longitud de onda o cualquier número de medias longitudes de onda, el valor de la distancia parcial d, será el mismo en cada caso.

Esta distancia parcial es medida en el instrumento con un cierto tipo de medidor de fase. La distancia buscada D entre los dos extremos de la línea, está dada por:

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

en la que: n : es el número entero de longitudes de onda en la doble distancia.

λ : longitud de onda de modulación en metros.

d : distancia parcial.

Una manera en la cual esta ecuación se podría resolver sería tener el conocimiento previo de la longitud de la doble trayectoria hasta la media longitud de onda más cercana, lo cual requiere que la longitud de la línea sea conocida al cuarto de la longitud de onda más cercano. Como esto no es práctico la ambiguedad de n puede ser resuelta utilizando la técnica de las frecuencias múltiples.

Si la medición es realizada conociendo su frecuencia y ésta se repite usando una frecuencia ligeramente diferente, dos valores distintos de d serán leídos en el medidor de fase. Conociendo los dos valores de las longitudes de onda, se obtienen dos ecuaciones similares a la anterior, pudiendo ahora resolverlas simultáneamente y obtener el valor de la incógnita y por lo tanto la distancia D buscada.

La técnica de frecuencias múltiples para resolver la ambiguedad está incorporada dentro de los modernos EDM. Tal sistema en uso común es la técnica de modulación de diez en diez. Suponiendo que una modulación de frecuencia de 15 MHz es establecida en el instrumento, resulta una longitud de media onda de 10 metros. Aceptemos que la extensión completa del medidor de fase esté representando una distancia de 10 metros.

La lectura del medidor de fase entonces da como unidad el metro y parte decimal del metro en la medida de una distancia de 0 a 9.999 m. Por ejemplo en una distancia de 3,485.276 m. esta frecuencia daría la parte 5.276. Cambiando a 1.5 MHz, la media longitud de onda es ahora 100.0 metros, la cual es resuelta por el medidor de fase para dar las decenas de metros, en este caso 80 (8 decenas). La siguiente frecuencia es entonces 0.15 MHz, la cual en unión con el medidor de fase, proporciona las centenas de metros, lo que en este caso es 400 (4 centenas) Finalmente a una frecuencia de 15 KHz dará el número de miles de metros en la distancia la cual en este caso es 3,000 (3 miles).

El instrumento EDM HP-3800 en el cual se lee en pies, emplea la técnica de modulación de diez en diez. El operador primero apunta la óptica del instrumento al reflector colocado en el otro extremo de la línea, usando el telescopio de observación, y manipula un par de tornillos tangenciales para perfeccionar el alineamiento vertical y horizontal. El mejor alineamiento se determina observando un medidor que muestra la intensidad de la señal de regreso. El operador entonces equilibra las intensidades de las señales de salida y de entrada con objeto de asegurar un adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos. Por medio de un switch deslizante se mueve a la primera frecuencia y se sintoniza en el número adecuado de pies y partes decimales y se lee 7.14 pies. Entonces se desliza el switch a la próxima frecuencia más baja y se sintoniza en 10 pies; la siguiente frecuencia de más abajo da 400 pies; y la más baja de todas las frecuencias proporciona 7,000 pies. La distancia medida es por lo tanto 7,417.14 pies.

Como hay gran variedad de instrumentos EDM no es práctico discutir los detalles particulares de operación de cada instrumento. Los fabricantes describen ampliamente la operación de los mismos.

8.1.3 Principio de medición de instrumentos EDM que utilizan microondas.

Los instrumentos de microondas generan superalta frecuencia -- (SHF) u ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente alta en el rango de 3 a 35 GHz, como ondas portadoras. Estas, a su vez, están moduladas a frecuencias que varían de 10 a 75 MHz según el tipo de instrumento. La longitud de onda modulada está dada por:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

en la que: λ: es la longitud de onda de modulación en metros o pies.

Vr : es la velocidad de la microonda a través de la atmósfera en metros por segundo

f : es la frecuencias de modulación en hertzios.

El valor Vr depende de la temperatura, presión atmosférica y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares, que se colocan en los extremos de la línea por medir, éstos son conocidos como instrumento maestro e instrumento remoto. Las observaciones son realizadas en el instrumento maestro, y

en el remoto también debe haber un operador, éste funcionará como reflector de la onda generada por la estación maestra.

El operador en la estación maestra selecciona una frecuencia de modulación en la cual las microondas son transmitidas hacia el instrumento remoto; quien indica al operador en la estación remota por medio de la comunicación del instrumento (está interconstruída en el mismo aparato) qué frecuencia de transmisión está siendo usada. El operador remoto coloca su instrumento a la frecuencia correspondiente. La señal es recibida por el instrumento remoto y es retransmitida a la estación maestra sin demora. Un medidor de fase, en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas emitida y recibida, en un osciloscopio en los primeros modelos de microondas o en forma digital en los más recientes. Esto, en efecto, da la fracción o parte decimal de la longitud de onda por la cual la doble trayectoria, de la estación maestra a la remota, se desvía de un número entero de longitudes de onda. Esto es equivalente a la distancia d ya tratada.

Si cualquiera de los dos, el instrumento maestro o remoto tuvieran que ser movidos sobre la línea por medir, ya sea hacia adelante o hacia atrás, por media longitud de onda modulada, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior. Por lo tanto la ambiguedad que existe en los instrumentos de ondas de luz, se presenta también en los instrumentos de microondas.

La técnica para resolver la ambiguedad en el número de longitudes de onda completas contenidas en la doble distancia, generalmente es la misma como la que se indicó en el EDM a base de ondas de luz.

En el telurómetro, por ejemplo, la modulación múltiple de frecuencias patrón es como se indica:

Patrón A:	10,000 MHz
Patrón B:	9,990 MHz
Patrón C:	9,900 MHz
Patrón D:	9,000 MHz

El patrón A por sí mismo interrumpe la onda de 10 MHz por medio del medidor de fase para dar lo más próximo a 50 pies y la parte decimal de 50 pies contenida en la distancia directa entre la estación maestra y la remota. Una combinación de los patrones A y D resuelve lo más próximo a 500 pies; una combinación de los patrones A y C resuelve lo más próximo a 5,000 pies y una combinación de los patrones A y B resuelve lo más próximo a 50,000 pies. En los instrumentos más antiguos se hacían cálculos para reducir las lecturas del medidor de fase a la distancia deseada, mientras que los instrumentos recientes proporcionan auto-

mática o semiautomáticamente la reducción.

8.1.4 Efectos de las condiciones atmosféricas en la velocidad de la onda.

Las condiciones de la atmósfera que afectan la velocidad de propagación de la luz y las microondas son: la temperatura del aire, presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa, a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Un conocimiento de estos elementos permite una determinación del índice refractor del aire, el cual se debe conocer para calcular la velocidad de la luz o de las microondas, bajo ciertas condiciones meteorológicas dadas.

Para ondas de luz el índice refractivo n_g de aire normal está dado por:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4})\, 10^{-6}$$

en la que: λ_c : es la longitud de la onda de la luz portadora en micras.

Según la clase de luz utilizada en los EDM los valores de λ_c son como sigue:

Ondas de transmisión	λ_c (μm)
Vapor de mercurio	0.5500
Incandescente	0.5650
Laser roja	0.6328
Infrarroja	0.900 - 0.930

El índice de refracción n_a para ondas de luz partiendo de las condiciones del aire normal, puede ser calculado por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)\, p}{273.2 + t} - \frac{1.5026\, e \times 10^{-5}}{273.2 + t}$$

en la que: p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio - (Torr).

t : es la temperatura del aire en grados centígrados.

e : es la presión de vapor en Torr.

Prácticamente para todas las mediciones de distancias con luz, el último término de la ecuación anterior que incluya la presión de vapor, puede ser despreciado, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en las ondas de luz.

La velocidad de las ondas de luz en el aire, Va está relacionada a la velocidad de la luz en el vacío por:

$$Va = \frac{C}{n_a}$$

El valor de C es 299,792.5 km/seg.

Ejemplo. Un rayo laser rojo con frecuencia modulada de 24 MHz atraviesa la atmósfera, cuya temperatura es 26° C y la presión atmosférica es 759 Torr. ¿Cuál es la longitud de onda modulada de la luz?.

Solución. El índice de refracción del aire normal para la onda de transmisión laser es:

$$n_g = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{0.6328^2} + \frac{0.068}{0.6328^4}\right) 10^{-6} = 1.0003002$$

El índice de refracción del aire bajo las condiciones atmosféricas dadas despreciando el último término es:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474\,(1.0003002 - 1) \times 759}{273.2 + 26} = 1.0002738$$

La velocidad de la luz laser a través de esta atmósfera está dada por la expresión:

$$Va = \frac{299,792.5}{1.0002738} = 299710.4 \text{ km/seg.}$$

Finalmente la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,710.4}{24 \times 10^6} = 0.01248793 \text{ km} = 12.48793 \text{ m.}$$

El efecto de la presión del vapor de agua, el cual puede se-

ciado cuando se trabaja con luz, es muy grande cuando se usan EDM de microondas. Consecuentemente la humedad relativa debe ser determinada cuidadosamente en el campo, en el momento de la medición.

Un Psicómetro de alta calidad el cual da lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, debe ser empleado para la determinación de la presión del vapor.

El índice de refracción de las microondas n_r, está dado por:

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}\left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right)e$$

En la que p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio. (torr).

e : es la presión del vapor en milímetros de mercurio, en torrs.

t : es la temperatura del aire (bulbo seco) en grados centígrados.

La velocidad de la propagación de las microondas Vr a través de la atmósfera está dada por:

$$Vr = \frac{C}{n_r}$$

Y la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

Ejemplo. ¿Cuál es la longitud de onda en metros, de microondas moduladas a una frecuencia de 10 MHz, si la presión atmosférica es 643 Torr, la temperatura es 23.9° C y la presión de vapor 3.5 Torr?.

Solución.

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{297.1}(643.0 - 3.5) + \frac{86.26}{297.1}\left(1 + \frac{5748}{297.1}\right)3.5 = 243.4$$

y $n_r = 1.0002434$. Con la ecuación:

$$Vr = \frac{299,792.5}{1.0002434} = 299,719.5 \text{ km/seg.}$$

Finalmente con la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,719.5}{10 \times 10^6} = 0.02997195 \text{ km} = 29.97195 \text{ m.}$$

Las ecuaciones dadas para la determinación del índice de refracción se presentan en diferentes formas en varios artículos y publicaciones. Hay ligeras e insignificantes variaciones en los resultados obtenidos por medio de las diferentes expresiones o fórmulas.

Las fórmulas tratadas con anterioridad permiten al lector apreciar la importancia relativa de la temperatura, presión y presión del vapor en ambos casos, luz y microondas.

Los efectos de las condiciones atmosféricas son tratados de varias maneras en los diversos sistemas de EDM.

Las correcciones son pequeñas para distancias cortas, cuando se emplean EDM a base de ondas luminosas. Para líneas más largas un error de 10° C en la temperatura efectiva de la trayectoria del rayo, introduce un error relativo de 10 ppm y un error de 25 mm de mercurio, en la medición de la presión atmosférica también introduce un error relativo de 10 ppm.

Las correcciones en cualquiera de los dos casos son calculadas en base a los datos meteorológicos determinados al momento de medir, o también el circuito del instrumento es modificado para considerar las condiciones atmosféricas dentro del cálculo.

En el instrumento HP-3800, por ejemplo, las correcciones del medio ambiente se marcan en una carátula dentro de la unidad de potencia. Esto cambia la frecuencia modulada con objeto de mantener una longitud de onda constante a cualquier temperatura y presión. En el caso de los instrumentos EDM de microondas, la presión parcial del vapor de agua obtenida por las lecturas termométricas del bulbo seco y húmedo debe ser determinada con buena precisión. Un error de 2 mm en la presión del vapor o un error de 1.5° C en la diferencia entre la temperatura del bulbo seco y húmedo producirán un error relativo aproximado de 10 ppm a temperatura normal. Este error relativo crece con un incremento en la temperatura del aire. Suponiendo que las condiciones meteorológicas hayan sido determinadas satisfactoriamente, las correcciones para las distancias medidas se hacen fácilmente con la ayuda de varias gráficas, tablas o nomogramas, que son suministrados con los instrumentos.

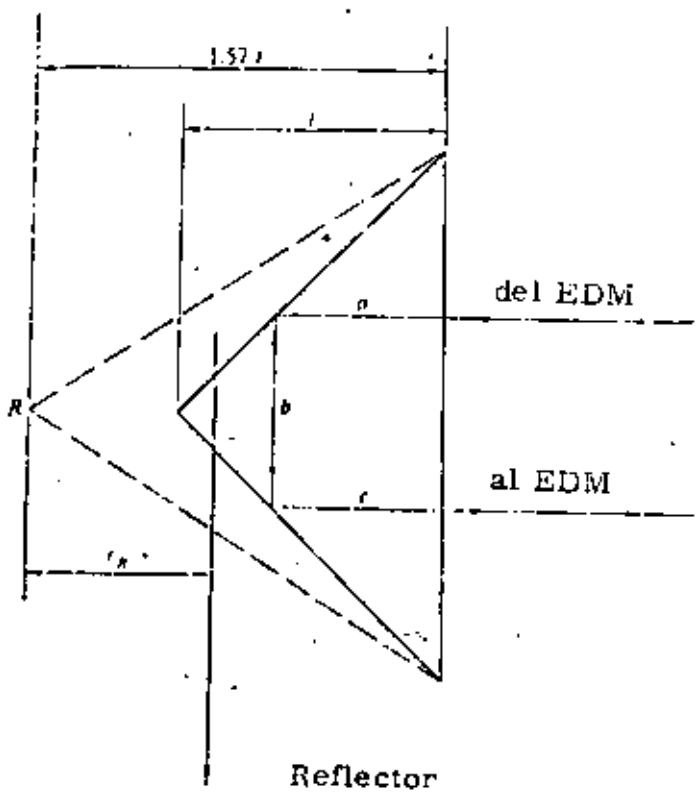
Si se usa un barómetro aneroide para determinar la presión atmós

férica, la lectura de elevación en metros o pies debe ser convertida al valor apropiado de presión en milímetros o pulgadas de mercurio. Esta conversión se hace usando gráficas o tablas suministradas por el fabricante del instrumento.

La tabla siguiente puede ser usada para convertir metros de elevación a milímetros de mercurio y recíprocamente.

