

TEMA 9 – MEDICIÓN INDIRECTA DE LONGITUDES Y NIVELES

4. MEDICIÓN ELETRO-ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

4.1. Introducción¹

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha tenido la necesidad de medir distancias para poder así efectuar tareas como delimitar territorios, edificar, rellenar terrenos etc. Tal fue dicha necesidad que al comienzo el hombre utilizó su cuerpo como elemento de medida (por ej. los egipcios usaban sus pies y codos como unidades de medida.). Avanzando un poco en el tiempo nos encontramos con elementos de medida como por ejemplo la cinta métrica, la cual permite medir distancias que van de los centímetros a las centenas de metros, hasta los modernos sistemas de medida existentes en la actualidad, que brindan la posibilidad de medir hasta miles de kilómetros.

A mediados de los años cincuenta nació la **medición electrónica de distancias (M.E.D)**, y vino a sustituir a los laboriosos métodos de **medida directa** que hasta entonces se empleaban en todos los campos de la topografía.

Estos métodos consistían en largas series de catenarias salvando bosques y accidentes del terreno, mediciones con hilos de INVAR, etc, que hacían de la medida de distancias una observación complicada, que requería por lo general mucho más tiempo que la medida de ángulos, obteniéndose al final menor precisión que en esta última.

Los primeros instrumentos que medían la distancia electrónicamente fueron los **Geodímetros**, en un primer momento de prisma reflector plano, y de gran tamaño y peso (hasta 90kg.). (1949-1964)

En los sesenta fueron mejorando, tanto el propio instrumento como el prisma reflector. Pero la obtención de la distancia no era inmediata, sino que había que realizar operaciones matemáticas durante una media hora para llegar al cálculo final de la distancia.

Lo cierto es que con estos instrumentos aunque algo rudimentarios y experimentales en principio se podían llegar a medir largas distancias (30 km.)

También por aquellos años aparecieron los **Telurómetros**, que utilizaban una **longitud de onda** distinta. Eran necesarios dos equipos, uno en cada extremo de la distancia a medir, y tomar el tiempo de viaje de la onda para obtener así



¹ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

la distancia, multiplicando ésta por la velocidad de la luz.

Durante las décadas siguientes los **distanciómetros** fueron reduciendo su peso y simplificando la medida, también los prismas sufrieron una transformación y mejoraron mucho su eficacia.

En los años ochenta los distanciómetros ya iban montados sobre los teodolitos y más tarde se integraron en el propio teodolito, como ya ocurre en las Estaciones Totales.

Existe una variedad considerable de equipos que miden distancias (distanciómetros), aquellos para distancias cortas (abarcen gamas que van desde los centímetros hasta cientos de metros), aquellos para distancias medias (desde los centímetros hasta algunos kilómetros), y por último aquellos para distancias largas (hasta miles de kilómetros).



4.2. DEFINICIÓN DE DISTANCIÓMETRO. MEDIDA DE DISTANCIA ELEMENTAL.

Un distanciómetro es un instrumento electrónico que puede medir una determinada distancia en forma directa. Para ello se le debe indicar al equipo entre qué puntos se desea medir.

Para medir la distancia que existe entre un punto **x**, y otro punto **y** se debe colocar el equipo en cualquiera de los dos puntos mencionados, y en el otro se debe colocar algún tipo de objeto que permita 'indicarle' al distanciómetro que allí termina la

distancia deseada (dicho objeto es un espejo especial, aunque no siempre es así como se verá más adelante). Luego se debe "enfocar" el equipo a través de una mira (o algún medio de enfoque similar) al objeto ya mencionado. También se debe tener la precaución que el distanciómetro y el objeto reflector (espejo) estén a la misma altura del piso. De esta manera se le indica al equipo que comience a medir, y luego de un cierto instante se posee la indicación de la distancia incógnita en la pantalla del distanciómetro.



A la hora de la medición el equipo distanciómetro generalmente se monta sobre un trípode que posee dos regules, el primero regula la altura a la cual se encuentra el distanciómetro, y el segundo actúa sobre la posición de la base, sobre la cual se apoya el distanciómetro, para que esté horizontal con respecto al suelo. También se debe hacer coincidir el reflector a la misma altura en que se encuentra el distanciómetro. De esta forma el distanciómetro emitirá una señal que viajará por el aire, recorriendo la distancia deseada, hasta impactar en el objeto reflector, volviendo así al distanciómetro. Y de esta forma el distanciómetro es capaz de calcular la distancia.

NOTA: el procedimiento de medida citado, corresponde a la medida elemental de distancia, motivo por el cual el distanciómetro y el reflector se encuentran a la misma altura respecto del suelo. No siendo esta última una condición indispensable para medir, ya que existen una gran variedad de medidas donde no se cumple.

4.3. TIPOS DE DISTANCIÓMETROS. ²

Un equipo distanciómetro emplea como principio de funcionamiento la propiedad de propagación de las ondas sobre un medio determinado (para este caso el aire), ya sean ondas de presión (como las que producen el sonido emitido de cualquier parlante de audio), u ondas electromagnéticas (como la luz y las microondas), que viajan recorriendo el camino de ida de la distancia incógnita hasta impactar en el objeto reflector, donde regresan nuevamente al distanciómetro.

Se puede realizar una clasificación de distanciómetros según el principio físico que emplee el equipo para funcionar. Existen **tres tipos de distanciómetros**:

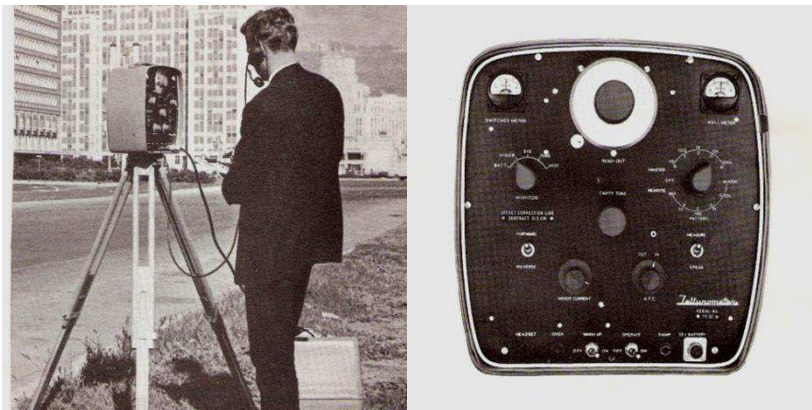
- acústicos.
- electrónicos o microondas.
- electro-ópticos.

4.3.1. Distanciómetros acústicos:

Se basan en ondas sonoras emitidas por el equipo distanciómetro, que se propagan por el medio (aire). Estas ondas se encuentran en la gama del ultrasonido. Este tipo es muy poco empleado debido a que las ondas de presión que se transmiten se atenúan muy rápidamente, con lo cual no se pueden alcanzar grandes distancias, quedando restringido este tipo de técnica a unos cuantos metros.

4.3.2. Distanciómetros electrónicos:

Estos distanciómetros, denominados **Telurómetros**, emiten ondas electromagnéticas de frecuencia muy alta (alrededor del gigahertz). Permiten cubrir distancias hasta los 50km (200 km en el mejor de los casos). El error es de aproximadamente $\pm 3 \text{ cm} \pm D/300000$. La emisión de la onda electromagnética es efectuada por una antena tipo dipolo, en el foco de una parábola. En el punto de retorno se coloca un



² Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

instrumento receptor que reenvía la señal al transmisor. Y por último la recepción se hace por la misma antena que emite.

Uno de los inconvenientes del Telurómetro era mantener la estabilidad de la frecuencia de la onda que estaba muy afectada por la temperatura y además presentaba la desventaja de requerir dos operadores igualmente entrenados.

4.3.3. Distanciómetros electro-ópticos:

Son aquellos que emiten ondas de luz al medio, las cuales se propagan a la velocidad de la luz. Hay una gran diversidad de equipos de este tipo, obteniéndose gran variedad de alcances.

De los tres tipos de distanciómetros expuestos, el acústico no es empleado en el área de la agrimensura debido a su corto alcance (tan solo algunos metros). El de microondas perdieron utilidad debido a que los electro-ópticos están ganando mercado día a día gracias a los bajos costos, y a las sorprendentes distancias alcanzadas, y principalmente porque para medir distancias de cientos de kilómetros se emplean Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los cuales se consiguen hoy en día por cientos de dólares. Además los reflectores que emplean los equipos de microondas no son “simples espejos”, son dispositivos electrónicos activos que detectan la radiación que llega proveniente del transmisor (distanciómetro) y la reenvían nuevamente a este último, con lo cual se incrementa la complejidad de este tipo de aparatos y obliga además a disponer de dos operadores igualmente entrenados para realizar una medida tal como se indicó anteriormente.

Los distanciómetros **electro-ópticos** a su vez se subdividen en varios tipos:

- **Luz común:**

Los distanciómetros que utilizan este tipo de fuente de luz se denominan **Geodímetros** y están fuera de uso en la actualidad. La onda lumínica es generada por luz emitida por una lámpara incandescente de potencia que oscila entre los 30 y 60 vatios, funcionando en régimen de súper tensión (es decir con fuentes switching). Puede ser alimentada con baterías de 12 volts. Estos distanciómetros pueden operar hasta 2 y 5 Km. durante el día y hasta 10 y 15 Km. durante la noche. Si se permite la sustitución de la lámpara común por una de mercurio, con disipación de hasta 300 vatios, se podrá ampliar el alcance de medida. Sin embargo debido al consumo de esta lámpara se deben emplear generadores, lo cual crea problemas de transporte. En ambos casos la luz generada es continua (es decir que la misma se genera de manera ininterrumpida en el tiempo, aunque luego la luz



emitida es modulada a través de algún método apropiado), y cubre toda la gama visible del espectro, entre 400 nm. y 720 nm (nanómetros: 10^{-9}).

- **Infrarojos:**

En estos instrumentos la onda es generada por un diodo luminoso de arseniuro de galio (AsGa), que emite una radiación infrarroja, invisible, que ronda entre los 900 y 930 nm. Con la tecnología actual, la potencia emitida máxima de dichos diodos es pequeña (alrededor de 150mW), lo que limita mucho la aplicación de este tipo de distanciómetros. Por ello el alcance queda restringido a normalmente 1 Km. (excepcionalmente 2 ó 3 Km). Otro punto en contra es la disminución del rendimiento de estos diodos con el calor, con lo cual se deben montar dispositivos apropiados de refrigeración, y protegerlos contra el sol.

- **Láser:**

La onda es generada por un dispositivo láser, el cual puede ser continuo o pulsado (un régimen continuo es aquel en el cual se emite radiación lumínica de manera ininterrumpida en el tiempo, en cambio un régimen pulsado es aquel en el cual la emisión lumínica se realiza durante breves intervalos de tiempo). Si se emplea un láser continuo, por ejemplo de Helio Neón (HeNe), con una disipación de 5mw, se pueden alcanzar distancias de 40 a 60 Km. Y mejores rendimientos se pueden lograr con láseres pulsados, ya que se pueden conseguir picos de emisión lumínica de varios vatios (durante microsegundos) y lograr así distancias superiores. Más adelante se explicará en detalle el funcionamiento de un emisor láser.

Estos dos últimos tipos de distanciómetros electro-ópticos (infrarrojos y láser) son los que se utilizan en la actualidad. Los basados en láser son los que poseen mejor relación rendimiento-costos gracias a los dispositivos semiconductores láser que día a día reducen su costo de una manera vertiginosa.

4.4. FUNCIONAMIENTO DE UN DISTANCIÓMETRO. MEDICIÓN DE DISTANCIA. ³

Como ya se mencionó un equipo distanciómetro emite una onda electromagnética que viaja por el medio (aire), se refleja en un objeto (punto al cual se desea conocer la distancia), y vuelve nuevamente al equipo. Hasta este punto no se dio información alguna del tipo de onda que se debe transmitir para hallar la distancia, esto fue adrede, ya que el “acondicionamiento” de esa onda dependerá del método de medida que use el equipo. Existen dos métodos para hallar la distancia incógnita:

- Método de fase.
- Método del tiempo de vuelo.

4.4.1. Método de fase:

Si de alguna manera se puede medir el tiempo que tarda la onda en recorrer una distancia, y se conoce la velocidad del medio por donde se propaga dicha onda, es posible obtener tal distancia. Matemáticamente:

$$d = v \cdot t \quad (1)$$

donde: v: velocidad [m/s] y t : tiempo [s]

Si ahora suponemos conocida la velocidad de propagación, para calcular d solo nos resta conocer el tiempo que demoró la onda en recorrer la distancia incógnita. Hay que aclarar que el tiempo que contará el distanciómetro es el que transcurre entre el

³ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

momento en que parte la onda, llega al reflector y vuelve al distanciómetro nuevamente, por ello se está contando el tiempo que tarda la onda en ir y volver, razón que obliga a modificar la fórmula anterior a:

$$2 \cdot d = v \cdot t \quad (2)$$

O lo que es lo mismo, el tiempo que tardará la onda en recorrer el trayecto de la distancia a medir será :

$$t = 2 \cdot d / v \quad (3)$$

Donde $v = c = 300.000 \text{ Km/seg}$ debido a que la velocidad con la que se propaga la onda ronda la velocidad de la luz

Los tiempos que deben medirse son extremadamente cortos, aun para distancias grandes. A modo de ejemplo se ve que si la distancia que se quiere medir son 10 km el tiempo transcurrido será de 66 μseg (microsegundos).

$$t = 2 \cdot d / c = 2 \cdot 10 \text{ km} / 300.000 \text{ km/seg} = 66 \mu \text{ seg}$$

Y si se pretende un error en la distancia del orden del centímetro, se deberá estar calculando el tiempo con una resolución de los pico segundos (10^{-12} seg)

$$\Delta t = 2 \cdot \Delta d / c = 2 \cdot 1 \text{ cm} / 300000 \text{ Km} / \text{seg} = 66,6 \text{ pseg (picosegundo)}$$

Razón por la cual se decide emplear una medida indirecta, es decir, no calcular el tiempo directamente, sino recurrir a una estrategia para saltar este “inconveniente” (que como se verá en el otro método no es tan grave).

Dichas exactitudes en el tiempo se consiguen comparando las fases relativas de la onda que se transmite desde el equipo y la onda que llega luego de reflejarse en el espejo. Para comparar el desfase que existe entre la onda transmitida y la recibida se debe de alguna manera, modular la emisión lumínica emitida por el dispositivo transmisor. Es decir, la onda emitida de luz no puede poseer una amplitud continua a lo largo de la distancia que deberá recorrer, pues en este caso sería imposible diferenciar la fase de cada señal (la transmitida y la recibida).

Para ello se modula la señal de manera que varíe la amplitud de dicha onda al recorrer la distancia a calcular.

A continuación se detalla la justificación matemática para el empleo de este método, donde para simplicidad del análisis se supondrá que la onda modulada es de tipo senoidal.

Si la onda que emite el distanciómetro es “ e_t ” entonces se tiene:

$$e_t = A \cdot \text{sen} (\omega \cdot t)$$

Donde:

e_t : onda transmitida

ω : pulsación angular.

A : amplitud.

Si el tiempo que demora la onda en viajar, ida y vuelta, hasta el reflector, lo denominamos τ , entonces, la onda reflejada, al llegar al equipo se verá afectada de la siguiente manera:

$$e_r = e_t (t + \tau) = A \cdot \text{sen} [\omega (t + \tau)] = A \cdot \text{sen} [\omega \cdot t + \omega \cdot \tau]$$

Donde $\omega \tau$ es la diferencia de fase buscada. Luego denominando a $\omega \tau$, como $\Delta \phi$ y recordando (3), $\Delta \phi$ se puede escribir como:

$$\Delta \phi = \omega \cdot \tau = \omega \cdot 2 \cdot d / v \quad (4)$$

Luego la pulsación angular ω se puede expresar como:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot v / \lambda \quad (5)$$

donde: f : es la frecuencia de oscilación.

V : es la velocidad de propagación

λ : es la longitud de onda.

Nota:

Período (T): Por tratarse de un fenómeno periódico, que se repite sin variantes, definimos a T como el lapso (tiempo) que separa dos sucesos idénticos de la emisión (onda). Se lo expresa en segundos.

Frecuencia (f): Es el concepto inverso al periodo, se lo define como el número de veces que un suceso (ondas, variaciones, ciclos) se produce en la unidad de tiempo. Se la expresa en Herzios cuyo valor es igual a un ciclo por segundo.

Longitud de onda (λ): Se la expresa en unidades de medidas lineales comunes o bien, dado que la longitud de onda es muy pequeña, se suele usar el micrón = $1\mu = 1\text{mm}/1000$ o bien el milimicrón = $1\text{ micra} = 1\text{ m}\mu = 1\text{mm}/1.000.000 = 10^{-6}\text{ mm}$. Se la define como la distancia entre dos situaciones similares de la onda.

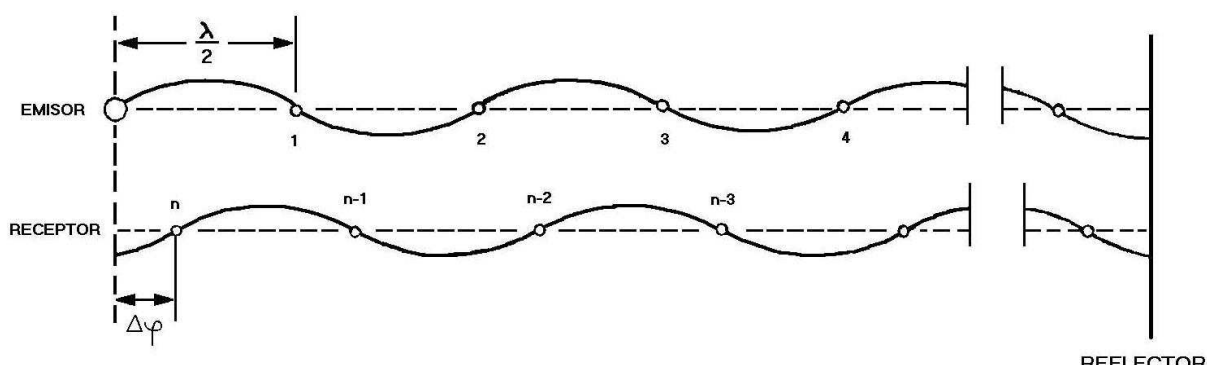
Reemplazando adecuadamente la ecuación (5) en la (4):

$$\Delta\phi = \omega \cdot 2 \cdot d / v = 2 \cdot \pi \cdot (v/\lambda) \cdot 2d/v = 4 \pi d / \lambda \quad (6)$$

De aquí podemos despejar la distancia:

$$d = \frac{\lambda \cdot \Delta\phi}{4 \cdot \pi} \quad (7)$$

Esta última ecuación muestra que es posible calcular la distancia a través de la medición de la diferencia de fases entre la onda transmitida y la recibida, pues la longitud de onda λ es conocida, debido a que se genera internamente en el instrumento. El desarrollo anterior no está del todo correcto puesto que cuando la distancia $2 \cdot d$ (recorrido de ida y vuelta del haz de luz) es mayor que la longitud de onda λ (condición que se dará en la totalidad de los casos) se producen desfases de números enteros de mitades de longitudes de onda, que no tiene en cuenta la formulación anterior, incurriéndose en un error. Vale decir que existe una indeterminación en el desarrollo anterior. La siguiente figura esquematiza lo dicho:



$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \Delta\phi \quad (8)$$

Donde: n : es nro. entero.

λ : longitud onda.

$\Delta\phi$: diferencia de fase.

En la (8) se adiciona a la diferencia de fase que determina la distancia, la cantidad de n medias longitudes de onda que existen en el camino de ida y de vuelta de la distancia a medir. Presentándose ahora una indeterminación al querer hallar la distancia pues no se conoce el valor de n . Para salvar ese problema se puede realizar una segunda medida empleando una onda con una longitud de onda ligeramente inferior (frecuencia mayor) a la de la primer medida, teniendo de esta forma un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Es decir:

$$d = n_1 \cdot \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\lambda_1}{4\pi} \cdot \Delta\phi_1 \quad (9)$$

$$d = n_2 \cdot \frac{\lambda_2}{2} + \frac{\lambda_2}{4\pi} \cdot \Delta\phi_2 \quad (10)$$

El valor de n será el mismo, o a lo sumo diferirán en 1, para ambas expresiones (9 y 10) siempre y cuando λ_1 y λ_2 sean próximas entre sí, y se respete la condición más adelante mencionada, en la ecuación (12). En este punto se presentan dos posibles casos para resolver el problema como se verá a continuación:

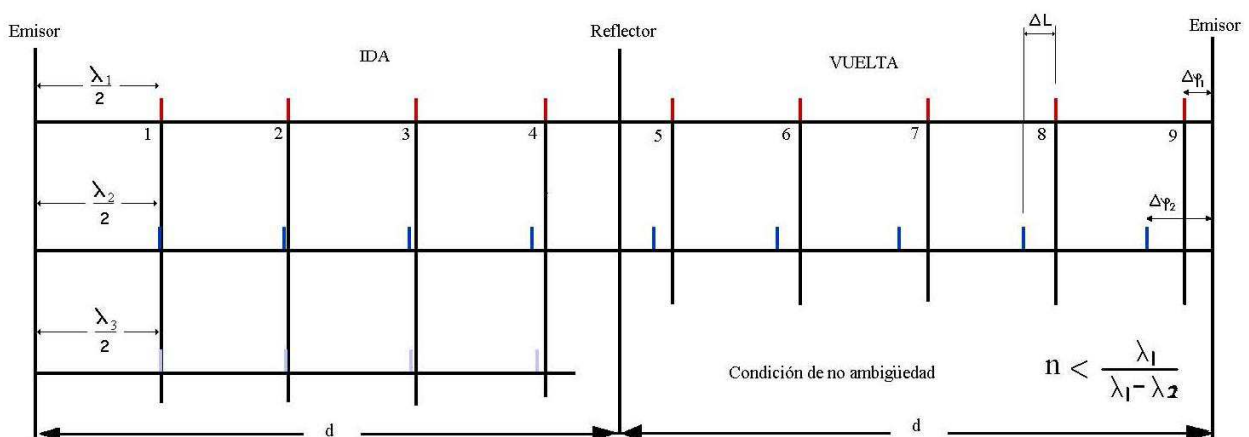
Caso 1: n_1 y n_2 son iguales

Es el caso mostrado en la figura 3. Suponiendo que n_1 y n_2 son iguales, obtenemos el valor de $n = n_1 = n_2$ igualando y despejando n de las dos últimas ecuaciones:

$$n = \frac{\lambda_2 \cdot \Delta\phi_2 - \lambda_1 \cdot \Delta\phi_1}{2\pi(\lambda_1 - \lambda_2)} \quad (11)$$

El valor de n será el mismo para ambas expresiones (9 y 10) siempre y cuando λ_1 y λ_2 sean próximas entre sí, y se respete la condición más adelante mencionada, en la ecuación (12). En este punto se presentan dos posibles casos para resolver el problema como se verá a continuación:

La siguiente figura muestra la relación existente entre las distintas longitudes de onda, a medida que recorren la distancia que se desea medir



En la figura anterior se puede apreciar que a medida que la distancia crece, las graduaciones producidas por $\lambda_2/2$ se corren respecto de las producidas por $\lambda_1/2$. Incrementándose de esta manera la distancia ΔL . Esto quiere decir que para un cierto valor de distancia ya no servirá más la segunda onda de longitud (λ_2) adoptada, esto sucede cuando ΔL se hace tan grande que coincide con la longitud de onda $\lambda_1/2$ (Ver figura anterior y ecuación 12), pues bajo estas condiciones se está errando en al menos media longitud de onda.

Es decir que $\lambda_1/2$ estaría entrando aproximadamente **n1** veces en la distancia **d**, y $\lambda_2/2$ estaría entrando **n2** veces en la misma distancia **d**, por consiguiente se hace imposible utilizar el sistema de ecuaciones (9)-(10) para calcular la distancia incógnita.

Vale decir que se comenzará a perder información cuando se cumpla la siguiente ecuación:

$$\Delta L = n \cdot \frac{\lambda_1}{2} - n \cdot \frac{\lambda_2}{2} \geq \frac{\lambda_1}{2} \quad (12)$$

Expresado de otra manera, se comenzará a perder información cuando:

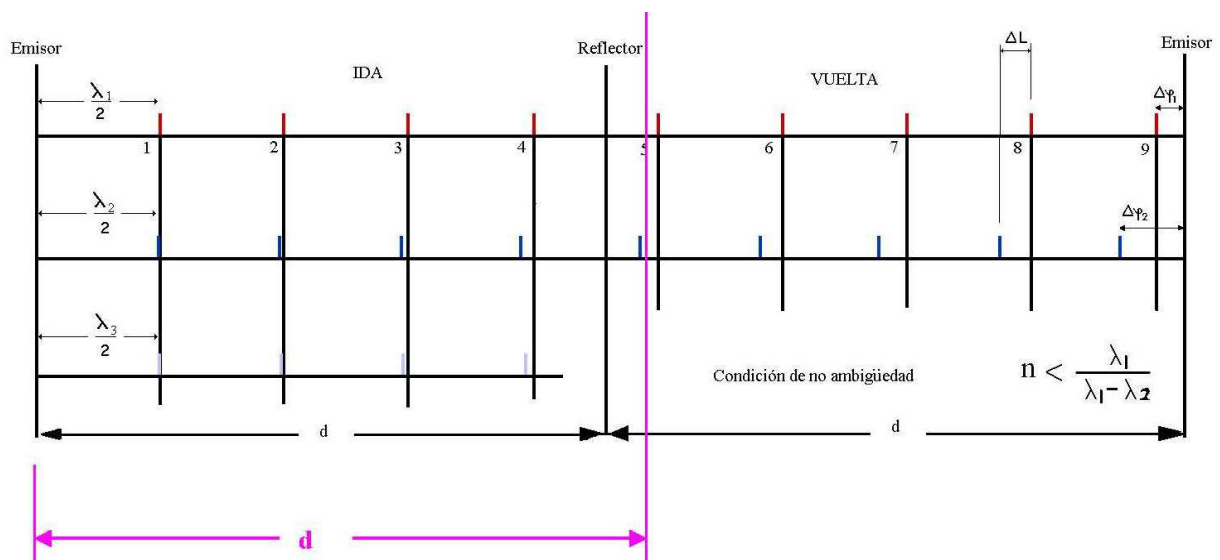
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} < n$$

Por lo tanto la elección de λ_1 y λ_2 no es arbitraria. Se deben calcular según el alcance deseado.