8.1.5 Errores instrumentales en los EDM.

Si un instrumento EDM moderno es adecuadamente sintonizado, hay muy pocas causas de errores instrumentales que necesiten corrección. Un error conocido como "constante del reflector" es causado por no tener el centro efectivo del reflector plomeado en el extremo lejano de la línea. Este tipo de error se muestra en la figura siguiente para el caso de un reflector cúbico. La distancia a través de la cual viaja la luz en el cubo de vidrio durante la retrorreflexión es a + b + c, la que a su vez es igual a 2t. La distancia t se mide desde la superficie del reflector hasta la esquina del cubo de vidrio. La distancia equivalente en el aire a través de la cual la luz viaja es 1.57 x 2t, debido al índice de refracción del vidrio. La esquina efectiva del cubo está en R y representa el final de la línea. Si la línea de la plomada pasara verticalmente enfrente del punto R, entonces un error C_R se introduciría en la distancia medida de la línea, y en este caso la distancia C_R tendría que ser restada. La constante del reflector es eliminada mediante la posición adecuada del centro eléctrico del EDM y del prisma de reflexión en su montura.

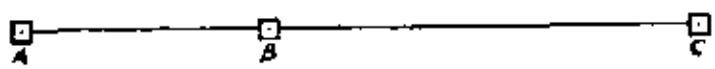


Un error similar se presenta en la estación remota de un sistema de microondas. Si el centro eléctrico no está sobre la línea vertical del instrumento, en este caso un error constante se introduce en cada medición. Un error sistemático se introducirá si la línea de la plomada en el aparato transmisor no pasa a través del centro eléctrico del instrumento. Este es idéntico al error en el extremo remoto de los sistemas de microondas. Dos métodos pueden ser empleados para determinar el valor de este error.

En el primero, se establece una línea lo más larga posible y se mide usando una cinta invar, de acero, o con un EDM de onda de luz, conocida la constante del reflector. Debido a la precisión inherente de los EDM, esta línea debe ser medida con un alto grado de precisión. Si la distancia conocida es medida con el EDM, la distancia corregida por condiciones meteorológicas, por la constante del reflector e inclinación de la línea, debe concordar con la distancia establecida. La diferencia entre las dos da el valor de la constante del instrumento C_1.

Cuando se usa el sistema de microondas, la constante de la estación maestra puede ser combinada con la constante de la estación remota y proporcionar un valor único para aplicarlo a cada distancia medida. Esta constante combinada se obtiene midiendo a lo largo de una distancia conocida y haciendo la comparación correspondiente como se indicó con anterioridad.

Si una línea base confiable no está disponible y si no es factible medir una línea, un segundo método puede ser aplicado para determinar la constante del instrumento. En la siguiente figura, tres puntos A, B y C, se localizan sobre una línea recta.



El EDM ocupa el punto A y se miden las distancias AB y AC. Se traslada el EDM al punto B y se mide la distancia BC. Estas tres mediciones se corrigen debido a las condiciones meteorológicas constantes del reflector (en el caso de un instrumento de onda de luz) e inclinación. Entonces si C_1 es la constante del instrumento o la constante maestra remota combinada:

(medida AB + C_1) + (medida BC + C_1) = medida AC + C_1, dando C_1 = medida AC - (medida AB + medida BC).

Los instrumentos y reflectores actuales llegan a estar tan bien calibrados en el momento de la fabricación, que las pequeñas constantes del instrumento y del reflector se conocen con precisión. Generalmente están reducidas a cero en el proceso de fabricación. La determinación de las constantes en el terreno generalmente no se requiere. La determinación del valor C_1 se hace bajo la suposición de que el instrumento está adecuadamente sintonizado para dar la modulación de frecuencia correcta.

Un error en la frecuencia produce un error de escala tal como la longitud de la cinta incorrecta, discutida con anterioridad. Por ejemplo, si la modulación de frecuencia correcta es 10 MHz y si la verdadera frecuencia se desvía de ésta por 100 Hz, un error relativo de 10 ppm afecta cada medida. Las frecuencias pueden ser comprobadas por medio de un contador de frecuencia. Una comprobación de frecuencia deberá ejecutarse a intervalos regulares, particularmente si se ejecutan levantamientos de alta precisión o estos tienen líneas muy largas. Alternativamente, si el EDM se comprueba regularmente con una distancia conocida, aplicando correcciones por constantes del instrumento y del reflector, condiciones meteorológicas e inclinación, se puede detectar un cambio de frecuencia.

8.1.6 Reflexión de microondas terrestres.

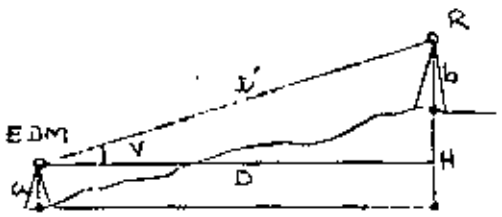
El EDM de microondas tiene un rayo relativamente amplio. Consecuentemente, las ondas que viajan de un extremo al otro de la línea, pueden tener reflexiones importantes originadas por el terreno entre las estaciones, particularmente si este es plano y libre de vegetación gruesa.

Las ondas reflejadas pueden introducir serias alteraciones cuando las mediciones se hacen sobre el agua. Las ondas reflejadas en este caso son causantes que se obtenga una distancia defectuosa, debido a que viajan sobre trayectorias más largas que los rayos directos. Si se hace una serie de lecturas finas como se toman las del modelo A del telurómetro, cada una con una frecuencia diferente y si hay fuertes reflexiones, estas lecturas variarán en forma cíclica. Si las lecturas se grafican, como una función de la frecuencia portadora, idealmente toman la forma de una curva senoidal. La variación cíclica en las lecturas finas se llama oscilación. La interpretación de la curva de oscilación que representará el mejor valor es cuestión de experiencia y criterio. Generalmente un promedio de las lecturas finas, será lo suficientemente preciso para la mayoría de las mediciones.

8.1.7 Reducción al horizonte de la distancia inclinada.

Algunos modelos recientes proporcionan distancia inclinada, - distancia horizontal y distancia vertical, por lo que la reducción al horizonte es innecesaria, sin embargo, para aquellos modelos que - no realicen automáticamente esta operación se procederá como sigue:

Cuando no se conocen las elevaciones de la estación E.D.M. y del prisma R:



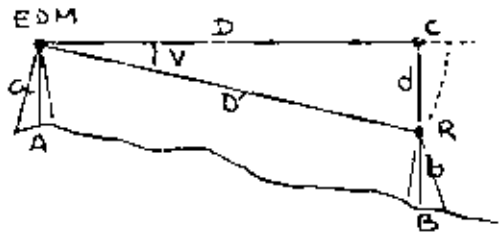
$$D = D' \cos V$$

$$H = D' \operatorname{sen} V + a - b$$

En la figura:

E.D.M.: Estación emisora.
R : Estación reflectora.
D' : Distancia inclinada
D : Distancia horizontal.
H : Distancia vertical.
a : Altura del punto eléctrico EDM.
b : Altura del punto de - reflección R.
V : Angulo vertical.

Cuando se conocen las elevaciones de las estaciones:



En la figura:

C : Corrección aplicada a D' para obtener D.
A : Estación EDM.
B : Estación del reflector.

$$C = D' - D$$
$$d^2 = D'^2 - D^2$$
$$d^2 = (D' - D)\,(D' + D)$$
$$d^2 = C\,(D' + D)$$

$$C = \frac{d^2}{2D} \quad \text{aprox.}$$

En la que:

d = (cota A + a) - (Cota B + b)

$$D = D' - C$$

10

INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN ELECTRONICA DE DISTANCIAS

INSTRUMENTO	C	F	O.P.	ALCANCE	PESO Kg
Geodímetro 12	a	1	1	1,600	3
Geodímetro 7T		1	1	500	11
Distomat DI 10	a	2	1	2,000	18
Distomat DI 3	a, c	2	1	900	7
Distomat DI 3S	a, c	2	1	1,500	7
DM 2000		3	1	2,500	11
DM 500	a	3	1	500	2
SM 11	b,c	4	1	2,000	20
Reg Elta 14	b,c,d	4	1	2,000	20
Eldi 1		4	1	5,000	8
Eldi 2		4	1	3,000	4
Eldi 3		4	1	1,500	4
SM 4		4	1	2,000	8
HP-3800		5	1	3,000	8
HP-3805		5	1	1,600	8
HP-3810	b,c	5	1	1,600	12
Micro-ranger	a	6	1	1,600	6
DM 60 Cubitape		7	1	2,000	7
MA 100		8	1	2,000	14
CD 6	a	8	1	2,000	4
Beetle 500	a	9	1	500	3
SDM 3H		10	1	1,600	17
SDM IC		10.	1	1,600	6
Akkuranger MK-II		11	1	1,350	-
Distomat DI 4	a, c	2	1	2,000	-
Taquimat TC 1	b, c, d	2	1	2,000	-
Geodímetro 76		1	2	3,000	8
Geodímetro 710	b,c	1	2	5,000	14
Geodímetro 6BL		1	2	25,000	15
Geodímetro 8		1	2	60,000	23
Geodímetro 700		1	2	500	14
Ranger I		6	2	4,000	16
Ranger II		6	2	6,000	16
Ranger III		6	2	12,000	16
Ranger IV		6	2	12,800	16
Rangemaster		6	2	60,000	30

INSTRUMENTO	C	F	O.P.	ALCANCE	PESO Kg
Distomat DI 50		2	3	50,000	19
DM 20 Electrotape		7	3	50,000	12
CA 1000		8	3	30,000	3.5
MRA-3		8	3	80,000	2
Geodímetro 6A		1	4	25,000	16
Mekometer ME 3000		3	5	3,000	15

C. Características:

a: E.D.M. Unidad montada sobre un teodolito común.
b: El círculo horizontal y vertical están integrados en la unidad E.D.M.
c: Integrado en la Unidad el reductor automático de la distancia horizontal y diferencia de elevación.
d: Unidad para perforar cinta para computadora.

F. Fabricantes:

1. Aga, Suecia.
2. Wild, Heerbrugg Suiza.
3. Kern, Aarau Suiza.
4. Zeiss, Oberkochen, Alemania Federal.
5. Hewlett-Packard, U.S.A.
6. Kouffel and Esser, U.S.A.
7. Cubic Corporation, U.S.A.
8. Tellurometer (Plessey) Corp. U.S.A.
9. Precision International, U.S.A.
10 Sokkisha, Tokio, Japón.
11 Scintrex, Ontario, Canadá.

O.P. Onda portadora:

1. Infrarroja.
2. Laser.
3. Microonda.
4. Vapor de mercurio
5. Xenón.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

MAGNITUDES E INSTRUMENTOS

La Topografía tiene por objeto efectuar las mediciones y cálculos necesarios para representar un cuerpo o una porción de terreno en una superficie plana, de acuerdo a una orientación que puede ser astronómica, magnética o respecto a alguna línea convencional.

La Topografía prescinde de la clase de materia que constituye a los cuerpos o terrenos y solo se ocupa de ellos en lo que concierne a sus dimensiones, considerando solamente algunas relaciones comunes que permiten sustituirlos por un esquema ideal llamado figura geométrica. Así por ejemplo, si se tiene un terreno horizontal, plano y limitado por cuatro lados rectos, este terreno, se puede representar por la figura llamada "cuadrilátero" y por lo tanto, se pueden hallar las relaciones afines a esta figura y consecuentemente al terreno en estudio. Por la relación tan estrecha que existe entre la Topografía y la Geometría es recomendable un buen conocimiento de esta última ciencia para una buena preparación en el conocimiento de los métodos topográficos.

1. ELEMENTO GEOMETRICO.

Es un elemento simple y con características propias que sirve para formar o definir diversas composiciones geométricas. Los elementos geométricos son en su división más simple: puntos, líneas, ángulos, superficies y espacios.

Punto. Es un lugar geométrico que no tiene dimensión, solo posición.

Línea. Es un conjunto ordenado de puntos. Las líneas pueden ser rectas o curvas.

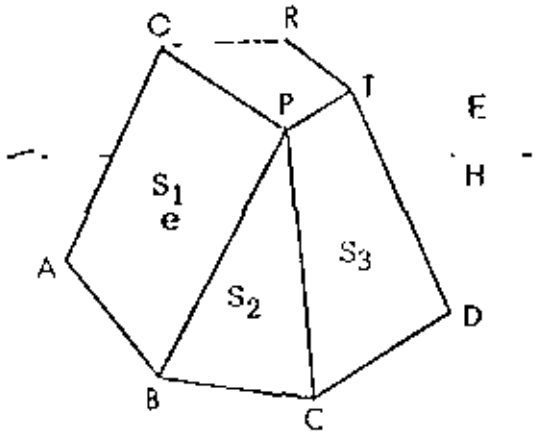
Angulo. Es la abertura entre dos rectas que se cortan en un punto llamado vértice.

Superficie. Es un elemento geométrico que divide a dos regiones o espacios.

Espacio. Es un conjunto de puntos contenidos en una región limitada por varias superficies.

1.1 Cuerpo geométrico.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos. Los elementos de un cuerpo geométrico en el espacio son:

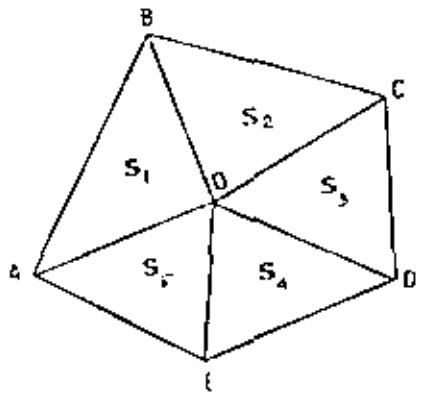


Puntos: A, B, C, D	. . . . .	N
Líneas: AB, BC, CD	. . . . .	MN
Angulos: A, B, C, D	. . . . .	N
Superficies: S_1, S_2, S_3	. . . . .	Sn
Espacios: exterior E, e interior		e

1.2 Polígono.

Es un conjunto ordenado de elementos geométricos enlazados que sirven para representar un objeto o una porción de terreno. En este caso el conjunto de elementos geométricos tiene posición relativa, lo que implica el concepto de orientación que puede ser magnética, astronómica o relativa a algún otro elemento.

A los elementos geométricos de los polígonos les corresponden magnitudes o valores que son:



Elementos geométricos	Magnitudes
Puntos	Coordenadas
Líneas	Distancias
Angulos	Angulos
Superficies	Areas
Espacios	Volúmenes
Orientación	Azimut

Coordenadas. Es una terna ordenada de número que sirven para indicar la posición en el espacio, de los puntos de una cadena topográfica; generalmente se les designa con las letras X, Y, Z.

Distancia. Es el número de unidades, de longitud que contiene -

una línea limitada por dos extremos.

Angulo. Es el número de unidades que contiene la abertura entre las líneas que lo forman.

Area. Es el número de unidades cuadradas que contiene una porción de superficie. Esta porción puede estar limitada por líneas rectas o curvas.