Por ejemplo si se desea un alcance de 5km, a los 10km, en el peor de los casos se debe cumplir (12).

De esta forma si se realizan dos mediciones a dos frecuencias, f_1 y f_2 , hallando para cada una de ellas la correspondiente diferencia de fase, $\Delta\phi_1$ y $\Delta\phi_2$, se está en condiciones de conocer **n**, y por lo tanto la distancia buscada tras reemplazar en la ecuación, o bien (9) ó (10).

Nota: existe un caso particular que es cuando la distancia a medir se encuentre dentro del intervalo $(n-1) \lambda_1/2 < d \leq n \lambda_2/2$ como se muestra en la figura en color violeta.



En este caso las ecuaciones 9 y 10 se convierten en:

$$d = (n-1) \cdot \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\lambda_1}{4\pi} \cdot \Delta \phi_1$$

$$d = n \cdot \frac{\lambda_2}{2} + \frac{\lambda_2}{4\pi} \cdot \Delta \phi_2$$

Y el valor de n resulta:

$$n = \frac{\lambda_2 \cdot \Delta \phi_2 - \lambda_1 (\Delta \phi_1 - 2\pi)}{2\pi (\lambda_1 - \lambda_2)}$$

4.4.2. Método del tiempo de vuelo

Este método consiste en que un pulso de luz recorra la distancia que se desea medir, hallando el tiempo que demora dicho pulso en efectuar el mencionado trayecto. De esta forma la distancia incógnita se puede determinar a través de la siguiente expresión:

$$d = v \cdot t \quad v: \text{velocidad (m/seg)} \text{ y } t: \text{tiempo (seg.)}$$

Por lo tanto si hallamos t será posible calcular d puesto que v es la velocidad de la luz, valor conocido. Al igual que en el método de la fase, se debe corregir la ecuación anterior pues el pulso emitido por el sistema transmisor del distanciómetro recorre la distancia a medir, se refleja en una superficie reflectora al final de dicho trayecto y regresa al receptor ubicado en el distanciómetro. Es decir que la distancia recorrida será el doble de la anterior:

$$2 \cdot d = v \cdot t$$

Por lo tanto la distancia incógnita será:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Podrá preguntarse, por qué siendo este método tan sencillo molestarse en explicar un método como el de fase que requiere de varias frecuencias estables, un comparador de fase, etc.

La explicación es muy sencilla: debido a que siempre está involucrada la velocidad de la luz los tiempos en juego son extremadamente pequeños (si se midiese 1km de distancia, el tiempo a tener en cuenta sería del orden de los 6µs, y peor aún, si la distancia es de 1m, el tiempo rondaría los 6ns), con lo cual un contador común y silvestre no serviría. Entonces debido a la imposibilidad de disponer de un sistema contador de tiempos extremadamente cortos se pensó en el método de fase. Por ello la mayoría de los sistemas distanciómetros existentes en plaza se basan en el método anterior.

Gracias a los avances en la tecnología, hoy en día existe un tipo de contadores especiales capaces de tratar con dichos tiempos, por ello como se demostrará más adelante es factible el empleo de este método.

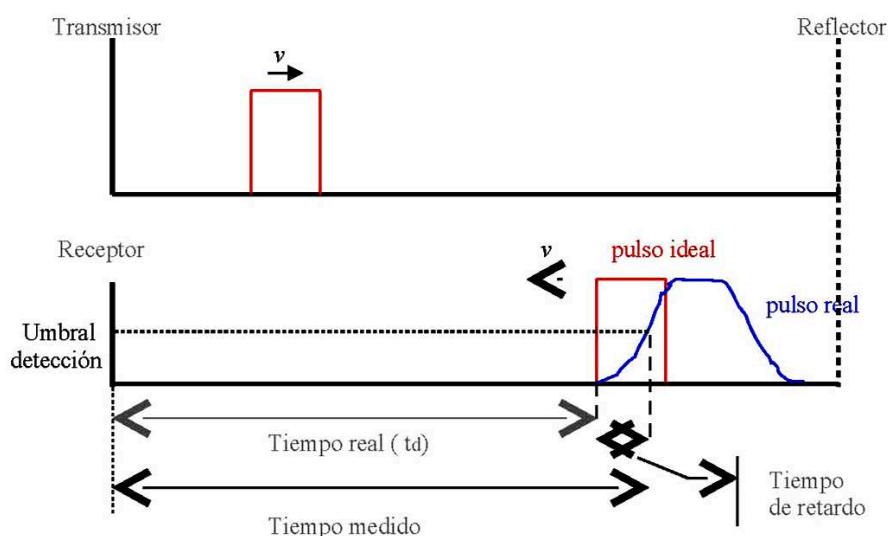
Existe otro inconveniente asociado con este método puesto que el pulso que se transmite al medio no puede tener cualquier forma. Lo ideal es obtener un pulso con un flanco de subida lo más abrupto posible ya que la etapa receptora deberá detectar el pulso que llega al distanciómetro según un cierto nivel umbral (valor que no puede ser muy pequeño puesto que cualquier “ruido” podría disparar al receptor, midiéndose un tiempo falso). Si el flanco de subida del pulso es lento y suponemos que el pulso arriba al receptor en un instante de tiempo t_d entonces el nivel umbral para la detección (que no puede ser muy pequeño como ya se dijo) se alcanzará en un instante de tiempo $t_{retardo}$ (dado por la pendiente del flanco de subida del pulso). Por lo tanto se está midiendo un tiempo más largo en una magnitud dada por $t_{retardo}$. Es decir que el tiempo medido no será el verdadero:

$$t_{medido} = t_d + t_{retardo}$$

donde: t_d : tiempo real

$t_{retardo}$: tiempo transcurrido entre que llega el pulso al receptor y es detectado

La siguiente figura ilustra lo explicado:



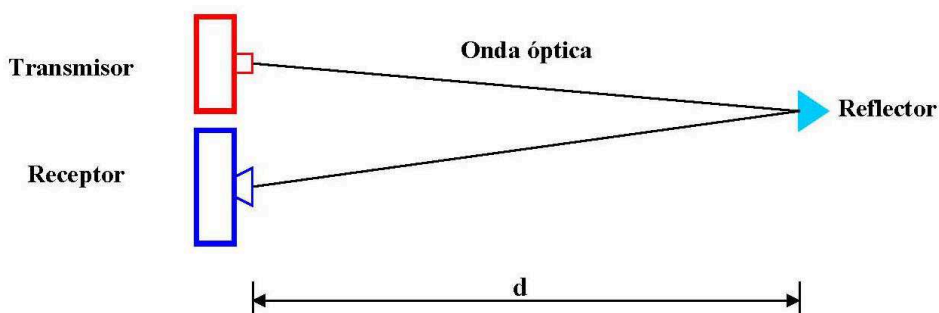
Este problema nos condiciona principalmente a la hora de medir tiempos cortos (distancias cortas). Ya que es imposible conseguir un tiempo de subida del pulso nulo, un valor real que se podría emplear como regla sería aquel que para la peor condición (distancia más pequeña a medir) no nos influya. Por ejemplo si al mínimo alcance del distanciómetro le corresponde un tiempo de retardo del pulso de t_{dmin} , el tiempo de retardo permisible $t_{retardo}$ podría ser por ejemplo $t_{dmin}/100$, si se admite un error en el tiempo del 1%. Si se supone que el mínimo alcance del distanciómetro son 10 m, entonces el tiempo de vuelo al medir los 10 m serán 66ns, con lo cual el tiempo de subida del pulso deberá ser de aproximadamente 0.6 ns (valor extremadamente difícil de conseguir).

De esta forma si es posible disponer de un contador ultra rápido, y de un pulso con tiempo de subida lo suficientemente rápido como para que no influya en el tiempo a medir, este método es perfectamente aplicable.

4.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN DISTANCIÓMETRO ELECTROÓPTICO ⁴

El distanciómetro consiste básicamente de un sistema transmisor que emite una onda electromagnética y de un sistema receptor que recibe dicha onda reflejada por un prisma o espejo reflector.

Es decir que el La siguiente figura ilustra lo expuesto.



4.5.1. Sistema Transmisor

El objetivo del sistema transmisor es emitir una onda continua o un pulso lumínico al medio (aire), de características apropiadas para que luego pueda ser reconocido por el sistema receptor.

Un requisito fundamental es que haya una alta transmitancia de la onda a través del aire, o sea:

- **Máxima respuesta** (energía recibida / energía emitida): a menor λ mayor penetración.
- **Mínima dispersión**, mínima absorción de la onda por moléculas de aire, mínima dispersión por reflexión en partículas de aire, mínima refracción del haz, etc.

Debido a las condiciones atmosféricas (humedad porcentual, temperatura ambiente y presión atmosférica) la **longitud de onda λ debe ser pequeña** (aprox. entre 0,4 y 1 μ). Longitudes de onda λ demasiado largas son muy influenciadas por las condiciones atmosféricas (H%, T°, P o).

Por lo expuesto la radiación emitida podrá ser del tipo infrarrojo o láser definiendo de ese modo las características del distanciómetro en cuestión.

4.5.2. Radiación Infrarroja

La luz es una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radiocomunicaciones y los rayos X. El parámetro que distingue una radiación de otra es su frecuencia o su longitud de onda. El ojo humano es sensible a las radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre 0,38 μ m (violeta) y 0,76 μ m (rojo). Las ondas electromagnéticas de longitud de onda inferior a 0,38 μ m forman el denominado espectro ultravioleta, mientras que las de longitud de onda superior a 0,76 μ m constituyen el espectro infrarrojo. La sensibilidad del ojo humano es máxima a la longitud de onda de 0,55 μ m (verde) y disminuye a medida que se aleja de este máximo en ambas direcciones.

⁴ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

La **radiación infrarroja** o **radiación térmica** es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas.

Su longitud de onda, entre 700 nanómetros y un milímetro, es la siguiente en longitud al rojo, el color de longitud de onda más larga de la luz visible.

La radiación electromagnética está formada por fotones y cada fotón lleva asociada una energía que se caracteriza por su longitud de onda según la ecuación

$$E=hc/\lambda$$

donde

E = energía del fotón

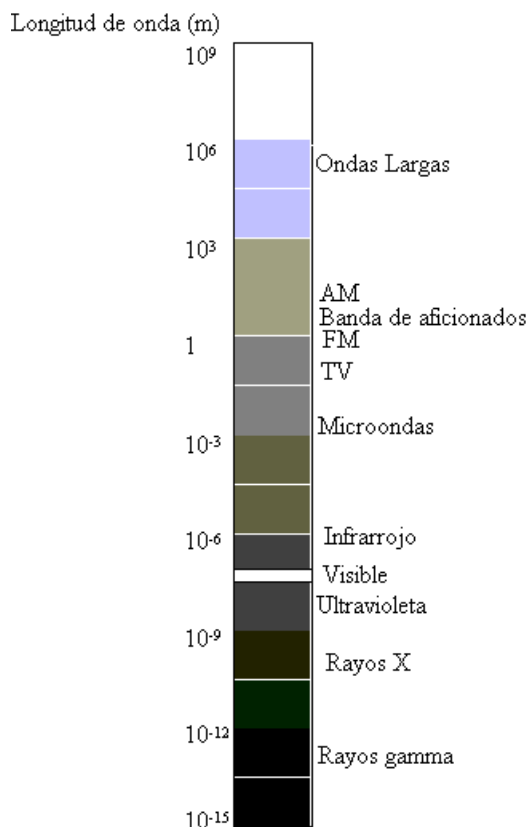
c = velocidad de la luz $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$

h = constante de Planck

λ = longitud de onda del fotón.

El numerador de la expresión de la energía es una constante. Por eso, la energía de un fotón es **mayor** cuanto **menor** sea la longitud de onda, que se encuentra en el denominador.

La radiación electromagnética queda dividida según su longitud de onda:



4.5.3. Dispositivos emisores

Los dispositivos emisores emiten luz al ser activados por energía eléctrica. Son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía luminosa. A este nivel corresponden los diodos LED o los LÁSER.

Un diodo emisor de luz (LED) es un dispositivo de unión PN que cuando se polariza directamente emite un espectro estrecho de luz incoherente. La intensidad de la luz emitida es aproximadamente proporcional a la intensidad de la corriente que atraviesa el diodo y la longitud de onda de la luz emitida (color) depende del material semiconductor con el que está fabricado el diodo.