Volumen. Es el número de unidades cúbicas que contiene un espacio limitado por superficies planas o curvas.

Azimut. Es un ángulo formado por alguna línea de la línea de referencia llamada meridiana.

1.3 Sistema de referencia.

Elementos de referencia.

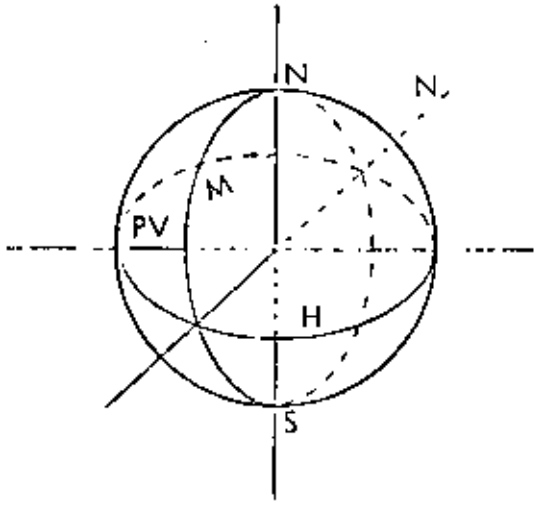
Vertical del lugar. Es la dirección que sigue la plomada en el lugar considerado.

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical del lugar.

Plano meridiano. Es un plano formado por el eje terrestre y la vertical del lugar. Es perpendicular al plano del horizonte.

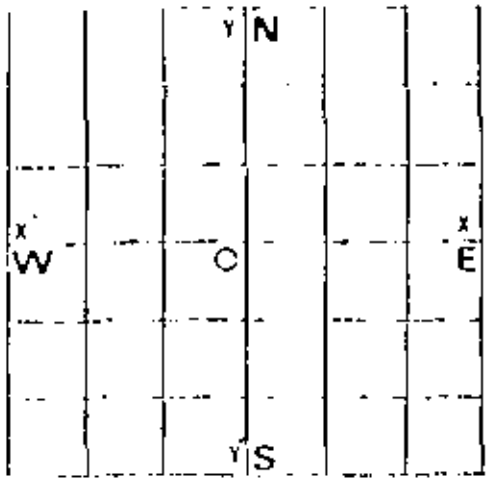
Primer vertical. Es un plano perpendicular al plano del meridiano y también al plano del horizonte.

El sistema de referencia está definido por tres ejes que se cortan perpendicularmente entre ellos y son: el eje X, el eje Y y el eje Z.



Eje X es la intersección del primer vertical con el plano del horizonte.

Eje Y es la intersección del meridiano con el plano del horizonte. Es coincidente con la meridiana.



Los extremos del eje X reciben el nombre de ESTE y OESTE.

Los extremos del eje Y reciben el nombre de NORTE y SUR.

Los cuatro puntos se indican con las letras N, S, E, W, respectivamente.

El plano de referencia queda dividido en cuatro regiones o cuadrantes que son: el Nor-Este (NE), el Nor-Oeste (NW) y el Sur-Este (SE) y el Sur-Oeste (SW).

2. MAGNITUDES.

Teniendo en cuenta los elementos geométricos que intervienen en las poligonales topográficas, se tienen las siguientes magnitudes:

2.1 Coordenadas.

X. Si la poligonal es lineal; por ejemplo un alineamiento recto.

X, Y. Si la poligonal es planimétrica, por ejemplo las figuras geométricas, que es el caso más común en la topografía tradicional.

X, Y, Z. Si la poligonal es tridimensional, es decir, que se tratan simultáneamente los elementos planimétricos y altimétricos. Algunos lenguajes de computación topográfica pueden resolver el problema en esta forma.

2.2 Distancias.

Inclinada. Es la contada sobre la línea que pasa por la estación y el punto observado y limitada por estos puntos. En Topografía es poco empleada.

Horizontal. Es la que tienen las dimensiones de la poligonal -

rpoyectadas en el plano horizontal. Son las distancias que se usan en Topografía, de tal manera que cuando se habla de "distancia" en estaciencia, se entiende que es "horizontal".

Vertical. Es la que tienen los puntos de la poligonal, contada desde una superficie horizontal de referencia, hasta el punto que se trata y sobre la línea vertical de proyección.

2.3 Angulos.

Horizontal. Es el ángulo diedro formado por los planos verticales que pasan por los extremos del ángulo (extremos observados) y por su vértice (estación).

Vertical. Es el ángulo contado desde el plano del horizonte que pasa por la estación hasta el punto observado, contado sobre el plano vertical que contiene a estos puntos.

De liga. Es el ángulo que relaciona a la poligonal con el sistema de referencia; puede ser el Azimut o el Rumbo, magnético o astronómico.

Azimut.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte de la meridiana, hasta el punto observado, sobre el plano del horizonte y en el mismo sentido del movimiento de las manecillas de un reloj. Se mide de 0 a 360° ó de 0 a 400 grados centesimales.

Rumbo.

Es el ángulo contado desde el extremo Norte o Sur de la meridiana, hasta el punto observado sobre el plano del horizonte, hacia el Este o el Oeste. Se mide de 0 a 90° ó de 0 a 100 grados centesimales.

2.4 Areas.

En Topografía solo interesan las áreas horizontales y verticales, se determinan por cálculo, en función de las demás magnitudes de la figura.

2.5 Volúmenes.

Interesan los volúmenes limitados por la superficie natural del terreno, el plano horizontal de referencia y los planos verticales que pasan por los lados. En Topografía los volúmenes se determinan por cálculo.

3. INSTRUMENTOS.

Un instrumento de topografía en su concepto más general es un conjunto de elementos ópticos, mecánicos y electrónicos que sirven para determinar en el terreno o en el plano las magnitudes que intervienen en la topografía y en muchas ocasiones las posiciones de puntos en la superficie terrestre.

A continuación se indican algunos:

Magnitudes	Instrumentos
Coordenadas:	Coordinatógrafos ortogonales y polares.
Distancias:	Alineadores de pínula, alineadores de prisma, podómetros, ruedas, perambuladoras, cadenas de agrimensor, longímetros, telémetros, estadias, distanciómetros electrónicos, equialtímetros y altímetros.
Angulos:	Escuadras de Agrimensor, escuadras de espejos o reflexión, escuadras de prisma o refracción, goniógrafos y goniómetros.
Areas:	Planímetros.
Volúmenes:	En topografía no existen instrumentos para determinarlos. Se calculan en función de otras magnitudes.
Orientación y Posición:	Astrolabios, giróscopos y posicionadores inerciales. Se utilizan para dar orientación y posición geográfica.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

COORDINATOGRAFOS Y GRAFICADORES

El coordinatógrafo es un instrumento diseñado para establecer o medir coordenadas. Su solución mecánica consiste básicamente en la materialización de ejes cartesianos o polares. Se fabrican para lograr diversas precisiones, por lo que vienen dotados con varias escalas, vernieres, microscopios para lecturas y accesorios para realizar diferentes trazos sobre la base de redacción..

Se distinguen dos tipos de coordinatógrafos: ortogonales y polares.

A continuación se describen algunos de los más conocidos y los accesorios que se utilizan para dibujar o grabar en papel o plástico recubierto (stabilene).

1. COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO H. S. A.

El graficado de puntos para producir una cuadrícula de apoyo para cualquier plano es una tarea mecánica y repetitiva, que puede ser resuelta mediante el coordinatógrafo de escalas, sin embargo, el trazado se puede realizar con mejores resultados mediante el coordinatógrafo ortogonal maestro, que consiste en una lámina de metal invar, con perforaciones correspondientes a los puntos de cuadrícula. La calidad del metal y el terminado anodizado le proporciona rigidez y limpieza en el uso, así como la precisión original de los orificios.

Los puntos se pican con un picógrafo manual, en el cual una guía embona perfectamente en los orificios y además permite ajustar el tamaño de la marca picada.

El uso combinado del coordinatógrafo maestro y un coordinatógrafo sencillo de escalas supera en muchos casos a un instrumento graficador, porque obtiene una superficie de trabajo mayor.

Se fabrican en los siguientes tamaños:

100 x 700 y 500 x 400 mm, con orificios a intervalos de 100 ó 50 mm y 40 x 30 pulgadas, con orificios a intervalos de 5 pulgadas.

2. COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO H. S. A.

Escalas: Sistema métrico:	1:500	1:1000	1:2000
Lecturas de escala: distancia de	0.05 mm, 0.0025 pulgadas		

círculo de 400g, lectura hasta 5g, estimación de 1c.
círculo de 360°, lectura hasta 2', estimación de 1'.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor.

Las características mecánicas de este coordinatógrafo son las siguientes:

- Guía de distancia y patines de acero inoxidable.
- Tornillos ajustadores para centrar el instrumento sobre el punto origen.
- Tornillos micrométricos para colocar con precisión los valores angulares y de distancia.
- Soportes de baleros para todos los movimientos.
- Superficie de trabajo de 400 mm de radio.
- División del círculo en 400g o 360° . Se fabrican también con los dos sistemas.

3. COORDINATOGRAFOS ORTOGONALES DE ESCALAS.

3.1 Modelo 1200 x 1200 mm. H.S.A.

La precisión gráfica es de 0.04 mm (0.0015 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. La precisión es mayor para distancias menores. Un intervalo en el disco corresponde a un movimiento del carro de 0.005" (estimación de 0.001").

Con la integración del taladro con el microscopio (amplificación - 7x) en una unidad, se eliminan los errores causados por el uso de múltiples aditamentos ópticos y de perforación.

Este instrumento viene provisto de cintas sin-fin ajustables, de - acero inoxidable con numeración espaciada, una mesa con marco de acero tubular que apoya la tabla de dibujo y una caja de 1.930 x 0.609 m. x 0.1524 m para guardar los rieles.

Es un instrumento muy preciso porque no tiene cremalleras ni piñones. Los mecanismos de conteo con discos son fácilmente intercambiables para cada escala.

Para el trabajo que requiere iluminación interior, este coordinatógrafo puede ser habilitado con una mesa iluminada. Esta mesa especial está fabricada con marco tubular de cuatro patas y apoya 2 placas de

vidrio que forman la superficie para dibujo. El equipo de iluminación está instalado en una caja y consta de tubos fluorescentes estabilizadores y un ventilador. La totalidad del área de placa de vidrio es de 1320 x 1320 mm, con iluminación uniforme por debajo.

Este instrumento puede usar un aditamento para dibujar ángulos de tal modo que multiplica sus posibilidades mecánicas, entre las que se cuentan:

- Dibujar líneas oblícuas a cualquier ángulo dado.
- Poder colocar los puntos angulares en cualquier parte de la región de trabajo del coordinatógrafo. Esto no afecta la relación con el sistema coordenado rectangular.
- Permitir mediante el sistema óptico, lecturas directas de 1' y estimaciones de 10".
- Poder usar los mismos accesorios del coordinatógrafo en este aditamento.

3.2 Modelo 400 x 240 mm H. S. A.

La precisión gráfica es ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en las direcciones X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado del carro de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumento para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las características mecánicas siguientes:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Las graduaciones y la numeración están en celuloide blanco y libre de reflejos.
- Tornillos micrométricos para la colocación precisa de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.3 Modelo 550 x 500 mm H. S. A.

La precisión gráfica es de ± 0.02 mm (0.0008 pulgadas) para la distancia mayor en la dirección X e Y. El estilete con microscopio se proyecta del lado de las ordenadas y permite un área de trabajo de libre acceso. La orilla recta embona en las ranuras del marco del instrumen

to, para la orientación rápida y aproximada del coordinatógrafo con respecto a una línea base existente.

El instrumento presenta las siguientes características mecánicas:

- Tornillos ajustables para alinear con precisión el instrumento, con respecto a un sistema coordenado dado.
- Graduaciones en celuloide blanco, libre de reflejos y con vernieres de vidrio.
- Cintas de escala móviles.
- Tornillos micrométricos para el posicionamiento preciso de los carros.
- Soportes con baleros para todos los movimientos.
- Posibilidad de acoplarle un compás radial.

El instrumento viene provisto con una caja de madera para embalaje.

3.4 Modelo 90 x 120 EA-F.

Esta variante se usa principalmente como mesa trazadora para hacer mapas en unión con el Stereometrograph. La caja de engranes se localiza en la pared posterior de la mesa trazadora. Bajo la caja de velocidades (caja de engranes) dispositivos síncronos (selsyn) están adosados, así que la mesa trazadora se acciona electrónicamente por el graficador. Las manivelas y contadores digitales, si se quiere, pueden ser colocadas en el lado frontal. Flechas articuladas aseguran la conexión mecánica desde la caja de engranes a las manivelas. Debido a esta prolongación, el coordinatógrafo de precisión cambia de modelo para convertirse en el 90 x 120 EZ-F, y en esta forma puede ser usado como una unidad separada. Conectando el instrumento registrador electrónico Coordimeter F, el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 EZ-F, debe estar suplementado con una fuente de poder autosíncrona (selsyn) y una caja de conexiones.

En este caso la combinación se designa como 90 x 120 EC-F.

3.5 Modelo 90 x 120 MA-F.

Este tipo no está equipado con una caja autosíncrona (selsyn) y así puede estar conectado a trazadores en forma mecánica solamente. La conexión mecánica del coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MA-F, a los graficadores estereográficos Techcart y Topocart por medio de flechas articuladas. Este equipo no está en particular provisto con manivelas y contadores digitales de coordenadas, pero se les puede adicionar si así se requiere. Por esta ampliación la designación 90 x 120 -

MZ-F, se aplica al coordinatógrafo de precisión que puede emplearse para hacer mapas sin usar un graficador.

La caja de engranes está localizada en el lado posterior de la mesa.

3.6 Modelo 90 x 120 MK-F.

La caja de engranes con manivelas y los contadores digitales de este coordinatógrafo de precisión están colocados en la parte frontal. Este coordinatógrafo no es adecuado para conectarlo a instrumentos graficadores. Se usa exclusivamente como una unidad separada.

Sus aplicaciones incluyen: la producción de modelos para retículas y placas de prueba en las industrias ópticas y de precisión. Valores calculados y medidos sobre mapas suministrados en forma tabular para la representación en diagramas, curvas y escantillones.

3.7 Modelo 90 x 120 MS-F.

La unidad básica es la misma que la usada con el coordinatógrafo de precisión 90 x 120 MK-F. El equipo está adaptado a las técnicas de corte para subestratos de emulsión con laca en bandas o en hojas (método por bandas). Incluye los siguientes accesorios:

Herramientas de corte, dispositivo para corte en forma circular con radios hasta de 120 mm, dispositivo para corte circular con radios desde 110 hasta 300 mm, reglas graduadas para cortes de líneas oblícuas, dispositivo afilador para las herramientas de corte, proyector para localizar los puntos. Para corte de círculos los carros X e Y pueden ser sujetados para aumentar la estabilidad.