Al aplicarse una tensión directa a la unión, se inyectan huecos en la capa P y electrones en la capa N. Como resultado de ello, ambas capas tienen una mayor concentración de portadores (electrones y huecos) que la existente en equilibrio. Dichos *electrones* y *huecos* fluyen hacia la unión desde electrodos con diferentes voltajes. Cuando un electrón encuentra un hueco, cae a un nivel menor de energía y libera energía en la forma de un *fotón* con la energía correspondiente a la banda prohibida. O sea que se produce una recombinación de portadores, liberándose en dicha recombinación la energía que les ha sido suministrada mediante la aplicación de la tensión directa. Esta emisión espontánea se produce en todos los diodos, pero sólo es visible en los diodos LED que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con el espectro visible se disipa en forma de

radiación infrarroja. Se pueden distinguir dos tipos de recombinaciones en función del tipo de energía que es liberada:

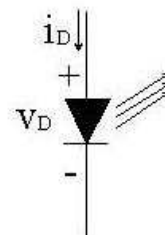
- **Recombinación no radiante** : la mayoría de la energía de recombinación se libera al cristal como energía térmica.
- **Recombinación radiante**: la mayoría de la energía de recombinación se libera en forma de radiación. La energía liberada cumple la ecuación:

$$E = hf = hc / \lambda$$

E la diferencia de energía entre el electrón y el hueco que se recombinan expresada en electrón-voltios. Esta energía depende del material que forma la unión PN.

Consideraciones prácticas

En la figura se muestra el símbolo circuital más extendido del diodo LED.



En el análisis de un circuito, el diodo LED puede ser tratado de manera análoga a un diodo normal. Sin embargo conviene tener en cuenta que los diodos LED no están fabricados de silicio monocristalino, ya que el silicio monocristalino es incapaz de emitir fotones. Debido a ello, la tensión de polarización directa V_D depende del material con el que esté fabricado el diodo.

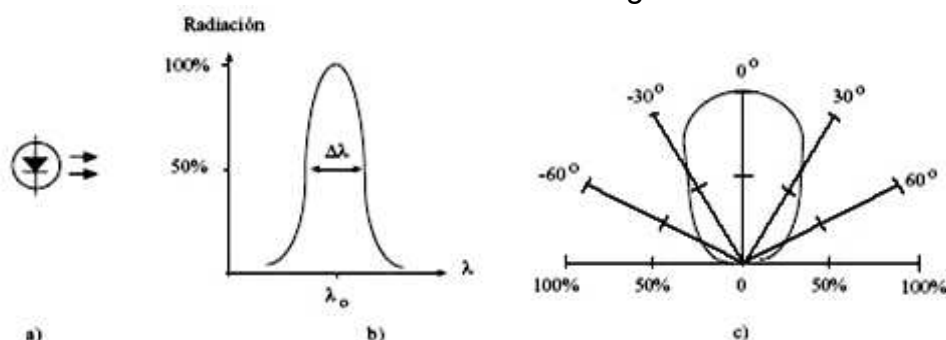
Materiales utilizados

Tal y como se ha expuesto anteriormente, los **diodos LED** no están fabricados de silicio monocristalino. El material que compone el diodo es importante ya que el color de la luz emitida por el LED depende únicamente del material y del proceso de fabricación

Material	Longitud de onda	Color
AsGa	904 nm	IR
InGaAsP	1300 nm	IR
AsGaAl	750-850 nm	Rojo
AsGaP	590 nm	Amarillo
InGaAlP	560 nm	Verde
CSi	480 nm	Azul

(principalmente de los dopados). En la tabla adjunta aparecen algunos ejemplos de materiales utilizados junto con los colores conseguidos:

En la figura b) se presenta un espectro típico de la luz emitida por un LED. Obsérvese que dicho espectro se extiende en un margen estrecho de longitudes de onda alrededor de un máximo. En la figura c) se presenta la intensidad emitida por el diodo en función del ángulo medido desde su eje central. Nótese que cuando la dirección desde la que se observa el diodo forma un ángulo de algo más de 30° respecto al eje, la intensidad emitida es sólo el 50% de la emitida con ángulo nulo.

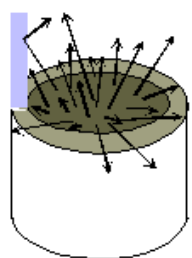


a) Símbolo del LED b) Espectro de emisión del LED c) Diagrama de radiación

Un valor típico de corriente por un LED para que se ilumine es de unos 10 mA. Normalmente la tensión inversa de ruptura de este diodo es pequeña, y un valor típico es 5 V.

Otro dispositivo emisor de luz en el espectro visible o infrarrojo es el **diodo láser**. En los distanciómetros muy comúnmente se utilizan diodos láser que emiten en el infrarrojo. Se trata de un dispositivo similar al LED pero la radiación emitida por el diodo láser presenta algunas diferencias importantes con respecto a este último:

1) La emisión de luz es dirigida en una sola dirección: Un diodo LED emite fotones en muchas direcciones. Un diodo láser, en cambio, consigue emitir el flujo de la energía es unidireccional, de modo que cada rayo del haz puede considerarse paralelo a cualquier otro. Esto significa que la energía o potencia de la radiación alcanza un objetivo a la vez con muy poca o sin ninguna divergencia, sobre largas distancias.



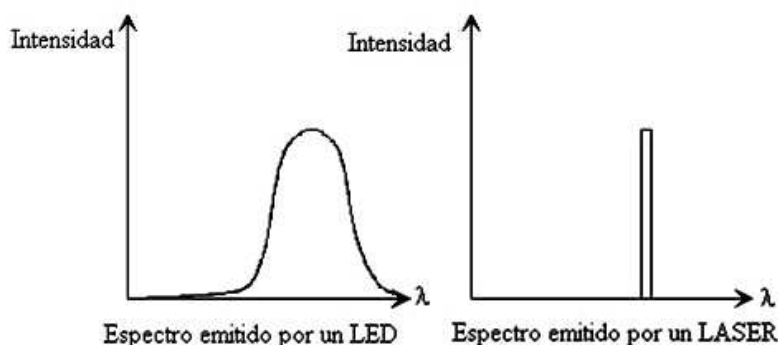
Emisión fotónica en diodo LED



Emisión fotónica en diodo LASER

Corte esquemático de la emisión de luz en diodos LED y láser

2) La emisión de luz láser es monocromática: Los fotones emitidos por un láser poseen longitudes de onda muy cercanas entre sí. En cambio, en la luz emitida por diodos LED, existen fotones con mayores dispersiones en cuanto a las longitudes de onda. Las líneas espectrales de una radiación lineal en una banda estrecha pueden considerarse monocromáticas.



Intensidad de luz en función de la longitud de onda para diodos LED y láser

3) La emisión es coherente. Esto significa que las radiaciones emitidas mantienen una diferencia de fase constante. Dicho de otro modo, se dice que dos puntos de una onda son coherentes cuando guardan una relación de fase constante, es decir cuando conocido el valor instantáneo del campo eléctrico en uno de los puntos, es posible predecir el del otro.

En realidad cualquiera sea el tipo de láser, la significancia del mismo yace en su capacidad de amplificar o generar luz coherente. Si una onda óptica va a ser llamada coherente, su amplitud, polarización, frecuencia (o longitud de onda), y fase deben ser controlados de manera artificial. La aleatoriedad es ajena o incompatible a la luz

coherente a menos que la luz coherente sea modulada aleatoriamente artificialmente. Por ejemplo, la luz que es linealmente polarizada y en magnitud constante y fase fija con una frecuencia constante (monocromática) es luz coherente. La mayoría de la luz generada artificialmente es no-coherente porque la fuente está basada en la naturaleza incontrolable del proceso aleatorio de átomos y moléculas tales como calentamiento. La luz proveniente de un láser es coherente porque la fuente es bien controlada artificialmente por un resonador óptico y la transición mecánica cuántica de la brecha de energía.

Por todo lo expuesto se puede afirmar que el empleo de rayos láser para esta aplicación, presenta dos ventajas fundamentales:

- Constituye un haz perfectamente dirigido y poco perturbado por los medios refringentes. Ello se debe a que al ser monocromático no se refracta en distintas direcciones y que al ser coherente no pierde energía por interferencia a lo largo del recorrido o sea que son mínimas la dispersión y la atenuación.
- Tiene un índice de refracción perfectamente definido, ya que $n=f(\lambda)$ y como ya se dijo el láser es monocromático. Uno de los inconvenientes que puede llegar a tener el empleo del rayo láser es en lo que respecta a la seguridad, para lo cual se debe tener en cuenta la clase del láser a utilizar y las condiciones de seguridad a tomar. Este tema se discutirá más adelante, cuando se realice la comparación entre los distintos tipos de distanciómetros.

4.5.4. Sistema receptor

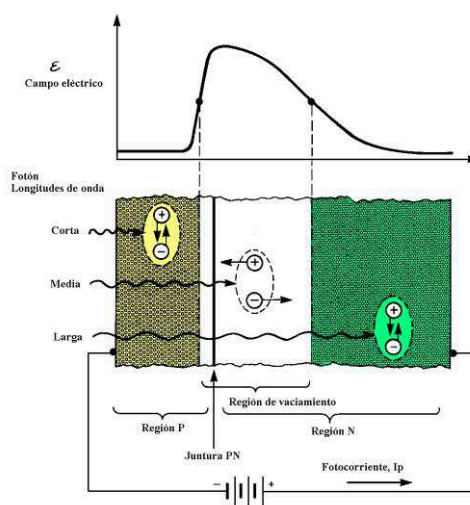
El objetivo del receptor es detectar la onda continua o el pulso de radiación IR emitido por el transmisor, que viaja recorriendo el camino de ida y de vuelta hasta el espejo reflector.

Un receptor que sea capaz de detectar radiación lumínica consta principalmente de un dispositivo transductor que transforma la radiación IR que incide sobre él en una señal eléctrica proporcional a la primera. Estos transductores son en su gran mayoría dispositivos semiconductores, llamados diodos detectores de luz o fotodiodos. Para poder comprender el funcionamiento del receptor en sí, es necesario un pleno conocimiento de estos transductores, por lo que la siguiente sección dará un completo detalle de los mismos.

4.5.5. Fotodiodos. Introducción

Como se sabe, cuando un fotón incide sobre un dispositivo semiconductor, y es absorbido por éste, se forma un par electrón hueco. Luego cuando el par electrón hueco generado por el fotón incidente es separado (los electrones van hacia el lado N, y los huecos hacia el lado P del semiconductor) se produce una fotocorriente.

La separación de un electrón hueco generado por un fotón es más probable que suceda cuando el par es creado en una región del semiconductor donde hay un campo eléctrico.



Otra alternativa para la separación es que el par electrón hueco simplemente se recombine, sin causar desplazamiento de cargas, y por lo tanto sin contribución a la fotocorriente.

La distribución del campo eléctrico en un diodo semiconductor no es uniforme. En las regiones de difusión tipo P (frente) , y difusión tipo N (atrás) el campo es mucho más débil que en la región entre ambas capas, conocida como región de transición. Para un mejor desempeño, un fotodiodo debe estar construido de manera de permitir que sean absorbidos la mayor cantidad de fotones en la región de vaciamiento. Es decir que los fotones no deben ser absorbidos después que hayan penetrado en la región de vaciamiento, y antes de salir de esta.

La profundidad a la cual un fotón penetra antes de ser absorbido es una función de la longitud de onda del fotón. Fotones con longitudes de onda cortas son absorbidos cerca de la superficie, mientras que aquellos con longitudes de onda largas pueden penetrar enteramente el cristal. Por este motivo si el fotodiodo va a tener una respuesta espectral ancha (es decir responder bien a una amplia gama de longitudes de onda), deberá tener una capa P muy delgada, para permitir la penetración de fotones de corta longitud de onda, como así una ancha región de vaciamiento para maximizar la fotocorriente de fotones de gran longitud de onda.

El grosor de la región de vaciamiento depende de la resistividad de la región a ser vaciada y de la polarización inversa.

Existe una región de vaciamiento aún si no hay polarización inversa aplicada. Esto es debido al campo eléctrico propio producido por la difusión de los portadores minoritarios a través de la juntura. La polarización inversa ayuda al campo eléctrico propio, y expande la región de vaciamiento.

El alcance de la región de vaciamiento a cualquier voltaje es mayor en dispositivos hechos con mayor resistividad en la juntura, pero se requiere baja resistividad en ambas superficies para hacer contacto óhmico con el dispositivo. Los fotodiodos PN, están hechos con una difusión P en un material tipo P de baja resistividad. En fotodiodos PN, una delgada difusión P permite buena respuesta a longitudes de onda cortas, pero se requiere una gran polarización inversa para extender la región de vaciamiento para obtener una buena respuesta a los fotones con longitudes de onda largas. Una difusión P profunda, degrada la respuesta a longitudes de onda cortas, pero disminuye la polarización requerida para una buena respuesta a longitudes de onda largas.

La optimización para la respuesta a ambas longitudes de onda (cortas y largas), a bajas tensiones de polarización, requiere un fotodiodo PIN, en lugar de un PN. Un diodo PIN tiene una delgada capa de difusión tipo P en el frente y una de difusión tipo N en la parte de atrás del wafer (oblea de semiconductor) de silicio de muy alta resistividad. Fig 3.3.1.b. El material de alta resistividad entre las difusiones tipo P y tipo N es llamado región intrínseca, o capa I.

En buenos fotodiodos PIN, la capa I, tiene una resistividad tan elevada que aún con polarización nula la región de vaciamiento se extiende de la capa P hasta aproximadamente la mitad a través de la capa I. Con una polarización inversa de tan solo 5 volts inversos, la región de vaciamiento se extiende todo el camino hasta la capa N, esto es llamado el voltaje punch-through. Como el voltaje de ruptura está por encima

de 200V, a menudo se desea operar a voltajes inversos bastante por encima del voltaje punchthrough para mantener la capa I completamente “vacía”, aún con grandes niveles de flujo de luz. Esto asegura buena linealidad y elevada velocidad de respuesta del dispositivo.