3.8 Modelo Z-2 Zeiss.

Es un instrumento de precisión complemento del Estereoplanígrafo C-8 y que puede ser usado individualmente como coordinatógrafo manual o en combinación con el graficador electrónico Koordimat operado con tarjetas perforadas.

Puede ser utilizado para picar puntos, gravar líneas con punzón, dibujar líneas y círculos con minas de grafito y dibujar círculos con bolígrafo.

Tiene instrumentos adicionales como un contador de presión para el registro mecánico de las coordenadas X, Y, Z, número de puntos y símbolos en bandas de papel en zig zag o en hojas unitarias de formato-

DIN - A 4 si es necesario con papel copia.

Precisión en las lecturas de coordenadas X, Y:

a) en escalas (aproximación de 0.1 mm)
b) en contadores giratorios iluminados (aproximación de 0.02 mm)

Tiene una superficie utilizable en placa de vidrio de 1200 x 1200 - mm.

3.9 Koordimat - Coordinatógrafo controlado por tarjetas perforadas.

El equipo se compone del coordinatógrafo de precisión Z2 con servocontrol eléctrico, instrumento de coincidencia, armario de control y - perforador de tarjetas IBM. Sirve para el dibujo automático de puntos cuyas coordenadas rectangulares "x" e "y" hayan sido registradas en tarjetas perforadas. Si en lugar del imán elevador se utiliza el cabezal impresor St2, es también posible identificar automáticamente los puntos dibujados mediante tarjetas perforadas, con un número de cuatro dígitos y un - símbolo.

Cabezal impresor St2.

Utilizable en lugar del imán elevador en el Z2 para identificar automáticamente puntos aislados mediante un número de cuatro cifras y un - símbolo discrecional.

Dispositivo retrolector de coordenadas para el Koordimat.

Con este dispositivo, compuesto del proyector EP para mesa de dibujo, un panel adicional para el armario de control, un dispositivo de conmutación para el instrumento de coincidencia y una unidad de salida de tarjetas para el perforador de tarjetas, también se puede emplear el Koordimat para registrar en tarjetas perforadas las coordenadas de los puntos ya dibujados (por ejemplo, para fines catastrales).

3.10 Accesorios para Coordinatógrafos H. S. A.

Existen varios accesorios intercambiables con el estilete-microscopio, diseñados para grabar en diferentes materiales.

A continuación se describen algunos:

a) Compás giratorio para marcar círculos con diámetros de 0 a -- 0.5 mm ó a 0.2 pulgadas.

Se presentan con agujas de punta de acero o de zafiro para grabar en materiales revestidos.

b) Buriles y cojinete de centrado para grabar cuadrículas rectangulares y cualquier línea en X e Y.

El cojinete de centrado es intercambiable con el estilete-microscopio y sostiene los dispositivos de grabado en una posición vertical. Un disco fijador evita que gire.

El grosor de las líneas de grabado debe tenerse en cuenta al seleccionar el accesorio.

Existen las siguientes clases de buriles para grabar en distintos materiales:

- Para vidrio recubierto: buriles de acero.
- Para película recubierta: buriles con punta de zafiro.
- Para metal: grabadores lineales, cónicos con punta de metal duro y pesas adicionales.

c) Soporte para afilar los buriles.

Se utiliza para reafilar con precisión los buriles de acero o ángulos correctos. Un excéntrico ajusta y a la vez arregla el buril.

Este accesorio se suministra con la piedra de afilar junto con el anillo para grabar en vidrio revestido.

d) Eje con punta de diamante.

Cuando se preparan dibujos de referencia muy precisos en vidrio o en la manufactura de modelos metálicos, el eje con punta de diamante se puede usar para marcar directamente sobre el material en cuestión. El aditamento del estilete de punta de diamante es intercambiable con el estilete-microscopio en los coordinatógrafos tratados.

El eje trabaja en soportes con baleros y puede girar manualmente. Su lado más bajo está provisto con un soporte ajustable para la punta de diamante en forma piramidal.

Un aditamento para freno permite el ajuste del tamaño del punto.

El aditamento del estilete con punta de diamante del coordinatógrafo 550 x 500 mm, el estilete-microscopio y la pluma de dibujo descansan sobre la placa de vidrio.

c) Compases radiales.

Para dibujar arcos circulares existen compases radiales para los coordinatógrafos de 1200 x 1200 mm y 550 x 500 mm.

El compás gira en un eje rematado en punta, el cual está unido al centro del mango del microscopio. El radio requerido se establece por medio del desplazamiento del vernier con tornillos de aproximación.

Tamaño de los radios:	0 a 160 mm	0 a 540 mm
	0 a 300 mm	0 a 1000 mm

Los círculos y arcos se dibujan con una pluma suministrada como un accesorio standard o se graban con un aditamento especial con punta de metal duro o de diamante.

H. S. A.: Haag Streit Ag.
Manufacturers of Precision
Instruments Liebefeld, Suiza.

ZEISS/J.: Veb Carl Zeiss, Jena
D. D. R. República Democrática
Alemana.

ZEISS /O.: Carl Zeiss 7082,
Oberkochen, Alemania Federal.

NOMBRE	FABRICANTE	AREA	ESCALAS	PRECISION	ENLACE	PESO
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL MAESTRO	H. S. A.	1000 x 700 mm 1016 x 762 mm	Perforaciones cada 100, 50 mm y 5"	0.1 mm		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Con mesa de iluminación inferior	H. S. A.	1200 x 1200 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 Sistema inglés: 1:1200 1:2400 1:4800 1:6000 Ambos sistemas: 10:1 20:1 50:1	0.04 mm 0.0015 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	550 x 500 mm	Sistema métrico: 1:250 1:500 1:1000 1:2000 10:1 20:1 50:1 Ambos	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL	H. S. A.	400 x 240 mm	Sistema métrico: 1:5000 1:1000 1:2000	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFO POLAR O GONIOGRAFO	H. S. A.	Area circular de 400 mm de diámetro	Sistema métrico: 1:500 1:1000 1:2000 Graduación círculo: 400g 5c estimación 1c 360° 2' estimación 1'	0.02 mm 0.0008 in		
COORDINATOGRAFOS: *EA-F EC-F **MA-F MK-F MS-F	ZEISS/J	1200 x 900 mm	1:200 1:250 1:400 1:500 1:800 1:4000 1:5000 1:625 1:600 1:3200 adicional para los modelos EA-F, EZ-F, MA-F y MZ-F.	Errores mínimos cuadrados: En coordenadas: ± 0.03 mm En puntos: ± 0.04 mm	*Topocart Technocart Stereometrograph **Topocart Technocart	230 kg
COORDINATOGRAFO ORTOGONAL Z2	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	5 :1 1.5 :1 0.8 :1 0.375:1 4.166:1 1.5 :1 0.75 :1 0.25 :1 4 :1 1.33:1 0.66 :1 0.24 :1 2.66 :1 1.25:1 0.625:1 0.2 :1 2.5 :1 1.2 :1 0.6 :1 2 :1 1 :1 0.5 :1 1.66 :1 0.83:1 0.4 :1	En escalas: 0.1 mm En elementos giratorios: 0.02 mm	Estereoplanígrafo C-8 Ecomat 1	458 kg
KOORDIMAT	ZEISS/O	1200 x 1200 mm	1:48 1:50 1:75 1:80 1:100 1:120 1:125 1:150 1:160 1:200 1:240 1:250 1:300 1:400 1:500 1:800	0.2 mm		580 kg

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

ELEMENTOS PARA MEDICION ANGULAR

PROFESORES:
MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

ELEMENTOS DE MEDICION ANGULAR

1. GENERALIDADES.

Los limbos son los elementos para la medición angular y están -- formados por círculos graduados. Los teodolitos y tránsitos tienen uno para la medición de ángulos horizontales y otro para ángulos verticales. En los instrumentos antiguos o tradicionales los limbos son metálicos - con una cinta de plata en el lugar donde tienen las marcas de la graduación, algunos están protegidos con una cubierta metálica.

Estos limbos presentan las graduaciones siguientes:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno del limbo y de 360° a 0° en sentido izquierdo en el borde externo. Numerado de 0° a 360° en sentido derecho en el borde interno y en cuadrantes en el borde externo.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 90° con el 90 en el zenit y el nadir.

Las casas constructoras han sustituido gradualmente a los limbos metálicos por limbos de vidrio porque éstos tienen la ventaja de que las marcas de graduación se pueden hacer con extraordinaria precisión y - absoluta nitidéz. La lectura de estos limbos se hace generalmente por transparencias y además su resistencia es excelente. Estos limbos tienen la forma de un anillo con varios milímetros de espesor, van montados en un anillo de metal de similar coeficiente de dilatación.

Estos limbos tienen los tipos de graduación siguiente:

Limbo horizontal:

Numerado de 0° a 360° en sentido derecho.

Limbo vertical:

Numerado de 0° a 360° con el 0 en el zenit.

Los avances logrados en las máquinas para grabar han hecho posible extraordinarias perfecciones en la graduación de los limbos, por - ejemplo el teodolito Wild T2 tiene 1,080 partes en un limbo de sólo 70 mm de diámetro.

2. MECANISMOS DE LECTURA.

Los índices o mecanismos de lectura de los limbos están formados por vernieres, micrómetros y discos codificados para lectura electrónica.

2.1 VERNIERES.

El vernier o nonio es un dispositivo mecánico que se utiliza para leer una cifra que en una escala común sería solo estimada. El vernier en su conjunto está formado por el elemento de medición (limbo graduado) y por una regla graduada que contiene el índice.

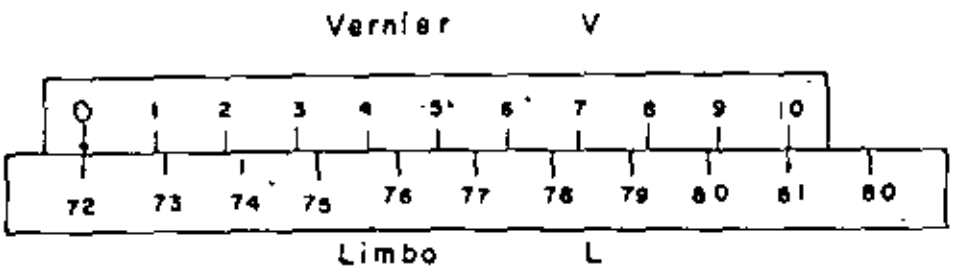


Figura 1

Si en la escala L considerada, se desliza la escala V, el índice O marca la fracción en el sentido de crecimiento de la escala L, si no se utilizara el vernier, esta lectura sería estimada, sin embargo, la fracción precisa es aquella que indica la marca del vernier que coincide -- con alguna marca del limbo.

Aproximación del vernier.

Sea: L : Valor de la menor división del limbo.
V : Valor de una división del vernier.
n : Número de partes del vernier.
a : Aproximación del vernier.

$$L - V = a \qquad nV = (n-1)\,L$$

$$a = \frac{L}{n}$$

En los vernieres no hay que confundir la aproximación con la -- apreciación, pues no siempre son iguales. La apreciación depende del

límite de la percepción visual (agudeza visual del observador). La expresión L entre n, es la aproximación del vernier y parece indicar que en un limbo graduado podría aumentarse la aproximación haciendo mayor número de divisiones al construir el vernier, sin embargo, no sería posible apreciar las rayas coincidentes pues habría incertidumbre, debido a los límites de la agudeza visual del operador.

Ejemplos de lecturas en escalas rectas.

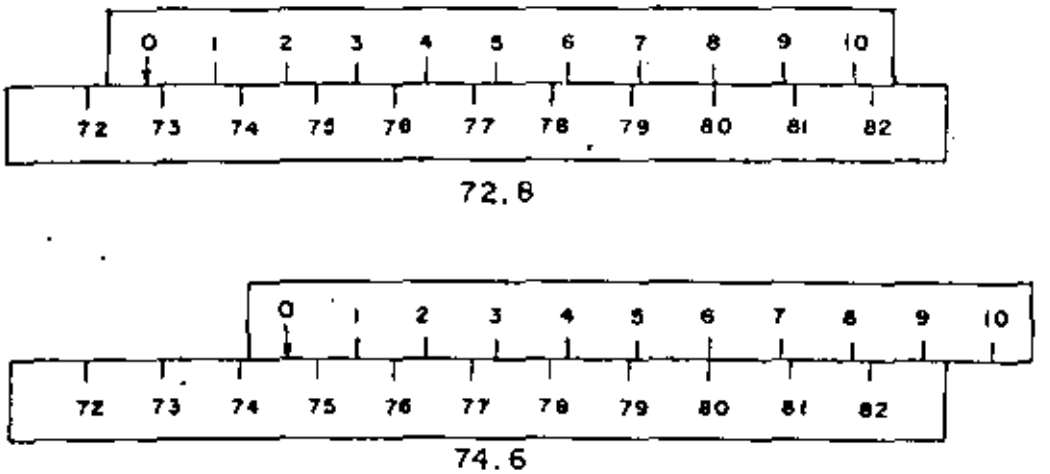


Figura 2

Ejemplos de lecturas en limbos y vernieres de tránsito.

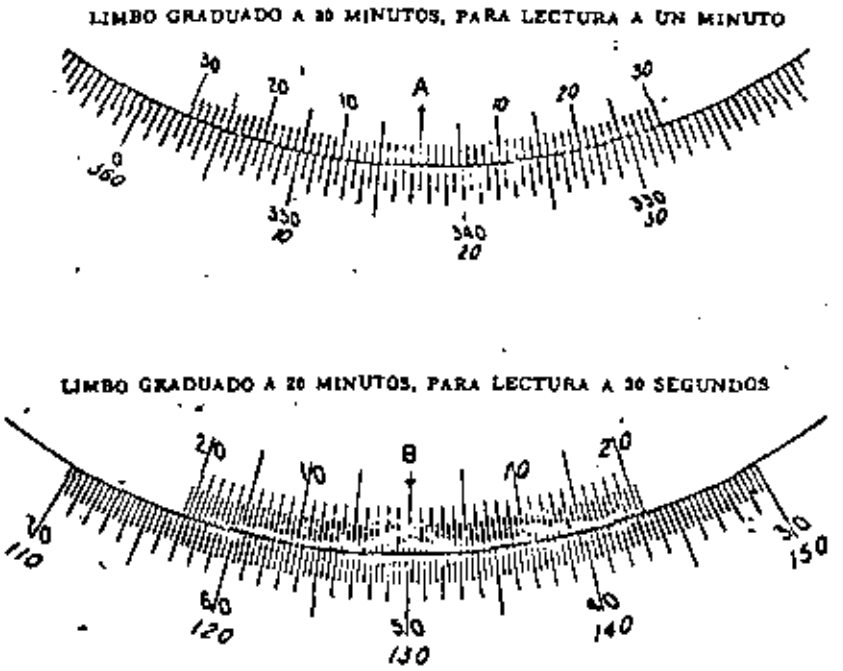


Figura 3

2.2 MICROMETROS.

En los instrumentos modernos para medición angular existe la tendencia a sustituir al vernier en los limbos de vidrio, por otros dispositivos más adecuados como es el caso de los micrómetros, que adoptan varias formas como las que a continuación se indican.

1. Micrómetro de estima.

Consiste en un microscopio de lectura dividido en forma de escala, cuya imagen coincide con la del limbo de igual modo que la retícula de un anteojo se superpone con la imagen del objeto. La retícula tiene una dimensión tal que al mirar a través del microscopio se ve de una magnitud idéntica a una división del limbo.

En los modelos más antiguos, el micrómetro tiene un solo hilo en el centro, sin embargo, hay algunos que mejoran la precisión aumentando los hilos de la retícula, algunos tienen tres o cinco hilos equidistantes de tal manera que las lecturas obtenidas con los hilos situados a la izquierda del central serán erróneas por defecto, mientras que las lecturas de los hilos de la derecha lo serán por exceso; el valor de la lectura es el promedio, con lo cual se aumenta la precisión.

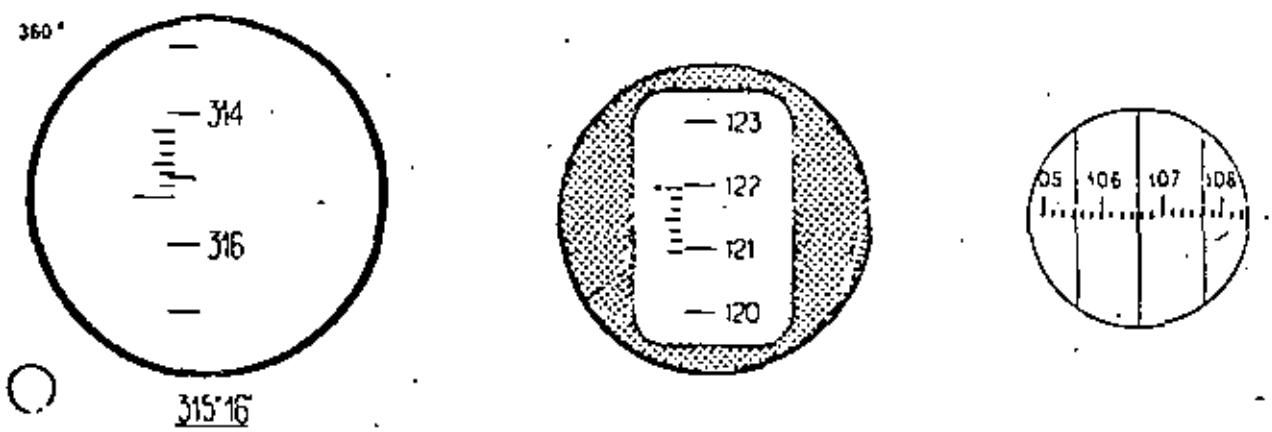


Figura 4

2. Micrómetro óptico de estima.

El Doctor Heinrich Wild logró revolucionar la construcción de los instrumentos topográficos introduciendo micrómetros de lectura sin necesidad de hilos ni de retículas. La fabricación de estos micrómetros fueron hechos al principio por la Casa Zeiss de Alemania, posteriormente por las fábricas Wild y más recientemente por la Casa Kern, ambas de Suiza.

El fundamento del método es el siguiente:

Sea L1, L2 un limbo de vidrio graduado de 0 a 360° y que, por un método óptico al observarlo a través de un microscopio, se traslada la imagen del sector L2 paralelamente a ella misma hasta verla en L'2 tangente al círculo. La graduación del punto de contacto en el sector L1, diferirá exactamente 180° de la leída en el sector L'2, y si la graduación del L1 crece a la derecha, la del L'2 crecerá hacia la izquierda, permaneciendo equidistantes a uno y otro lado del punto de contacto, las lecturas de L1 y de L'2 que difieren en una semicircunferencia.

Si se hace girar al círculo un cierto ángulo, la imagen L'2 girará el mismo ángulo en sentido contrario y en el punto de contacto las lecturas de ambos sectores seguirán siendo iguales (corrigiendo L'2 en una semicircunferencia). La diferencia de las lecturas extremas es el ángulo girado.

De este modo, no se necesita índice alguno, debiendo tomar como lectura la del punto de contacto de los dos círculos.

Unos prismas denominados separadores cortan ligeramente ambas imágenes del limbo de modo que aparezcan separadas por una línea fina.

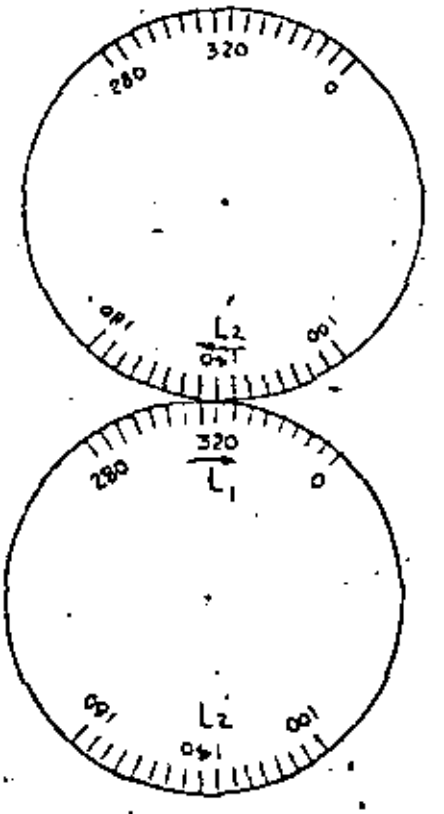


Figura 5

El teodolito Wild T-0 tiene este tipo de micrómetro. En este caso el limbo va dividido de 20' en 20' y para la lectura se tiene en cuenta que la distancia entre dos graduaciones iguales en ambos sectores, es doble de la que separa cualquiera de ellas del punto central, de lecturas coincidentes. De este modo se duplica la apreciación al medir la primera distancia y para reducirla a la mitad se toman las divisiones como si fueran de 10', apreciando a la estima la última fracción.

La ventaja de los micrómetros ópticos radica en la rapidez y claridad en las lecturas, duplicación del poder de apreciación y dar por corregido, con una sola lectura el error de excentricidad.

Ejemplos de lecturas.

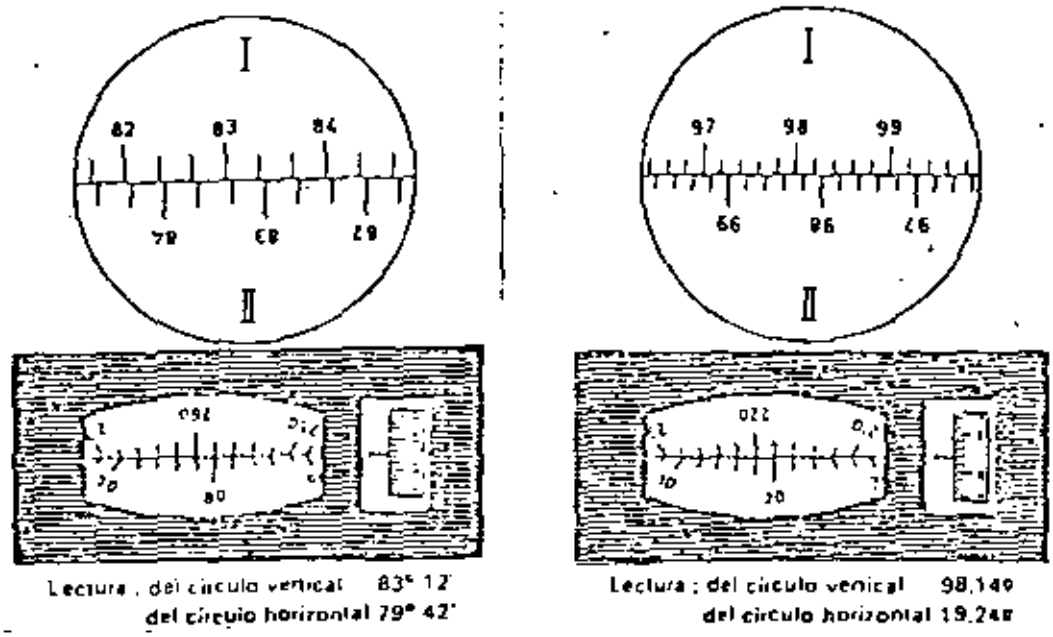


Figura 6

3. Micrómetro óptico de coincidencia.

Principio de la placa de vidrio.

Con los dispositivos anteriores sólo se puede apreciar el minuto o cuando más el medio minuto. Es posible aumentar la apreciación, adoptando el método óptico el principio de la placa de vidrio que se utilizan varios instrumentos que alcanzan excelentes precisiones.

El sistema se funda en el desplazamiento óptico en sentido contrario de las dos imágenes de la figura anterior, hasta que coincidan las divisiones de una y otra, midiendo el desplazamiento ampliado en un tambor o en una escala.

Se consigue esto intercalando en el recorrido de cada haz de rayos luminosos, una placa de vidrio de caras opuestas, planas y paralelas.

Cuando la placa ocupe la posición 1, el rayo luminoso R la atraviesa sin desviación, pero si se le hace girar un ángulo i será éste el de incidencia y el rayo se refracta, formando con la normal el ángulo r, saliendo de la placa paralelo a la primera posición pero separado de ella una distancia d. La distancia d se puede medir en función del ángulo i de giro de la placa y de las constantes de la misma.

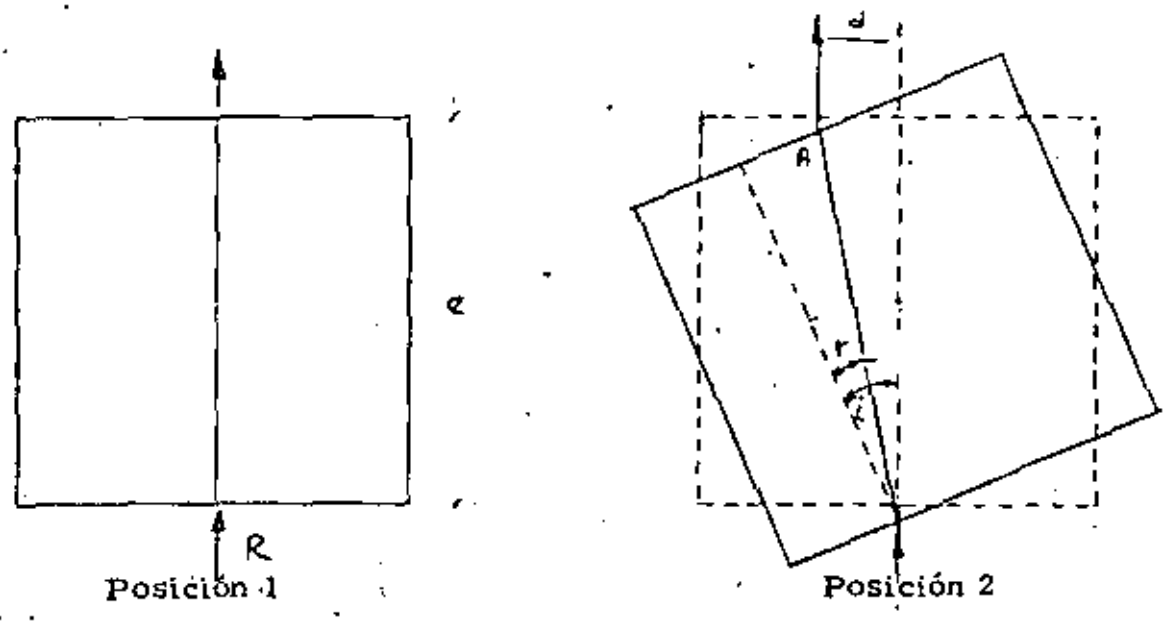


Figura 7

De la figura 2 se tiene:

$$AO = \frac{e}{\cos r}$$

$$d = OA \text{ sen } (i - r)$$

$$d = \frac{e \text{ sen } (i - r)}{\cos r}$$

Como i es un ángulo muy pequeño: sen (i - r) = (i - r) y

cos r = 1, por lo tanto:

$$d = e\,(i - r)$$

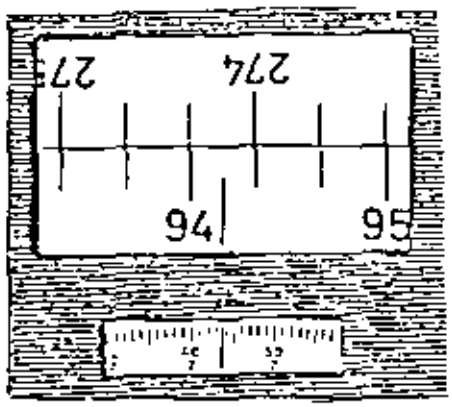
$$d = e\,\frac{i/r - 1}{i/r}\,i$$

$\frac{i}{r} = n$, que es el índice de refracción, por lo tanto:

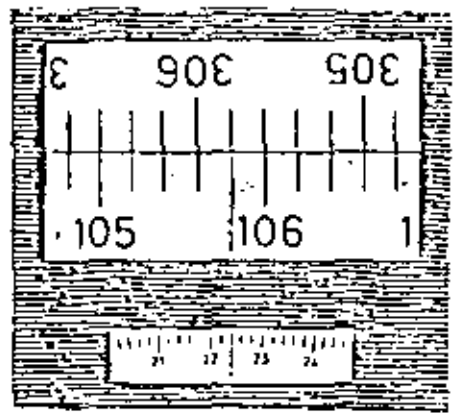
$$d = e\,\frac{n - 1}{n}\,i$$

Lo que quiere decir que la desviación se puede considerar como proporcional al ángulo i.

Si ahora se hace girar a las dos láminas de vidrio intercaladas respectivamente en los haces de rayos luminosos correspondiente a cada una de las imágenes de la figura 6 , el mismo ángulo en sentido contrario, se verá desplazarse los dos sectores del limbo hasta conseguir la exacta coincidencia de sus divisiones, como se muestra en la figura del teodolito Wild T2, donde se aprecia en el micrómetro el desplazamiento de las imágenes que equivale a la fracción de división que se debería apreciar a la estima.