4.6. DISTANCIÓMETRO ELECTROÓPTICO ⁵

4.6.1. Método diferencia de fase

Como se explicó los distanciómetros que utilizan este método obtienen la distancia indirectamente a través de la medida de la diferencia de fase entre la señal emitida y la recibida luego de haber recorrido el trayecto transmisor - prisma - receptor.

La onda infrarroja utilizada para recorrer la distancia a medir no permite realizar la medida del corrimiento de fase debido a que es una onda continua de la que no se dispone de ninguna variación o señal para tomarla como referencia de su desplazamiento.

Además la longitud de onda muy pequeña del infrarrojo (del orden del μm) sería inapropiado para medir distancias por ejemplo del orden kilómetro y a su vez muy elevada la frecuencia para la realización de la medida de fase dentro del rango óptimo del fasímetro.

Por estos motivos es que se utiliza otra onda, llamada “medidora”, justamente porque es la empleada para la medida de la “diferencia de fase”.

Dicha onda se genera internamente en un oscilador de cuarzo de muy buena estabilidad, debido a que la misma está estrechamente vinculada con la precisión de la medida.

Las frecuencias de esta onda varían según los distintos modelos comerciales de los distanciómetros, pero en la elección de las mismas siempre debe tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Buena relación entre el alcance del instrumento y la longitud de onda de la señal medidora.
- b) Utilizar el rango de frecuencias óptimo del fasímetro.
- c) Tener en cuenta que la medida de la distancia, por este método, será más precisa cuando más alta sea la frecuencia:

$$D = \lambda / 4\pi \cdot \Delta\phi$$

Diferenciando:

$$d(D) = \lambda / 4\pi \cdot d(\Delta\phi)$$

Como se observa a menor λ menor es el error de la medida de la distancia para un determinado error cometido en la lectura de la diferencia de fase.

El rango de frecuencia varía en los casos prácticos normalmente entre 0,1 MHz y 100 MHz.

Conclusión: Este tipo de distanciómetro utiliza dos ondas:

- 1) Una onda infrarroja o láser para permitir mantener su velocidad lo más independiente posible de los factores atmosféricos (Humedad, Presión y temperatura), un mayor alcance con baja potencia de emisión, disponer de un rayo lo

⁵ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

más recto posible, como cuestiones más trascendentes en lo que se refiere a la transmisión de la onda entre el distanciómetro y el reflector.

2) Una onda medidora de más baja frecuencia, generada internamente, que permite realizar la medida de la diferencia de fase con una buena eficiencia.

Para poder enviar estas dos ondas se realiza en el transmisor un proceso que se denomina “modulación óptica”.

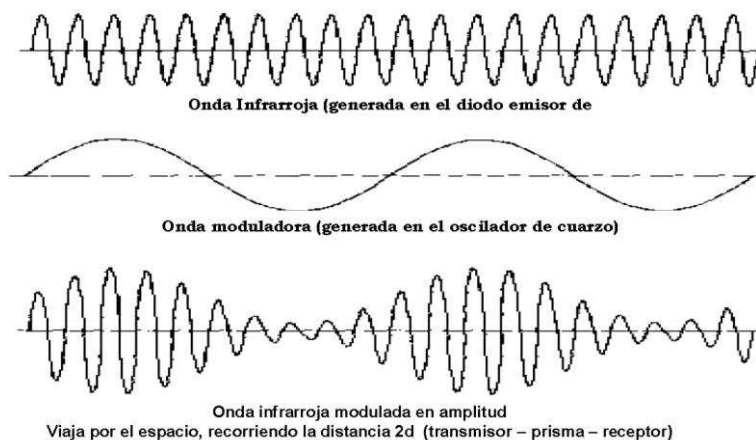
4.6.2. Modulación Óptica

Se puede decir que modular es un proceso por el cual se modifica alguna de las características de una onda sinusoidal (portadora) que se utiliza para realizar la comunicación con la señal que se quiere transmitir y que se llama onda moduladora.

De esta operación surge la onda modulada que es la que realmente transporta la información desde un transmisor a un receptor.

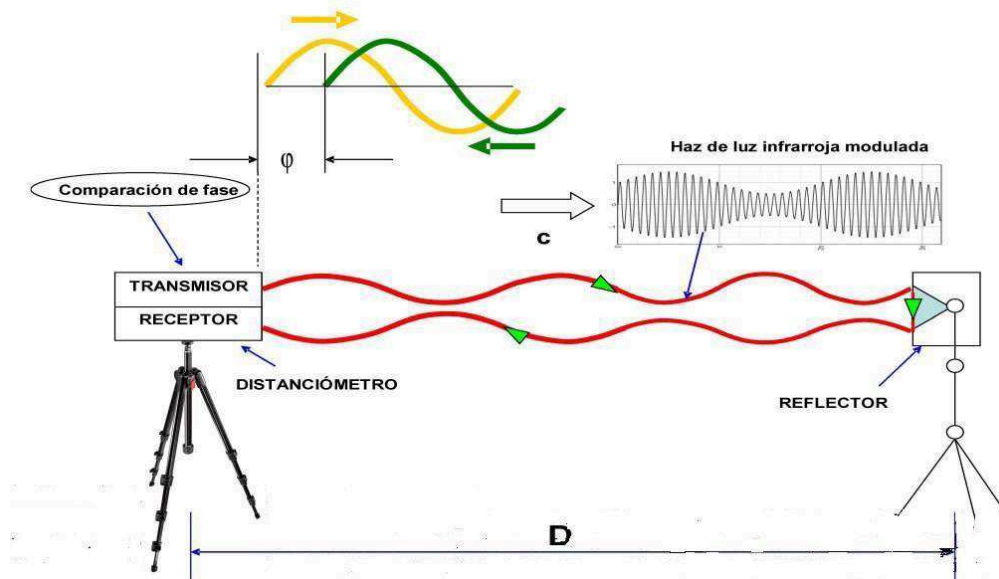
La mayoría de los distanciómetros electroópticos que miden la distancia aplicando el método de diferencia de fase utilizan la modulación óptica directa de amplitud.

En estas aplicaciones una onda de referencia (moduladora), que permite medir la diferencia de fase, modula en amplitud la onda portadora que es la utilizada para la transmisión, en este caso onda infrarroja común o láser (por este motivo se denomina modulación óptica de amplitud). Como se observa en la figura del resultado de este proceso surge la onda modulada que viaja desde el transmisor al reflector y regresa al receptor del distanciómetro recorriendo dos veces la distancia a medir.



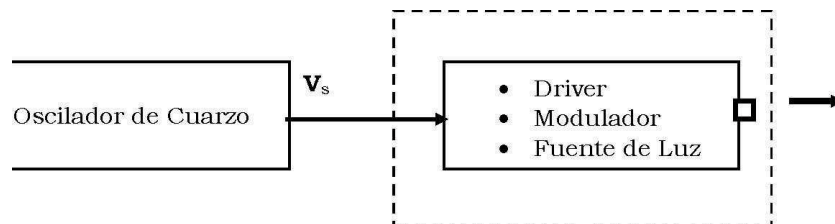
A su vez la modulación óptica puede ser directa, donde la fuente de luz es modulada directamente por una inyección de corriente electrónica, proveniente de un circuito denominado “driver”, o puede ser una modulación externa, donde la luz es primero generada por la fuente óptica y después a través de un modulador externo es modulada. En este caso es posible, pero no usual, modular, además de la amplitud, la fase, la frecuencia o la polarización de la señal óptica. En general, estos tipos de distanciómetros utilizan la modulación directa dado que los diodos emisores de rayos Infrarrojos o Laser permiten la modulación directa de la radiación emitida, simplemente controlando la corriente eléctrica a través de la unión p-n. Estos sistemas son llamados sistemas del tipo IM, o sea, la potencia óptica emitida por la fuente de luz (intensidad óptica) es modulada por la corriente electrónica inyectada en la fuente óptica.

En resumen, como se observa en la figura, el transmisor del distanciómetro emite la onda infrarroja modulada por la medidora, el reflector la refleja y es recibida por el receptor del distanciómetro, realizándose en el mismo la medida de la diferencia de fase.



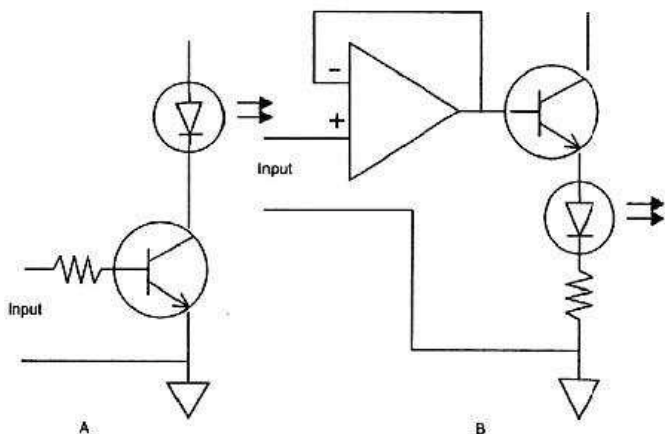
4.6.3. Elementos transmisor óptico

El transmisor óptico está compuesto por un modulador y una fuente de luz asociada con su circuito driver. La señal que se emplea para la comparación de fase, generada en un oscilador de cuarzo, se aplica al circuito driver para la modulación de la luz infrarroja generadora en el diodo emisor.



El Circuito Driver: el circuito driver es un circuito electrónico que convierte la señal de tensión electrónica en una señal de corriente electrónica para poder modular la fuente de luz. Esto es necesario debido a que las fuentes de luz son de inyección de corriente

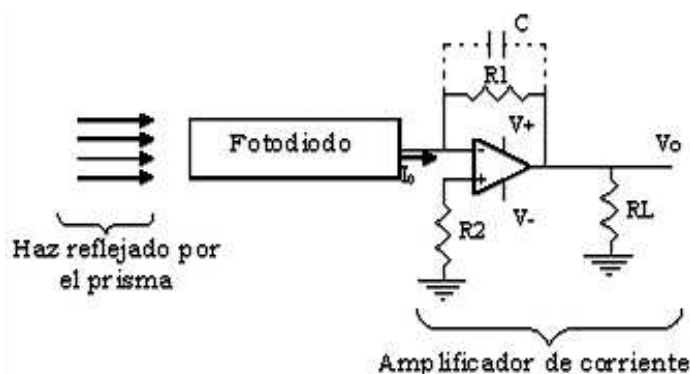
Tipos de circuitos driver: (A) driver para los LEDs. (B) driver para los láseres



Elementos básicos del receptor óptico

El receptor óptico está compuesto básicamente de un fotodetector que convierte la luz infrarroja recibida en una corriente eléctrica. El valor de dicha corriente variará según la intensidad de la luz que como sabemos varía en amplitud de acuerdo a la señal moduladora generada en el transmisor por el oscilador de cuarzo.

Esto significa que en el fotodetector no solo se convierte la luz en una señal eléctrica sino que también se produce un proceso de demodulación por el cual se obtiene una señal muy similar a la generada en el oscilador pero defasada un cierto ángulo debido al camino recorrido por el haz.



La señal de salida del fotodetector es acondicionada por un circuito

que permite amplificar dicha señal de corriente y convertirla en una señal de tensión.

El dispositivo amplificador que se suele emplear es un amplificador operacional, el cual no puede ser de cualquier tipo, debe tener un elevado ancho de banda pues el pulso de luz a detectar posee componentes de frecuencia elevadas.

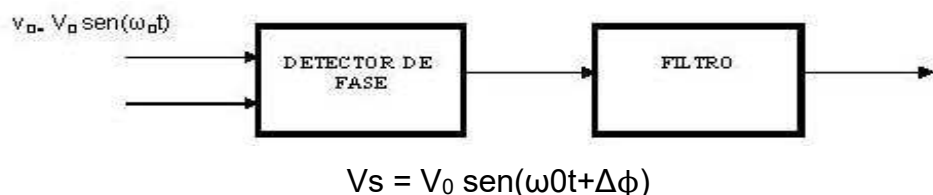
Para obtener la distancia el distanciómetro debe medir la diferencia de fase entre la señal emitida por el transmisor y la recibida en el receptor óptico (defasaje producido en la señal durante el recorrido ida y vuelta de la distancia a medir entre el distanciómetro y el prisma).

Para dicha función el instrumento dispone de un circuito electrónico denominado fasímetro que realiza la medida de la diferencia de fase entre V_s (señal de salida del oscilador/señal emitida) y V_o (señal de salida del amplificador de corriente/señal recibida).

4.6.4. Fasímetro

Un fasímetro es un circuito mezclador de frecuencias o multiplicador analógico que genera una señal de voltaje que representa la diferencia en fase entre dos señales de entrada.

Detecta la diferencia en fase de dos señales periódicas, una señal periódica está caracterizada por tener amplitud, factor de forma, frecuencia y fase, siendo ésta última la que es detectada por este dispositivo. Este dispositivo por lo general es una fuente de corriente, la corriente sale o entra del dispositivo dependiendo del resultado de la diferencia entre las fases de las entradas, es decir la corriente puede ser positiva o negativa, lo cual es una indicación de cual señal está adelantada o atrasada respecto de una referencia de tiempo dada.