94° 12' 44''



105.8224 g

Figura 8

En la escala del limbo, lo mismo que en la graduación sexagesimal que centesimal, se leen los grados y las decenas de minutos, mientras que los valores unitarios de éstos y los segundos se leen en la escala del micrómetro, junto al limbo y con el mismo microscopio.

En la figura 8 se observa como mediante el giro de un círculo de vidrio graduado se obliga a las dos placas micrométricas a girar en sentidos opuestos, desplazando los respectivos rayos luminosos procedentes de sectores opuestos del limbo hasta lograr la coincidencia de divisiones.

La parte del sector graduado del círculo de vidrio visible por el microscopio corresponde a la escalilla de la figura 8 .

Los dispositivos ópticos simplificados que dan una sola imagen del limbo pueden llevar también micrómetro óptico de coincidencia, que consiste en este caso, en una sola placa de vidrio de caras planas que desplaza la imagen hasta la coincidencia con un índice del retículo.

En todos los casos la desviación máxima del micrómetro, corres

ponde a una división del limbo, por lo que se consigue unicamente la coincidencia indicando el tope, el sentido en que ha de hacerse girar. La lectura da el desplazamiento desde la posición 0 de desviación nula.

A continuación se muestran los esquemas de lectura de los nuevos teodolitos Wild T2, que indican las decenas de minuto en forma digital.

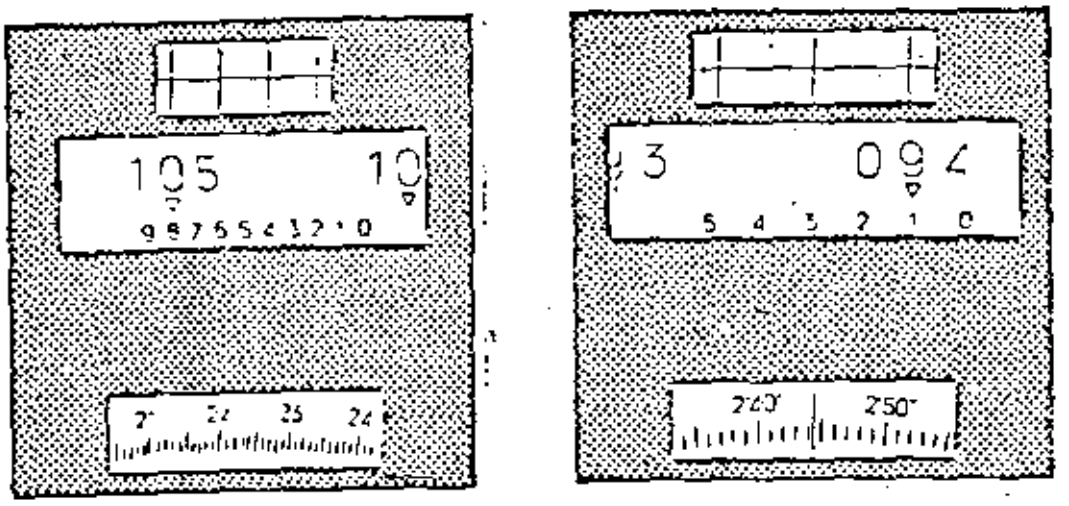


Figura 9

3. DISCO CODIFICADO PARA LECTURAS ELECTRONICAS.

La determinación de los ángulos horizontales y verticales en los tránsitos o teodolitos se puede hacer electrónicamente, transformandolos a lecturas digitales directas por medio de varios códigos binarios, como el que se muestra en la figura 10 , los cuales son impresos en círculos de vidrio y leídos por medios fotoeléctricos, magnéticos o por contacto directo. Las señales son clasificadas electronicamente y los desplazamientos angulares cuyas lecturas son mostradas por medio de pequeños tubos de nixie que corresponden a las lecturas del círculo horizontal y vertical. Los resultados también pueden ser almacenados en cinta magnética, cinta de papel o impresos en tarjetas para su posterior procesamiento en computadora.

El distanciómetro electrónico Reg Elta 14 y el Geodímetro Aga 700, tienen integrados teodolitos digitales y pueden proporcionar las lecturas en tubos nixie de 6 dígitos. Los valores con la información de identificación pueden ser registrados en la cinta.

Los sistemas de lectura electrónica digital directa son de construcción reciente y por la comodidad de su operación y fácil lectura son muy

aceptados en los medios de trabajo. Su construcción ha sido posible gracias al desarrollo que ha tenido la interpretación de códigos de varias clases de transformadores de un sistema a otro y discos codificados.

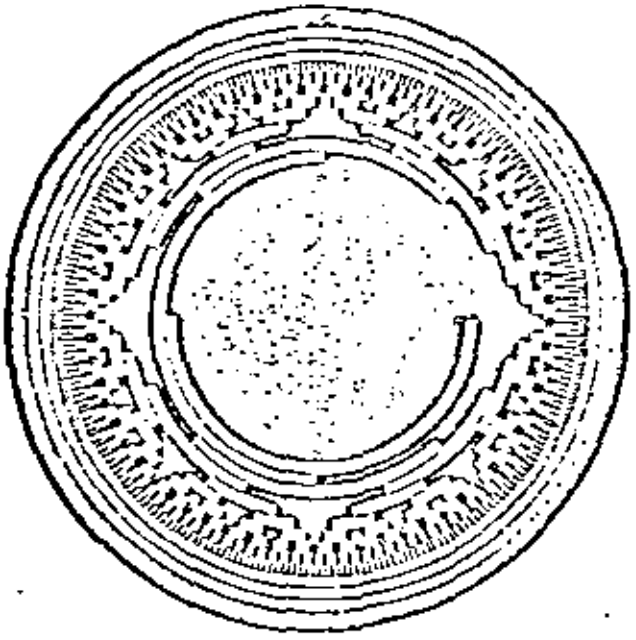
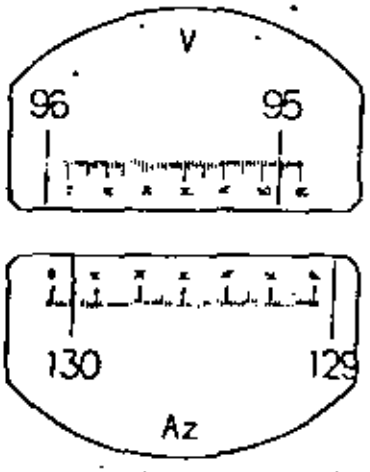


Figura 10

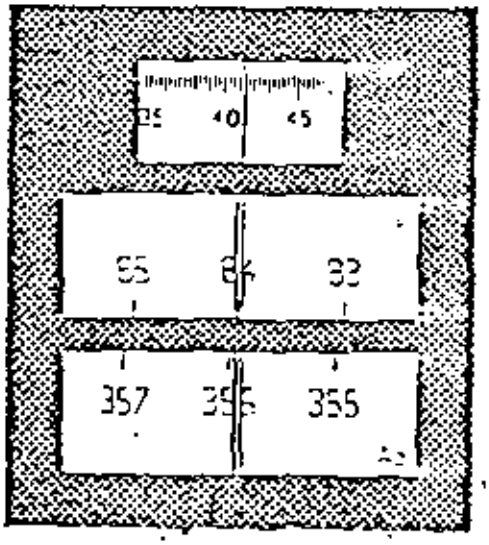
Ejemplos de lecturas

Wild T16



360° Lectura: del círculo vertical 95° 54,4'
del círculo horizontal 130° 04,6'

Wild T1A



Lectura del círculo vertical: 84° 41' 15" (360°)

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

IV ETAPA CURSOS DE INGENIERIA CIVIL EN EL PROYECTO DE PLANTAS HIDROELECTRICAS.

CURSO: "TOPOGRAFIA, FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"

PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

PROFESORES:
ING. MARIO GUEVARA SALAZAR
ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

AGOSTO, 1981.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 primer piso México 1, D. F. Tel: 521-40-20 Apdo. Postal M-2285

8.1 PRINCIPIO DE MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS.

8.1.1 Generalidades.

En años recientes varios sistemas electrónicos han sido desarrollados con el propósito explícito de medir distancias en topografía. Se han basado en la velocidad invariable de la luz y de las ondas electromagnéticas en el vacío. El primero de estos sistemas, denominado Geodímetro, aportó un valor muy preciso de la velocidad de la luz que difirió en sólo 0.4 de km., de la velocidad determinada por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en el año de 1957 y cuyo valor fue de 299,792.5 km/seg. La invención de este sistema marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

El primer geodímetro, así como todos los modelos siguientes utilizan un rayo de luz modulada para la determinación de distancias. Al final de la década de 1950 fué desarrollado el telurómetro, instrumento que utiliza microondas moduladas. Instrumentos similares al telurómetro fueron construídos en los años siguientes, y éstos junto con el geodímetro llegaron a ser comunes en la medición de grandes distancias.

El desarrollo y perfección de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicas de estado sólido, aportaron nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de distancias. Con estos nuevos recursos fué posible construir instrumentos más portátiles con menos consumo de energía y con más facilidad para operar y leer. Sin embargo, estos instrumentos no tienen el alcance de los antes indicados. Son ejemplos los instrumentos que utilizan luz infrarroja.

Con el estudio y desarrollo de la luz láser ha sido posible en años recientes construir instrumentos para los mismos fines que utilizan luz láser altamente coherente.

En la actualidad, debido a la inversión, precisión de los resultados y facilidad relativa de su operación, los geodímetros y los instrumentos de microondas se usan todavía. Los instrumentos que utilizan luz infrarroja y que, en general son de corto alcance, han tenido éxito notable en la topografía común, pues en muchos casos han eliminado el longímetro con excepción de las distancias muy cortas que se presentan en la topografía de construcción. Los instrumentos de luz laser tienden a desplazar a los dos anteriores, sin embargo, en la actualidad existen serias dudas con relación al daño que puedan causar a los operadores.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para medir distancias, que en lo sucesivo se van a designar como EDM, se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance, pues los instrumen-

tos que se han construido a través del tiempo se han mantenido dentro de ciertos rangos de alcance máximo. Los instrumentos EDM de corto alcance son generalmente los que usan luz infrarroja y llegan a tener hasta 5 km. de alcance. Los modelos más recientes son de lectura digital, peso ligero, poco consumo de energía y algunos tienen adaptado un goniómetro para la medición de ángulos.

Estos instrumentos usan diodos emisores de luz para generar luz infrarroja en la región de los 900 a 930 nm de longitud de onda (fuera del espectro visible).

Algunos instrumentos de corto alcance utilizan como onda de transmisión luz láser visible como el Geodímetro AGA modelo 76.

Un instrumento de alcance medio es aquél que es capaz de medir distancias hasta de 16 km. Estos instrumentos usan varios tipos de ondas de transmisión como luz de tungsteno, luz de mercurio, luz láser y microondas con frecuencias del orden de 10 billionHz ó 10 Gigahertz -- (10 GHz). La mayor parte de los instrumentos de este tipo usan luz láser como onda de transmisión.

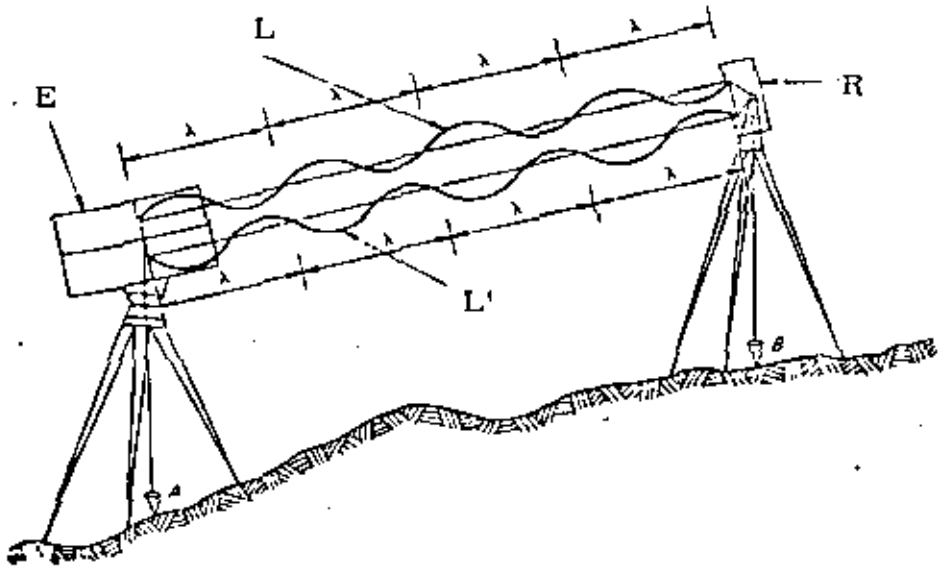
Los instrumentos de largo alcance son aquellos capaces de medir distancias mayores de 16 km. Algunos utilizan luz como onda de transmisión y pueden medir distancias hasta de 60 km. con excelente precisión. Los geodímetros y los nuevos instrumentos láser están en este rango; otros utilizan microondas como el telurómetro y el electrotape, éstos últimos llegan a tener un alcance mayor que los primeros.

Continuamente se diseñan accesorios y nuevos instrumentos que permiten una mayor variedad de alcances, de tal modo que su optimización va en aumento lográndose poco a poco mejor operabilidad del instrumento, reducción de tamaño, peso y digitalización en las lecturas, tanto de la distancia como de los ángulos horizontales y verticales que le corresponden.