El filtro paso bajo permite eliminar armónicos superiores, lo cual nos da el valor de salida V_f proporcional a la diferencia de fase.

- La medición lineal electrónica de una distancia, constituye el **avance más importante en la actualidad en las operaciones topográficas** conforme a las notorias e importantes ventajas respecto a la medición clásica: a) Permite medir en lugares "impracticables" e inaccesibles (por "bombardeo" con láser sin prisma). b)

Alcanza precisiones muy superiores. c) Más rapidez en la medición en general y particularmente cuando las distancias son más largas y con mayores dificultades. d) Es posible registrar electrónicamente las medidas de los instrumentos con memorias evitando los errores de lectura y notación. e) Se pueden procesar electrónicamente los datos cuando el instrumento cuenta con un procesador.

4.7. **ERRORES SISTEMÁTICOS**.⁶

Son los que modifican la posición del valor final y se los clasifican: Error cíclico. Error de cero o constante aditiva del conjunto instrumento-prisma. Error de escala. Por velocidad de propagación. Por curvatura del rayo.

4.7.1. **Error cíclico.**

Los fenómenos de interferencia presentes en los mecanismos ópticos/electrónicos, más efectos de multipath (como en las antenas de G.P.S.) entre las señales transmitida y recibida causan el error cíclico. Su valor varía en forma aproximadamente sinusoidal con un período igual a la unidad de longitud del distanciómetro que es igual a la semilongitud de onda de la frecuencia de medición (frecuencia de modulación). Esto quiere decir que a iguales intervalos tiende a repetir su módulo y signo.

En equipos viejos alcanzaba valores significativos de varios centímetros e incluso dos o tres decímetros. Hoy en día no llega a los 2 mm pero debe ser tenido en cuenta ya que modifica nuestro valor final.

Se determina comparando con un patrón (cinta calibrada) a intervalos iguales (de $L/10$) dentro de la unidad longitud de onda de medición y ploteando una curva para este error. Será la primera reducción a aplicar.

4.7.2. **Error de cero o constante aditiva del conjunto instrumento prisma.**

El centro electrónico del instrumento no se corresponde con el centrado en estación del mismo, en caso de una estación total, con su eje principal y lo mismo se aplica al prisma cuyo centro óptico no coincidirá con el centrado en estación.

Esta corrección será constante para el conjunto distanciómetro-prisma debiéndose determinar para cada par de elementos (instrumento disponibles en el trabajo, pudiendo determinarse por separado de ser necesario). Para determinar su valor puede valerse de estos dos métodos: Tres Distancias y Distancia Patrón

4.7.2.1. **Tres distancias.**

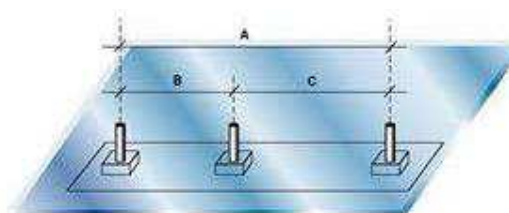
Si se mide primero **A** y luego los tramos **B** y **C**, como debería ocurrir que **A=B+C** y el error **e** es constante, entonces:

$$\begin{aligned} A+e &= (B+e) + (C+e) \\ (A+e)-(B+e)-(C+e) &= 0 \\ e &= B+C-A \end{aligned}$$

con lo que su corrección será de signo contrario.

4.7.2.2. **Distancia patrón**.

Este método es claro ya en su denominación y simplemente se consiste en comparar la medida afectada con el error, con una medida patrón.



⁶ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

$e = D_{\text{medida}} - D_{\text{patrón}}$

siendo su corrección de signo contrario.

Este último método tiene la ventaja que solo la incertidumbre de una distancia (la medida) interviene en el cálculo ya que la del patrón es despreciable respecto a la primera.

Los instrumentos disponen de switches para introducir esta corrección y permiten hacerlo al mm.

4.7.3. Error de escala.

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

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

K = factor de escala.

S = distancia medida.

D = distancia de calibración.

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

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

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

4.7.4. Por velocidad de propagación.

La velocidad de propagación de una onda electromagnética responde a

$$V = C / N$$

Donde C es la velocidad de propagación en el vacío

N el índice de refracción del medio de propagación.

En distanciometría electrónica, el medio, es el aire cercano a la tierra y el N del aire es función de la temperatura (T), la presión atmosférica (P) y la humedad (e) medida en unidades de presión atmosférica.

Por esto deberán observarse en el lugar dichos parámetros.

Primero deberá calcularse **índice de refracción del grupo** ya que se trata de una onda modulada

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

N_g nos da el índice de refracción para la **1** de la moduladora en **mm** para una atmósfera a 0°C, 760mm de Hg y una concentración de 0.03% de CO₂.

Luego en índice al tiempo de la observación lo dará

$$N_i = 1 + \frac{N_g - 1}{1 + a \times t} \times \frac{P}{760} - \frac{5.5 \times e \times 10^{-8}}{1 + a \times t}$$

N_i = Índice de refracción instantáneo .

P = Presión atmosférica en **mm de Hg.**

a = 0.003661

t = Temperatura en °C.

e = Presión de vapor en **mm de Hg.**

A su vez:

$$e = e' - 0.000622 \times P \times (T - T')$$

donde

e' = Tensión de vapor de saturación.

T' es la temperatura del bulbo húmedo del psicrómetro. Instrumento empleado en la determinación de la humedad ambiental.

Obtenido N_i se calcula la distancia

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

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

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

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

En operaciones de **calibración de distanciómetros, o en mediciones de gran compromiso deberán determinarse las condiciones atmosféricas** tanto en el instrumento como en la señal, cuando no a lo largo de la visual cada algunos cientos de metros.

Los instrumentos topográficos permiten introducir por medio de un ábaco esta corrección.

Corrección atmosférica ΔD_1 ⁷

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

La corrección atmosférica tiene en cuenta la presión atmosférica, la temperatura y la humedad relativa del aire.

En mediciones de distancia con la máxima precisión que requieren determinar la corrección atmosférica con una precisión de **1 ppm**, habrá que medir los parámetros ambientales **con una precisión de 1°C en la temperatura del aire, 3 mb en la presión atmosférica, y 20% en la humedad relativa del aire.**

La **humedad del aire** influye en las mediciones de distancia, sobre todo en climas extremadamente húmedos y cálidos. Para mediciones de elevada precisión hay que medir la humedad relativa del aire e introducirla además de la presión atmosférica y la temperatura.

⁷ Leica Geosystems

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

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

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

Fórmula para distanciómetro de infrarrojos y para láser visible rojo

Fórmula para distanciómetro de infrarrojos:

$$\Delta D_1 = 283.04 \cdot \left[\frac{0.29195 \cdot p}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4.126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right]$$

ΔD_1 = corrección atmosférica [ppm]

p = presión atmosférica [mb]

t = temperatura del aire [$^\circ\text{C}$]

h = humedad relativa del aire [%]

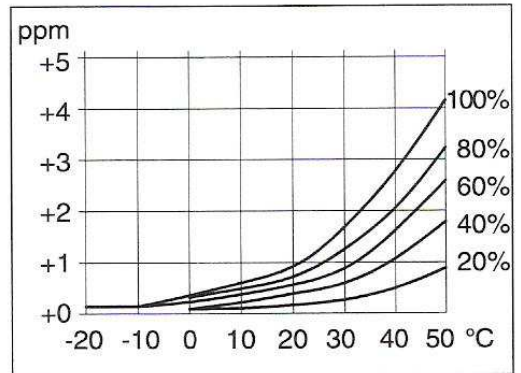
$a = 1 / 273.16$

$$x = \frac{7.5 t}{237.3 + t} + 0.7857$$

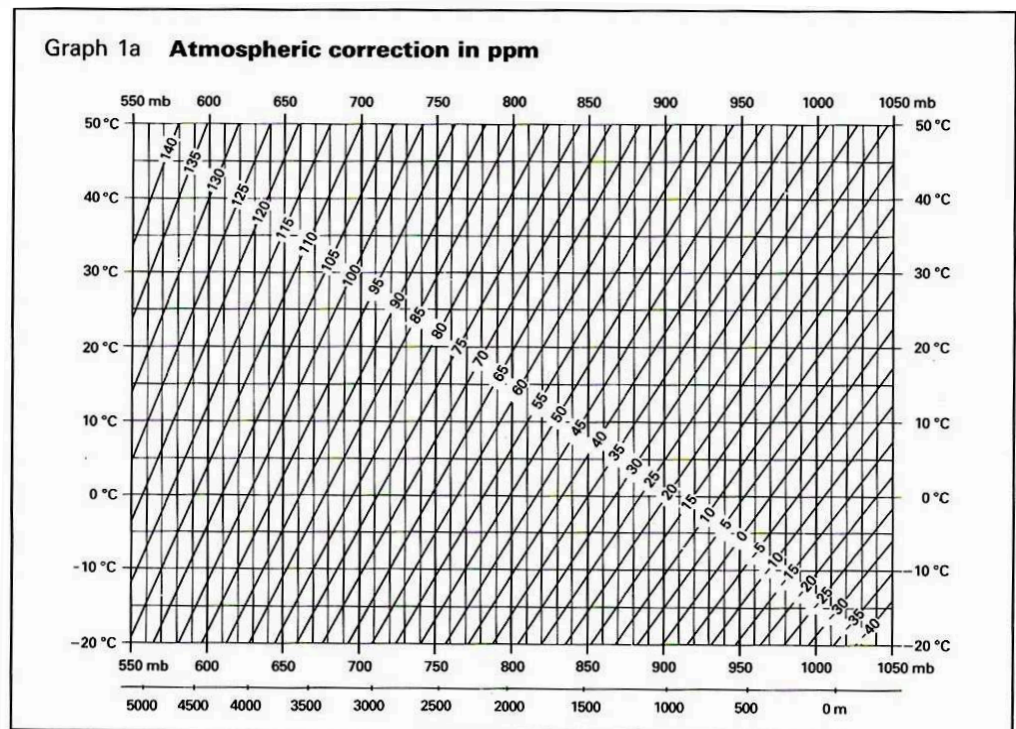
Fórmula para láser visible rojo:

$$\Delta D_1 = 285.92 \cdot \left[\frac{0.29492 \cdot p}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4.126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right]$$

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



Corrección atmosférica en ppm con $^\circ\text{C}$, mb, H (metros), con una humedad relativa del aire del 60%.



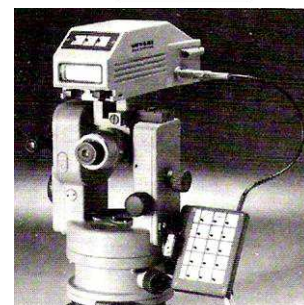
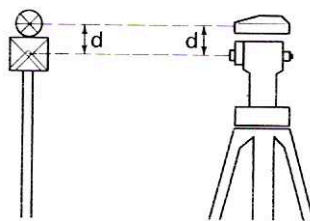
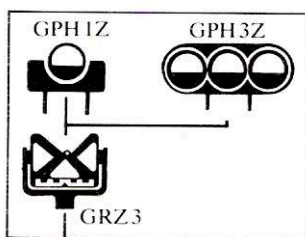
4.7.5. Corrección de offset o de excentricidad

En casos donde el distanciómetro no sea coaxial al teodolito deberá tenerse en cuenta dicha excentricidad :

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

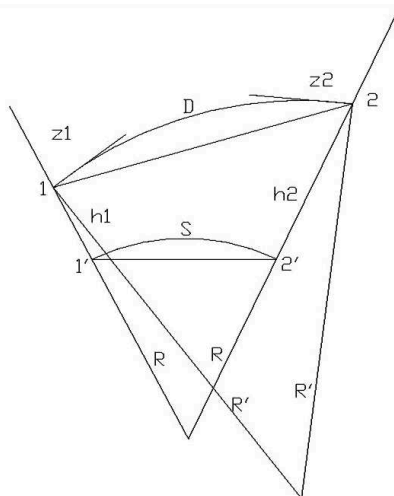
Otra situación similar ocurre cuando el sistema es modular y el distanciómetro se adosa al anteojo, la corrección en ese caso será

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



4.7.6. Corrección por refracción geodésica

La marcha de un rayo queda esquematizada por esta figura



D = Distancia corregida por velocidad de propagación.
 S = Distancia sobre el nivel del mar.
 R = Radio terrestre para la zona de medición
 R' = Radio de curvatura del rayo
 H1 y H2 = Cotas de estación y señal
 1 y 2 = Estación y Señal
 1' y 2' = Proyección de 1 y 2 sobre el nivel del mar
 Z1 y Z2 = Distancias cenitales.

Ocurre porque el rayo atraviesa capas concéntricas de diferentes índices de refracción (esto es una hipótesis).

A su vez las condiciones atmosféricas medias (entre 1 y 2) no coinciden geoméricamente con el punto medio del rayo (entre 1 y 2) debido a la hipótesis anterior. Ambas circunstancias se corrigen mediante la expresión:

$$\text{corrección} = \frac{D^3}{24 \times R^2} \times (1 - K)^2$$

K = es el coeficiente de refracción = R / R'

Varía con la región de trabajo y para nuestros trabajos se acepta $K=0,13$

Queda pasar de la cuerda en el lugar de observación al arco al nivel del mar con

$$S = \sqrt{\frac{D^2 - \Delta H^2}{\left(1 + \frac{H_1}{R}\right)\left(1 + \frac{H_2}{R}\right)}}$$

4.7.7. Reducir al elipsoide o nivel del mar ⁸

• Fórmulas de reducción del microprocesador del distanciómetro

El instrumento calcula la distancia oblicua, la distancia horizontal y la diferencia de cotas según las fórmulas siguientes. Se tienen en cuenta automáticamente la curvatura terrestre y el coeficiente medio de refracción ($k=0.13$). La distancia horizontal calculada se refiere a la altura de la estación y no a la altura del reflector

$$\sphericalangle = D_0 \cdot (1 + \text{ppm} \cdot 10^{-6}) + \text{mm}$$

$\sphericalangle$ = distancia oblicua visualizada [m]

D_0 = distancia sin corregir [m]

ppm = corrección de escala [mm/km]

mm = constante del prisma [mm]

$$\sphericalangle = Y - A \cdot X \cdot Y$$

$$\sphericalangle = X + B \cdot Y_2$$

$\sphericalangle$ = distancia horizontal [m]

$\sphericalangle$ = diferencia de cotas [m]

Y = $\sphericalangle \cdot \sin \zeta$

X = $\sphericalangle \cdot \cos \zeta$

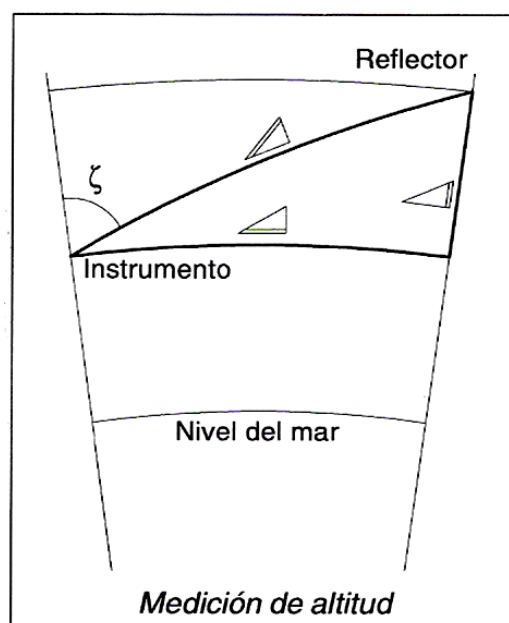
ζ = lectura del círculo vertical

$$A = \frac{1 - k/2}{R} = 1.47 \cdot 10^{-7} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$B = \frac{1 - k}{2R} = 6.83 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$k = 0.13$$

$$R = 6.37 \cdot 10^6 \text{ m}$$



• Reducción al nivel del mar ΔD_2 ⁹

Los valores ΔD_2 son siempre negativos y se obtienen con la fórmula siguiente

$$\Delta D_2 = -\frac{H}{R} \cdot 10^3$$

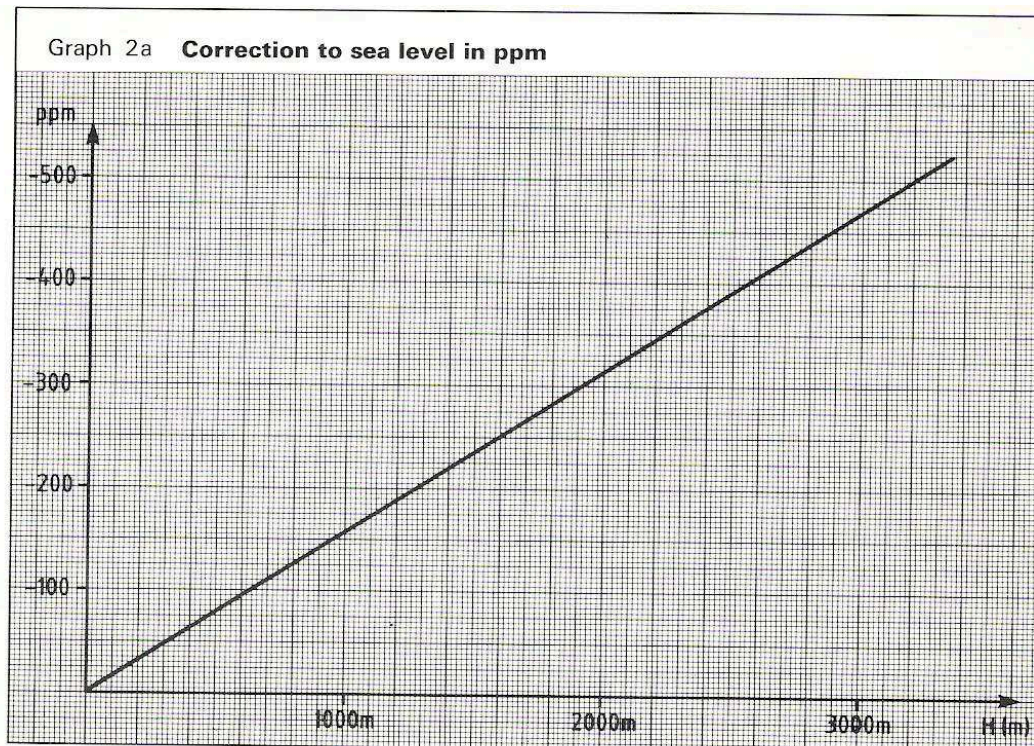
ΔD_2 : Reducción al nivel del mar [ppm]

H : altura del distanciómetro sobre el nivel del mar [m]

R : 6378 km

⁸⁸ Leica Geosystems

⁹ Leica Geosystems



Procedimiento de cálculo:

- 1) Corrección por constante del equipo.
- 2) Corrección por error cíclico.
- 3) Corrección por error de escala.
- 4) Corrección por velocidad de propagación.
- 5) Corrección por refracción geodésica.
- 6) Reducir al elipsoide o nivel del mar (es indistinto en topografía), en caso de ser necesario.

De no tener en cuenta lo precedente podremos llegar a desviarnos varios mm **sistemáticamente** del valor correcto.

4.8. ERRORES ACCIDENTALES¹⁰

Estos errores agregan incertidumbre al valor final

4.8.1. Error instrumental: e_{ims}

Es el cometido por la limitación en la precisión del instrumento. Lo da el fabricante y se expresa en dos partes, una es un valor fijo y es la precisión en la medida de la diferencia de fase, y la segunda es una cantidad relativa (función de la distancia medida) que es la precisión en el cálculo de n , es decir número entero de semilongitudes de onda.

Se da en partes por millón (ppm)

Ejemplo de error de instrumental sería 5 mm + 2 ppm, lo que quiere decir que en una medición de 1 km el error instrumental cometido es 5mm+ 2mm= 7 mm.

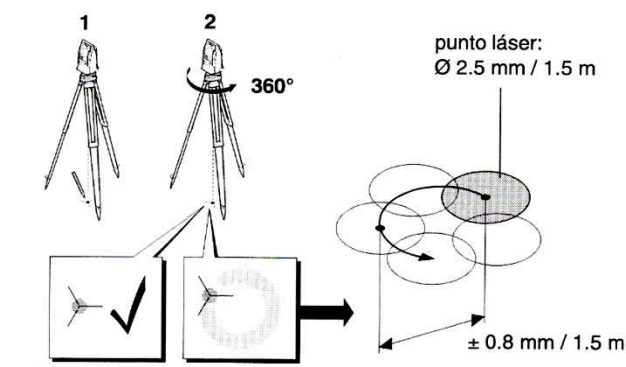
¹⁰ Ing. Roberto Aldasoro. Apunte Distanciómetro. UNLP

4.8.2. Error en el estacionamiento. e_e

Se produce al no estar la estación situada exactamente sobre el punto de estación.

Si la estación se va a situar sobre un trípode y se estaciona con plomada óptica o con punto láser, esta observación da lugar a un error de estación (e_e) menor de 2,5 mm.

$$e_e < 2,5 \text{ mm}$$



4.8.3. Error en la señal: e_s

Se produce cuando el jalón o bastón del prisma no se encuentra exactamente sobre el otro extremo de la distancia a medir.

El prisma puede situarse sobre un trípode o bípode o sobre un jalón. Si se sitúa sobre un trípode alcanzaremos incertidumbres de 2 mm, pero con jalón o bastón éstos serán superiores, pudiendo considerarse valores en torno a 1 cm.

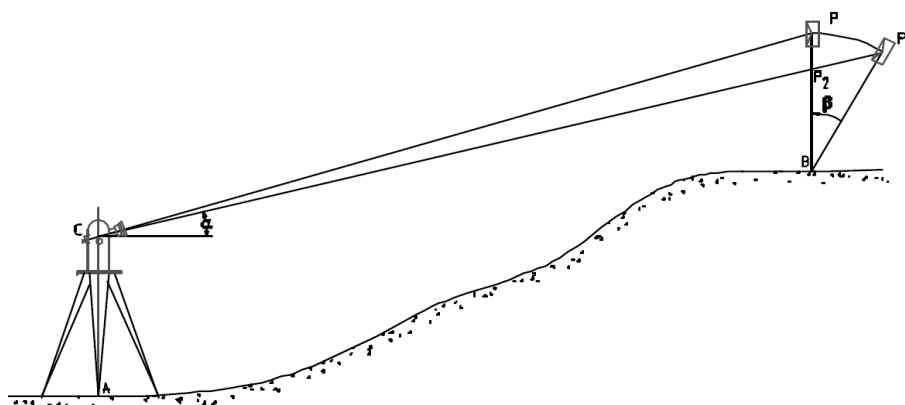


4.8.4. Error por inclinación del jalón o bastón: e_j

Se trata de la incertidumbre que se introduce en la distancia medida por inclinación de bastón. La inclinación de jalón, experimentalmente, se contabiliza en 1° si en el trabajo se utiliza un nivel esférico de mano y en 3° si la medición se realiza sin él o con el nivel descorregido (valores superiores los detecta visualmente el operador).

Denominamos P al punto ideal de puntería, P_1 el real y P_2 el punto donde la visual real cortaría a la ideal. Llamemos C al centro de emisión del aparato de MED que coincide con el centro óptico del anteojo.

Hemos indicado anteriormente que la inclinación de jalón nunca sería superior a 3° , por ello podemos considerar que el segmento CP coincide con el segmento CP_2 y que la distancia



PP_2 es despreciable. La distancia geométrica medida CP_1 , no será la que corresponde al gráfico, en el que se exponía la situación ideal de medición. El error aparece representado por el segmento P_2P_1 , y lo denominaremos e_j , α el ángulo de pendiente y m_b altura del bastón. La expresión de esta incertidumbre viene dada por:

$$e_j = m_b \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha}$$

La limitación en la precisión (sensibilidad) del nivel esférico que va acoplado al jalón provoca una cierta inclinación del jalón en el momento de la medición que no se puede controlar.

4.8.5. Error accidental total

Como ocurre en todos los errores accidentales que son independientes, el valor total, final de todos ellos es su componente cuadrática:

$$e_d = \sqrt{e_{ins}^2 + e_e^2 + e_s^2 + e_j^2}$$

No debemos confundir la aparición de errores accidentales, que es inevitable, con las equivocaciones o **errores groseros** provocados por el operador o por el mal funcionamiento del equipo. Para estos errores no existen valores contemplados y quedan fuera de la precisión indicada en cada método de observación. **No son por tanto asimilables.**

4.8.6. Errores aleatorios (incertidumbres) que afectan las mediciones con ondas electromagnéticas

Vamos a considerar únicamente las mediciones con ondas luminosas y láser. Teniendo en cuenta estas dos fuentes de incertidumbre:

El instrumental.

La puesta en estación tanto del instrumento como de la señal.

Estimaremos la incertidumbre de una distancia medida. La cual estará dada por

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{estación}} + \sigma^2_{\text{instrumental}}$$

• **El instrumental:** los fabricantes publican en sus catálogos una desviación estándar de la forma: $\sigma_{\text{dist}} = \pm (a + b \cdot \text{ppm} \cdot \text{distancia}) \text{ mm}$

Se arriba a ella aplicando los conceptos de propagación de varianza a la fórmula

$$\text{Distancia} = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot N + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \theta / (2\pi)$$

Donde el **primer término es una suma de números enteros de longitudes de onda de la onda de medición (moduladora) y el segundo una parte proporcional de la misma en función del desfase (θ)**. Como ambos miembros dependen de λ es de esperarse una fuerte correlación. En libros de texto a veces se encuentra la expresión

$$\sigma_{\text{dist}} = \pm a \pm b \cdot \text{ppm} \cdot \text{distancia}$$

Según lo visto en Cálculo de Compensación la suma lineal de las incertidumbres implica correlación entre las variables mientras que la suma cuadrática indica que son estadísticamente independientes. Según fabricante líder en estos instrumentos no existe un acuerdo generalizado, por lo que se adopta según criterio propio del profesional. Por supuesto, la primera expresión nos provee de una varianza más “pesimista”.

Hagamos algunas aclaraciones acerca de las expresiones precedentes. En un primer análisis tenemos una incertidumbre independiente de la distancia a y otra dependiente de ella b.