8.1.2 Principio de medición de los instrumentos EDM que usan ondas de luz.

En la figura siguiente:

E : Emisor	L : Luz modulada
R : Reflector	L' : Regreso de L



En todos los instrumentos EDM que usan tungsteno, mercurio, láser o luz infrarroja como ondas de transmisión, un rayo contínuo de luz es generado en el instrumento emisor. Antes de entrar a las colimaciones ópticas y tener dirigido al reflector que es colocado en el otro extremo de la línea por medir, este rayo contínuo es modulado en intensidad a muy alta frecuencia. La modulación, en efecto, transforma el rayo de arriba en longitudes de onda que están en función directa de la frecuencia de modulación. Esta longitud de onda está dada por:

$$\lambda = \frac{v'a}{f}$$

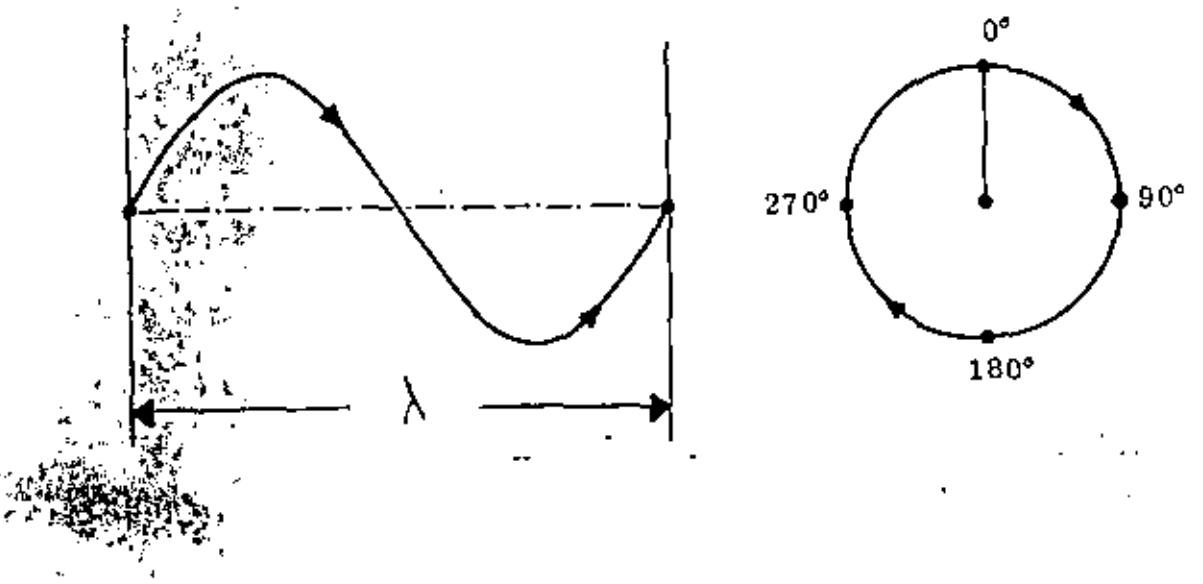
en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros.

$v'a$: es la velocidad de la luz a través de la atmósfera en metros por segundo.

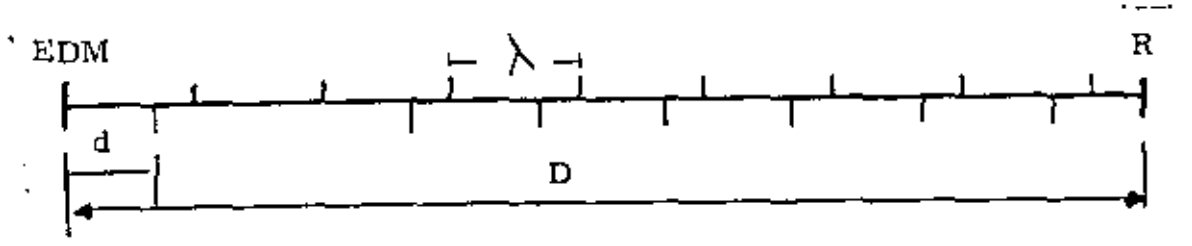
f : es la modulación de frecuencia en hertzios.

El valor de v'a está en función de la temperatura del aire, presión atmosférica y presión parcial del vapor de agua.

La intensidad de la luz modulada varía de 0 al principio de cada longitud de onda, llega a un máximo a los 90°, regresa a los 180°, disminuye hasta un mínimo a los 270° y regresa a 0 a los 360°. La distancia entre 0° y 360° es por lo tanto igual a la longitud de onda completa.



Por esta razón, los instrumentos EDM generan una cinta luminosa para medir, cuya longitud es igual a la longitud de onda de la luz modulada. Por ejemplo, si la frecuencia de modulación es 10MHz y la velocidad de la luz es aproximadamente 300,000 km/seg., la longitud de la onda modulada es de alrededor de 30 metros.



En la figura anterior el instrumento EDM está localizado a la izquierda en un extremo de la línea por medir y el reflector R a la derecha ocupando el otro extremo de la línea. El reflector es la esquina de un cubo de vidrio en el cual los lados del cubo son perpendiculares uno al otro dentro de tolerancias muy estrechas. Esta perpendicularidad causa que la luz que llega sea reflejada internamente y salga paralela a ella misma. La esquina del cubo, por lo tanto, constituye un retroreflector. Un número entero de longitudes de onda, más una distancia parcial llamada d integran el total de la distancia del instrumento EDM al reflector y de regreso al aparato EDM. Se observa que si el reflector o el instrumento emisor se mueven hacia atrás o hacia adelante, a lo largo de la línea en una distancia igual a una mitad de longitud de onda o cualquier número de medias longitudes de onda, el valor de la distancia parcial d, será el mismo en cada caso.

Esta distancia parcial es medida en el instrumento con un cierto tipo de medidor de fase. La distancia buscada D entre los dos extremos de la línea, está dada por:

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

en la que: n : es el número entero de longitudes de onda en la doble distancia.

λ : longitud de onda de modulación en metros.

d : distancia parcial.

Una manera en la cual esta ecuación se podría resolver sería tener el conocimiento previo de la longitud de la doble trayectoria hasta la media longitud de onda más cercana, lo cual requiere que la longitud de la línea sea conocida al cuarto de la longitud de onda más cercano. Como esto no es práctico la ambiguedad de n puede ser resuelta utilizando la técnica de las frecuencias múltiples.

Si la medición es realizada conociendo su frecuencia y ésta se repite usando una frecuencia ligeramente diferente, dos valores distintos de d serán leídos en el medidor de fase. Conociendo los dos valores de las longitudes de onda, se obtienen dos ecuaciones similares a la anterior, pudiendo ahora resolverlas simultáneamente y obtener el valor de la incógnita y por lo tanto la distancia D buscada.

La técnica de frecuencias múltiples para resolver la ambiguedad está incorporada dentro de los modernos EDM. Tal sistema en uso común es la técnica de modulación de diez en diez. Suponiendo que una modulación de frecuencia de 15 MHz es establecida en el instrumento, resulta una longitud de media onda de 10 metros. Aceptemos que la extensión completa del medidor de fase esté representando una distancia de 10 metros.

La lectura del medidor de fase entonces da como unidad el metro y parte decimal del metro en la medida de una distancia de 0 a 9.999 m. Por ejemplo en una distancia de 3,485.276 m. esta frecuencia daría la parte 5.276. Cambiando a 1.5 MHz, la media longitud de onda es ahora 100.0 metros, la cual es resuelta por el medidor de fase para dar las decenas de metros, en este caso 80 (8 decenas). La siguiente frecuencia es entonces 0.15 MHz, la cual en unión con el medidor de fase, proporciona las centenas de metros, lo que en este caso es 400 (4 centenas) Finalmente a una frecuencia de 15 KHz dará el número de miles de metros en la distancia la cual en este caso es 3,000 (3 miles).

El instrumento EDM HP-3800 en el cual se lee en pies, emplea la técnica de modulación de diez en diez. El operador primero apunta la óptica del instrumento al reflector colocado en el otro extremo de la línea, usando el telescopio de observación, y manipula un par de tornillos tangenciales para perfeccionar el alineamiento vertical y horizontal. El mejor alineamiento se determina observando un medidor que muestra la intensidad de la señal de regreso. El operador entonces equilibra las intensidades de las señales de salida y de entrada con objeto de asegurar un adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos. Por medio de un switch deslizante se mueve a la primera frecuencia y se sintoniza en el número adecuado de pies y partes decimales y se lee 7.14 pies. Entonces se desliza el switch a la próxima frecuencia más baja y se sintoniza en 10 pies; la siguiente frecuencia de más abajo da 400 pies; y la más baja de todas las frecuencias proporciona 7,000 pies. La distancia medida es por lo tanto 7,417.14 pies.

Como hay gran variedad de instrumentos EDM no es práctico discutir los detalles particulares de operación de cada instrumento. Los fabricantes describen ampliamente la operación de los mismos.

8.1.3 Principio de medición de instrumentos EDM que utilizan microondas.

Los instrumentos de microondas generan superalta frecuencia -- (SHF) u ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente alta en el rango de 3 a 35 GHz, como ondas portadoras. Estas, a su vez, están moduladas a frecuencias que varían de 10 a 75 MHz según el tipo de instrumento. La longitud de onda modulada está dada por:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

en la que: λ : es la longitud de onda de modulación en metros o pies.

Vr : es la velocidad de la microonda a través de la atmósfera en metros por segundo

f : es la frecuencias de modulación en hertzios.

El valor Vr depende de la temperatura, presión atmosférica y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares, que se colocan en los extremos de la línea por medir, éstos son conocidos como instrumento maestro e instrumento remoto. Las observaciones son realizadas en el instrumento maestro, y

en el remoto también debe haber un operador, éste funcionará como reflector de la onda generada por la estación maestra.

El operador en la estación maestra selecciona una frecuencia de modulación en la cual las microondas son transmitidas hacia el instrumento remoto: quien indica al operador en la estación remota por medio de la comunicación del instrumento (está interconstruída en el mismo aparato) qué frecuencia de transmisión está siendo usada. El operador remoto coloca su instrumento a la frecuencia correspondiente. La señal es recibida por el instrumento remoto y es retransmitida a la estación maestra sin demora. Un medidor de fase, en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas emitida y recibida, en un osciloscopio en los primeros modelos de microondas o en forma digital en los más recientes. Esto, en efecto, da la fracción o parte decimal de la longitud de onda por la cual la doble trayectoria, de la estación maestra a la remota, se desvía de un número entero de longitudes de onda. Esto es equivalente a la distancia d ya tratada.

Si cualquiera de los dos, el instrumento maestro o remoto tuvieran que ser movidos sobre la línea por medir, ya sea hacia adelante o hacia atrás, por media longitud de onda modulada, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior. Por lo tanto la ambiguedad que existe en los instrumentos de ondas de luz, se presenta también en los instrumentos de microondas.

La técnica para resolver la ambiguedad en el número de longitudes de onda completas contenidas en la doble distancia, generalmente es la misma como la que se indicó en el EDM a base de ondas de luz.

En el telurómetro, por ejemplo, la modulación múltiple de frecuencias patrón es como se indica:

Patrón A: 10,000 MHz
Patrón B: 9,990 MHz
Patrón C: 9,900 MHz
Patrón D: 9,000 MHz

El patrón A por sí mismo interrumpe la onda de 10 MHz por medio del medidor de fase para dar lo más próximo a 50 pies y la parte decimal de 50 pies contenida en la distancia directa entre la estación maestra y la remota. Una combinación de los patrones A y D resuelve lo más próximo a 500 pies; una combinación de los patrones A y C resuelve lo más próximo a 5,000 pies y una combinación de los patrones A y B resuelve lo más próximo a 50,000 pies. En los instrumentos más antiguos se hacían cálculos para reducir las lecturas del medidor de fase a la distancia deseada, mientras que los instrumentos recientes proporcionan auto-

mática o semiautomáticamente la reducción.

8.1.4 Efectos de las condiciones atmosféricas en la velocidad de la onda.

Las condiciones de la atmósfera que afectan la velocidad de propagación de la luz y las microondas son: la temperatura del aire, presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa, a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Un conocimiento de estos elementos permite una determinación del índice refractor del aire, el cual se debe conocer para calcular la velocidad de la luz o de las microondas, bajo ciertas condiciones meteorológicas dadas.

Para ondas de luz el índice refractivo n_g de aire normal está dado por:

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4})\, 10^{-6}$$

en la que: λ_c : es la longitud de la onda de la luz portadora en micras.

Según la clase de luz utilizada en los EDM los valores de λ_c son como sigue:

Ondas de transmisión	λ_c (μm)
Vapor de mercurio	0.5500
Incandescente	0.5650
Laser roja	0.6328
Infrarroja	0.900 - 0.930

El índice de refracción n_a para ondas de luz partiendo de las condiciones del aire normal, puede ser calculado por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)\, p}{273.2 + t} - \frac{1.5026\, e \times 10^{-5}}{273.2 + t}$$

en la que: p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio - (Torr).

t : es la temperatura del aire en grados centígrados.

e : es la presión de vapor en Torr.

Prácticamente para todas las mediciones de distancias con luz, el último término de la ecuación anterior que incluya la presión de vapor, puede ser despreciado, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en las ondas de luz.

La velocidad de las ondas de luz en el aire, Va está relacionada a la velocidad de la luz en el vacío por:

$$Va = \frac{C}{n_a}$$

El valor de C es 299,792.5 km/seg.

Ejemplo. Un rayo laser rojo con frecuencia modulada de 24 MHz atraviesa la atmósfera, cuya temperatura es 26° C y la presión atmosférica es 759 Torr. ¿Cuál es la longitud de onda modulada de la luz?.

Solución. El índice de refracción del aire normal para la onda de transmisión laser es:

$$n_g = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{0.6328^2} + \frac{0.068}{0.6328^4}\right) 10^{-6} = 1.0003002$$

El índice de refracción del aire bajo las condiciones atmosféricas dadas despreciando el último término es:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474\,(1.0003002 - 1) \times 759}{273.2 + 26} = 1.0002738$$

La velocidad de la luz laser a través de esta atmósfera está dada por la expresión:

$$Va = \frac{299.792.5}{1.0002738} = 299710.4 \text{ km/seg.}$$

Finalmente la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,710.4}{24 \times 10^6} = 0.01248793 \text{ km} = 12.48793 \text{ m.}$$

El efecto de la presión del vapor de agua, el cual puede se

ciado cuando se trabaja con luz, es muy grande cuando se usan EDM de - microondas. Consecuentemente la humedad relativa debe ser determinada cuidadosamente en el campo, en el momento de la medición.

Un Psicómetro de alta calidad el cual da lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo, debe ser empleado para la determinación de la presión del vapor.

El índice de refracción de las microondas n_r, está dado por:

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(p - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}\left(1 + \frac{5748}{273.2 + t}\right)e$$

En la que p : es la presión atmosférica en milímetros de mercurio. (torr).

e : es la presión del vapor en milímetros de mercurio, en torrs.

t : es la temperatura del aire (bulbo seco) en grados centígrados.

La velocidad de la propagación de las microondas Vr a través de la atmósfera está dada por:

$$Vr = \frac{C}{n_r}$$

Y la longitud de onda modulada está dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{Vr}{f}$$

Ejemplo. ¿Cuál es la longitud de onda en metros, de microondas moduladas a una frecuencia de 10 MHz, si la presión atmosférica es 643 Torr, la temperatura es 23.9° C y la presión de vapor 3.5 Torr?.

Solución.

$$(n_r - 1)\,10^6 = \frac{103.49}{297.1}(643.0 - 3.5) + \frac{86.26}{297.1}\left(1 + \frac{5748}{297.1}\right)3.5 = 243.4$$

y $n_r = 1.0002434$. Con la ecuación:

$$Vr = \frac{299,792.5}{1.0002434} = 299,719.5 \text{ km/seg.}$$

Finalmente con la ecuación:

$$\lambda = \frac{299,719.5}{10 \times 10^6} = 0.02997195 \text{ km} = 29.97195 \text{ m.}$$

Las ecuaciones dadas para la determinación del índice de refracción se presentan en diferentes formas en varios artículos y publicaciones. Hay ligeras e insignificantes variaciones en los resultados obtenidos por medio de las diferentes expresiones o fórmulas.

Las fórmulas tratadas con anterioridad permiten al lector apreciar la importancia relativa de la temperatura; presión y presión del vapor en ambos casos, luz y microondas.

Los efectos de las condiciones atmosféricas son tratados de varias maneras en los diversos sistemas de EDM.

Las correcciones son pequeñas para distancias cortas, cuando se emplean EDM a base de ondas luminosas. Para líneas más largas un error de 10° C en la temperatura efectiva de la trayectoria del rayo, introduce un error relativo de 10 ppm y un error de 25 mm de mercurio, en la medición de la presión atmosférica también introduce un error relativo de 10 ppm.

Las correcciones en cualquiera de los dos casos son calculadas en base a los datos meteorológicos determinados al momento de medir, o también el circuito del instrumento es modificado para considerar las condiciones atmosféricas dentro del cálculo.

En el instrumento HP-3800, por ejemplo, las correcciones del medio ambiente se marcan en una carátula dentro de la unidad de potencia. Esto cambia la frecuencia modulada con objeto de mantener una longitud de onda constante a cualquier temperatura y presión. En el caso de los instrumentos EDM de microondas, la presión parcial del vapor de agua obtenida por las lecturas termométricas del bulbo seco y húmedo debe ser determinada con buena precisión. Un error de 2 mm en la presión del vapor o un error de 1.5° C en la diferencia entre la temperatura del bulbo seco y húmedo producirán un error relativo aproximado de 10 ppm a temperatura normal. Este error relativo crece con un incremento en la temperatura del aire. Suponiendo que las condiciones meteorológicas hayan sido determinadas satisfactoriamente, las correcciones para las distancias medidas se hacen fácilmente con la ayuda de varias gráficas, tablas o nomogramas, que son suministrados con los instrumentos.

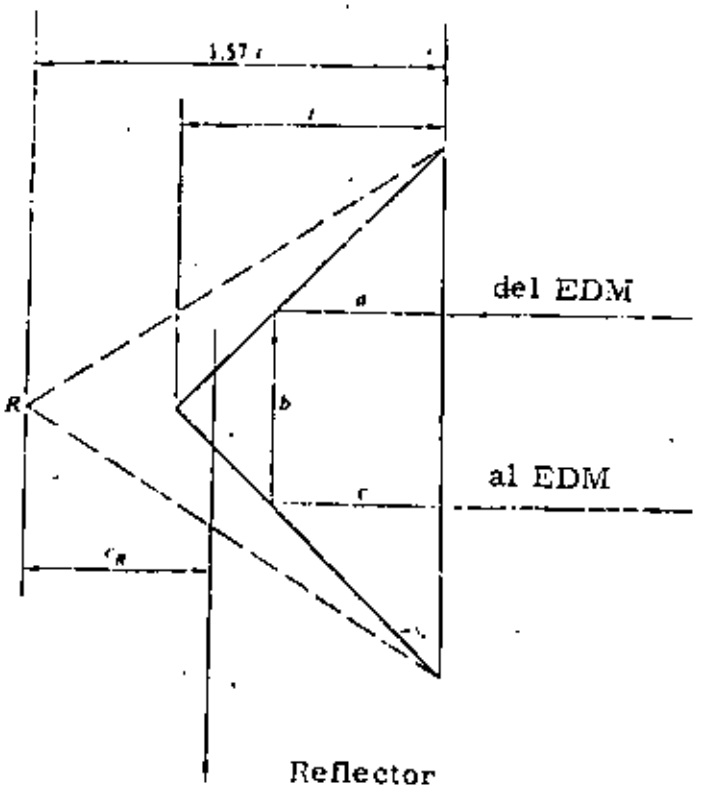
Si se usa un barómetro aneroide para determinarla presión atmós

férica, la lectura de elevación en metros o pies debe ser convertida al valor apropiado de presión en milímetros o pulgadas de mercurio. Esta conversión se hace usando gráficas o tablas suministradas por el fabricante del instrumento.

La tabla siguiente puede ser usada para convertir metros de elevación a milímetros de mercurio y recíprocamente.

8.1.5 Errores instrumentales en los EDM.

Si un instrumento EDM moderno es adecuadamente sintonizado, hay muy pocas causas de errores instrumentales que necesiten corrección. Un error conocido como "constante del reflector" es causado por no tener el centro efectivo del reflector plomeado en el extremo lejano de la línea. Este tipo de error se muestra en la figura siguiente para el caso de un reflector cúbico. La distancia a través de la cual viaja la luz en el cubo de vidrio durante la retrorreflexión es a + b + c, la que a su vez es igual a 2t. La distancia t se mide desde la superficie del reflector hasta la esquina del cubo de vidrio. La distancia equivalente en el aire a través de la cual la luz viaja es 1.57 x 2t, debido al índice de refracción del vidrio. La esquina efectiva del cubo está en R y representa el final de la línea. Si la línea de la plomada pasara verticalmente enfrente del punto R, entonces un error C_R se introduciría en la distancia medida de la línea, y en este caso la distancia C_R tendría que ser restada. La constante del reflector es eliminada mediante la posición adecuada del centro eléctrico del EDM y del prisma de reflexión en su montura.

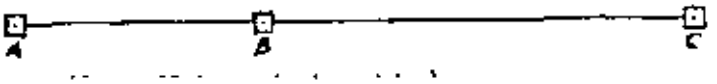


Un error similar se presenta en la estación remota de un sistema de microondas. Si el centro eléctrico no está sobre la línea vertical del instrumento, en este caso un error constante se introduce en cada medición. Un error sistemático se introducirá si la línea de la plomada en el aparato transmisor no pasa a través del centro eléctrico del instrumento. Este es idéntico al error en el extremo remoto de los sistemas de microondas. Dos métodos pueden ser empleados para determinar el valor de este error.

En el primero, se establece una línea lo más larga posible y se mide usando una cinta invar, de acero, o con un EDM de onda de luz, conocida la constante del reflector. Debido a la precisión inherente de los EDM, esta línea debe ser medida con un alto grado de precisión. Si la distancia conocida es medida con el EDM, la distancia corregida por condiciones meteorológicas, por la constante del reflector e inclinación de la línea, debe concordar con la distancia establecida. La diferencia entre las dos da el valor de la constante del instrumento C_1.

Cuando se usa el sistema de microondas, la constante de la estación maestra puede ser combinada con la constante de la estación remota y proporcionar un valor único para aplicarlo a cada distancia medida. Esta constante combinada se obtiene midiendo a lo largo de una distancia conocida y haciendo la comparación correspondiente como se indicó con anterioridad.

Si una línea base confiable no está disponible y si no es factible medir una línea, un segundo método puede ser aplicado para determinar la constante del instrumento. En la siguiente figura, tres puntos A, B y C, se localizan sobre una línea recta.



El EDM ocupa el punto A y se miden las distancias AB y AC. Se traslada el EDM al punto B y se mide la distancia BC. Estas tres mediciones se corrigen debido a las condiciones meteorológicas constantes del reflector (en el caso de un instrumento de onda de luz) e inclinación. Entonces si C_1 es la constante del instrumento o la constante maestra remota combinada:

(medida AB + C_1) + (medida BC + C_1) = medida AC + C_1, dando
C_1 = medida AC - (medida AB + medida BC).

Los instrumentos y reflectores actuales llegan a estar tan bien calibrados en el momento de la fabricación, que las pequeñas constantes del instrumento y del reflector se conocen con precisión. Generalmente están reducidas a cero en el proceso de fabricación. La determinación de las constantes en el terreno generalmente no se requiere. La determinación del valor C_1 se hace bajo la suposición de que el instrumento está adecuadamente sintonizado para dar la modulación de frecuencia correcta.

Un error en la frecuencia produce un error de escala tal como la longitud de la cinta incorrecta, discutida con anterioridad. Por ejemplo, si la modulación de frecuencia correcta es 10 MHz y si la verdadera frecuencia se desvía de ésta por 100 Hz, un error relativo de 10 ppm afecta cada medida. Las frecuencias pueden ser comprobadas por medio de un contador de frecuencia. Una comprobación de frecuencia deberá ejecutarse a intervários regulares, particularmente si se ejecutan levantamientos de alta precisión o estos tienen líneas muy largas. Alternativamente, si el EDM se comprueba regularmente con una distancia conocida, aplicando correcciones por constantes del instrumento y del reflector, condiciones meteorológicas e inclinación, se puede detectar un cambio de frecuencia.

8.1.6 Reflexión de microondas terrestres.

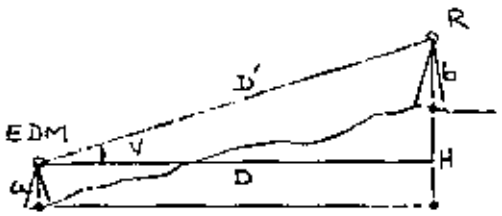
El EDM de microondas tiene un rayo relativamente amplio. Consecuentemente, las ondas que viajan de un extremo al otro de la línea, pueden tener reflexiones importantes originadas por el terreno entre las estaciones, particularmente si este es plano y libre de vegetación gruesa.

Las ondas reflejadas pueden introducir serias alteraciones cuando las mediciones se hacen sobre el agua. Las ondas reflejadas en este caso son causantes que se obtenga una distancia defectuosa, debido a que viajan sobre trayectorias más largas que los rayos directos. Si se hace una serie de lecturas finas como se toman las del modelo A del telurómetro, cada una con una frecuencia diferente y si hay fuertes reflexiones, estas lecturas variarán en forma cíclica. Si las lecturas se grafican, como una función de la frecuencia portadora, idealmente toman la forma de una curva senoidal. La variación cíclica en las lecturas finas se llama oscilación. La interpretación de la curva de oscilación que representará el mejor valor es cuestión de experiencia y criterio. Generalmente un promedio de las lecturas finas, será lo suficientemente preciso para la mayoría de las mediciones.

8.1.7 Reducción al horizonte de la distancia inclinada.

Algunos modelos recientes proporcionan distancia inclinada, - distancia horizontal y distancia vertical, por lo que la reducción al horizonte es innecesaria, sin embargo, para aquellos modelos que - no realicen automáticamente esta operación se procederá como sigue:

Cuando no se conocen las elevaciones de la estación E.D.M. y del prisma R:



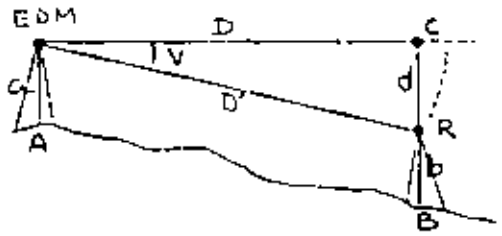
$$D = D' \cos V$$

$$H = D' \operatorname{sen} V + a - b$$

En la figura:

E.D.M.: Estación emisora.
R : Estación reflectora.
D' : Distancia inclinada
D : Distancia horizontal.
H : Distancia vertical.
a : Altura del punto eléctrico EDM.
b : Altura del punto de - reflección R.
V : Angulo vertical.

Cuando se conocen las elevaciones de las estaciones:



En la figura:

C : Corrección aplicada a D' para obtener D.
A : Estación EDM.
B : Estación del reflector.

$$C = D' - D$$
$$d^2 = D'^2 - D^2$$
$$d^2 = (D' - D)\,(D' + D)$$
$$d^2 = C\,(D' + D)$$

$$C = \frac{d^2}{2D} \quad \text{aprox.}$$

En la que:

d = (cota A + a) - (Cota B + b)

$$D = D' - C$$

INSTRUMENTOS PARA MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Geodímetro 12	a	1	1	1,600	3
Geodímetro 7T		1	1	500	11
Distomat DI 10	a	2	1	2,000	18
Distomat DI 3	a, c	2	1	900	7
Distomat DI 3S	a, c	2	1	1,500	7
DM 2000		3	1	2,500	11
DM 500	a	3	1	500	2
SM 11	b, c	4	1	2,000	20
Reg Elta 14	b, c, d	4	1	2,000	20
Eldi 1		4	1	5,000	8
Eldi 2		4	1	3,000	4
Eldi 3		4	1	1,500	4
SM 4		4	1	2,000	8
HP-3800		5	1	3,000	8
HP-3805		5	1	1,600	8
HP-3810	b, c	5	1	1,600	12
Micro-ranger	a	6	1	1,600	6
DM 60 Cubitape		7	1	2,000	7
MA 100		8	1	2,000	14
CD 6	a	8	1	2,000	4
Beetle 500	a	9	1	500	3
SDM 3H		10	1	1,600	17
SDM IC		10	1	1,600	6
Akkuranzer MK-II		11	1	1,350	-
Distomat DI 4	a, c	2	1	2,000	-
Taquimat TC 1	b, c, d	2	1	2,000	-
Geodímetro 76		1	2	3,000	8
Geodímetro 710	b, c	1	2	5,000	14
Geodímetro 6DL		1	2	25,000	15
Geodímetro 8		1	2	60,000	23
Geodímetro 700		1	2	500	14
Ranger I		6	2	4,000	16
Ranger II		6	2	6,000	16
Ranger III		6	2	12,000	16
Ranger IV		6	2	12,800	16
Rangemaster		6	2	60,000	30

INSTRUMENTO	C	F	O. P.	ALCANCE	PESO Kg
Distomat DI 50		2	3	50,000	19
DM 20 Electrotape		7	3	50,000	12
CA 1000		8	3	30,000	3.5
MRA-3		8	3	80,000	2
Geodímetro 6A		1	4	25,000	16
Mekometer ME 3000		3	5	3,000	15

C. Características:

a: E.D.M. Unidad montada sobre un teodolito común.
b: El círculo horizontal y vertical están integrados en la unidad E.D.M.
c: Integrado en la Unidad el reductor automático de la distancia horizontal y diferencia de elevación.
d: Unidad para perforar cinta para computadora.

F. Fabricantes:

1. Aga, Suecia.
2. Wild, Heerbrugg Suiza.
3. Kern, Aarau Suiza.
4. Zeiss, Oberkochen, Alemania Federal.
5. Hewlett-Packard, U.S.A.
6. Keuffel and Esser, U.S.A.
7. Cubic Corporation, U.S.A.
8. Tellurometer (Plessey) Corp. U.S.A.
9. Precision International, U.S.A.
10 Sokkisha, Tokio, Japón.
11 Scintrex, Ontario, Canadá.

O.P. Onda portadora:

1. Infrarroja.
2. Laser.
3. Microonda.
4. Vapor de mercurio
5. Xenón.