El término a agrupa factores tales como las incertidumbres:

- En la determinación de los parámetros que definen la longitud de onda de medición (tema tratado en la parte de errores sistemáticos).
- Fluctuaciones instantáneas del oscilador.

- En el dispositivo que determina el desfase.
- En gral. de todos los parámetros que definen el término.

El término dependiente de la distancia es función de λ (igualmente como el independiente) por lo que los valores que la determinan, recordando

$$\lambda = C_0 / n \cdot f$$

donde C_0 : velocidad de la luz en el vacío

n : índice de refracción instantáneo

f : frecuencia de modulación

aportarán sus respectivas incertidumbres.

El término **b** corresponde a las incertidumbres del oscilador y del índice de refracción que al afectar nuestra medida patrón (λ) se propagará a las **N** que quepan en la distancia.

- **La puesta en estación tanto del instrumento como de la señal**

La puesta en estación tanto del distanciómetro como de la señal implican una incertidumbre en su realización. Si bien se puede determinar experimentalmente mediante repeticiones de la maniobra sobre una superficie referenciada o comparando con una distancia conocida o lo suficientemente corta como para despreciar el error aleatorio instrumental. Se suele estimar para trabajos topográficos en no mayor a $\pm 5mm$ con un nivel del 68% para cada uno de los factores.

Para el cálculo de la desviación estándar deberemos sumar cuadráticamente los errores arriba mencionados.

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{estación}} + \sigma^2_{\text{instrumental}}$$

$$\sigma^2_{\text{estación}} = \sigma^2_{\text{instrumento}} + \sigma^2_{\text{reflector}}$$

$$\sigma_{\text{dist}} = \pm (a + b \cdot \text{ppm} \cdot \text{distancia}) \text{ mm}$$

Calculemos un ejemplo numérico.

Dado un instrumento donde $a = 5mm$ y $b = 10 \text{ ppm}$, tendremos adoptando el criterio “pesimista” para una distancia de 1000 metros

$$\sigma = \pm (2mm + 2 \times 10^6 / 10^6 \text{ mm})$$

$$\sigma = \pm 4mm$$

$$\sigma_{\text{distanciómetro}} = \pm 5mm$$

$$\sigma_{\text{reflector}} = \pm 5mm$$

$$\sigma_{\text{estación}} = \pm \sqrt{2} \cdot 5mm = \pm 7mm$$

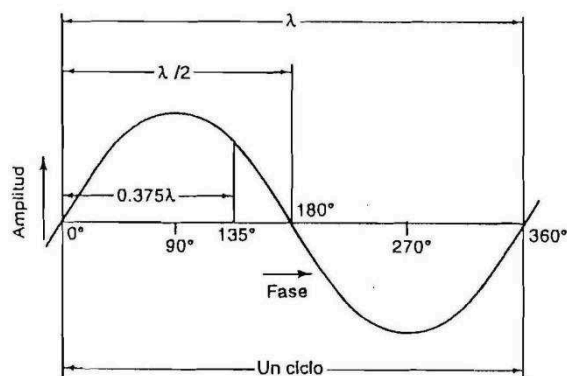
La incertidumbre total del 68% será

$$\sigma = \pm 8mm$$

Para ser estrictos cada una de las correcciones realizadas en el apartado de errores sistemáticos debe ir acompañada de la incertidumbre en su determinación la cual debería sumarse cuadráticamente a las últimas dos.

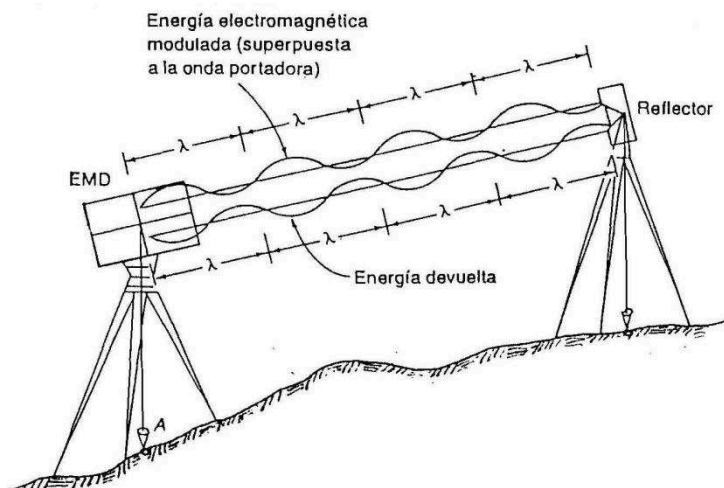
4.9. DISTANCIÓMETRO TOPOGRÁFICO

Los fundamentos del sistema ya fueron expuestos al decir que la propagación de la emisión se desarrolla en forma de onda, donde un ciclo corresponde a 360° y se grafica sobre un eje como vemos en la figura. La diferencia de fase, también denominada "retardo de fase", se la expresa por el "tiempo", en grados, en que una onda se retrasa o adelanta respecto a otra, diferencia que surge de comparar en un mismo instante la fase de una y otra onda, emitida y reflejada.



Onda de energía electromagnética

Los distanciómetros electrónicos son básicamente **fasímetros** que realizan la comparación y simultáneamente el procesamiento en el mismo instrumento emisor. Se compara la fase de la señal reflejada con la emitida determinándose luego, en función de esa diferencia, el "tiempo" del recorrido de la señal, ida y vuelta hasta el prisma. La exactitud que se puede lograr en la determinación de la "diferencia de fase" permite obtener un valor de la distancia sumamente preciso. Esta transformación la realizan en forma automática mediante un microprocesador que permite medir los desfases y además presentar la medida en una pantalla, normalmente de cristal líquido (L.C.D.).

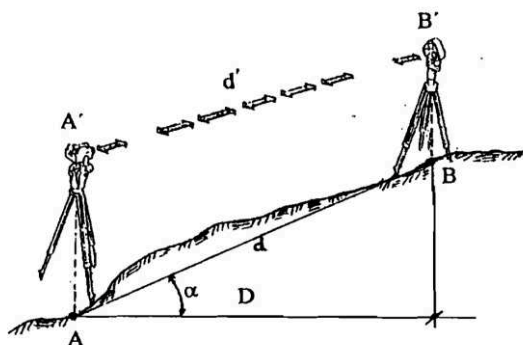


Los distanciómetros los proveen en dos sistemas **autónoma** o independiente e **integrado**

4.9.1. DISTANCIÓMETRO AUTÓNOMO

Como una unidad **autónoma o independiente** con el solo objeto de medir distancias exclusivamente, donde llevan incorporado un procesador con variados objetivos, en particular para corregir la distancia medida y proporcionar otros resultados a partir de la misma.

Un distanciómetro topográfico estacionado en el extremo A de la distancia a medir y en el otro B, el prisma reflector. El resultado primario es la distancia inclinada $A'B' = d'$ entre instrumento y prisma, la que debe ser proyectada sobre el horizonte para obtener el valor buscado de D. Se observa que la



distancia real $d = AB$ prácticamente no es considerada. Está compuesto por una carcasa de forma rectangular que encierra el sistema electrónico. En una de sus caras el teclado de mandos, el display para las lecturas y un ocular para la observación. Mientras que por el otro lado se observa una lente objetiva por donde sale la emisión. Lleva incorporada una batería, que provee la energía y el conjunto va montado sobre una armadura que a veces permite movimientos verticales y acimutales limitados, con tornillos específicos para su ajuste.



Los tamaños y formas del instrumento son variadas, en general cada vez más chicos y livianos. Esto normalmente está en función de su alcance, precisión y posibilidades de procesar (programas) y archivar información (memoria).

Los distanciómetros independientes normalmente van montados directa o indirectamente sobre un trípode, salvo casos especiales donde se los estaciona sobre soportes fijos a estructuras.

Fueron el resultado natural de la evolución de estos instrumentos en la década del sesenta, en la medida que se fueron adaptando a la medición topográfica. A su vez la tendencia se orientó hacia su montaje sobre el teodolito, de manera que pudieran funcionar conjuntamente, proporcionando simultáneamente las medidas lineales y angulares.

Un distanciómetro topográfico independiente, utilizado de esa manera, es poco práctico respecto a la posibilidad de usarlo conjuntamente con el instrumento de "medición angular".

Así es que esa forma de presentación es cada vez menos frecuente ya que la tendencia es utilizar conjuntos integrados como las estaciones totales, aunque esto tiene sus limitaciones por cuestiones de costos.



Actualmente, el telémetro electro-óptico más exacto del mundo. Apropiado para la telemetría de precisión en la medición básica geodésica y de ingeniería (medición de bases, trilateración), en la medición y control de las dimensiones de instalaciones industriales y grandes obras de construcción (medición de deformaciones), así como para la investigación en los campos metroológico y geológico. Otras características: Diseño compacto, gran comodidad de medición; requiere poco personal y poco tiempo para la medición. Se puede montar, con centrado forzoso, sobre los tripodes centradores Kern, placas de base para pilares y placas centradoras, con lo cual se puede intercambiar con todos los teodolitos Kern.

Reflectores
Reflector único, para distancias de 1300 m, aproximadamente, montado sobre tabla de señales. Para distancias mayores, uno o dos reflectores adicionales. La altura de la tabla de señales y la del reflector son iguales a la altura del eje de basculamiento del teodolito y Mekometer.

Principio de medición
La determinación de la distancia se basa en la medición de la diferencia de fase entre el rayo de luz modulado emitido y el reflejado.

Al objeto de medir la diferencia de fase de la onda modulada, puede variarse la longitud del recorrido de la luz dentro del telémetro por medio de un sistema de prismas corredizo. La medida de este desplazamiento es transformada, por el calculador, en un valor decimal de distancia, que se indica por medio de cifras luminosas. Una unidad compensadora asegura la constancia de la longitud de la onda modulada, independientemente de los efectos de temperatura y presión.

Alcance con 1 reflector ~1300 m
Alcance con 3 reflectores ~3 km
Exactitud
 $\pm (0,2 \text{ mm} + 1 \div 2 \cdot 10^{-6} \cdot D)$
Duración de una medición ~2 min
Longitud de la onda portadora 0,48 μm
5 frecuencias de medición, comprendidas entre 450 y 500 MHz

Unidad de alimentación
acumuladores NiCd, 10 Ah
Entrada 110/220 V~, 12 V-
Salida 12 V-
Peso del Mekometer
preparado para el uso 18,7 kg



Fig. 1
El Mekometer ME 3000 montado sobre un pilar, en la medición de una base

Telémetro electro-óptico de precisión, Mekometer Kern ME 3000

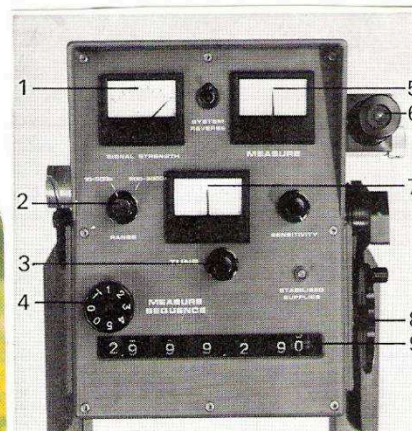


Fig. 2
Lado de manejo
1 Indicación de la intensidad de la señal recibida, 2 Conmutador de gamas de medición, 3 Ajuste de precisión de la frecuencia, 4 Botón selector de programa, 5 Medida de fase, 6 Anteojo visor, 7 Indicación de la resonancia, 8 Volante manual, 9 Indicación de la distancia

Reflector

El reflector del Mekometer se monta en forma permanente sobre la señal standard Kern de manera que puede ser nivelado y centrado utilizando el nivel tubular y la plomada óptica de dicha señal. La distancia vertical entre el centro de la señal y el del reflector corresponde a la diferencia entre la altura del eje de basculamiento del DKM3 ó DKM2-A y el Mekometer. En

Los distanciómetros independiente o autónomos que van montados sobre un teodolito, presentan dos alternativas: montados en los montantes y en el anteojo.

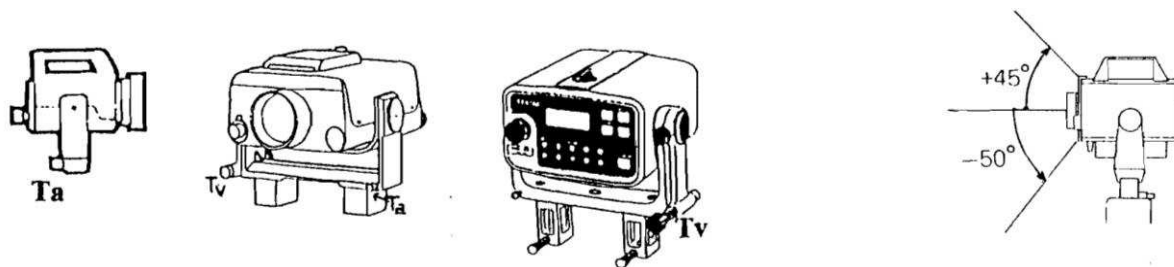
- **Los montantes.**

Este montaje también ofrece dos (2) variantes principales según el instrumento pueda instalarse sobre uno o los dos montantes del teodolito.

Independiente del tipo de montaje, el instrumento tiene un sistema de movimientos horizontales y verticales, pequeños:

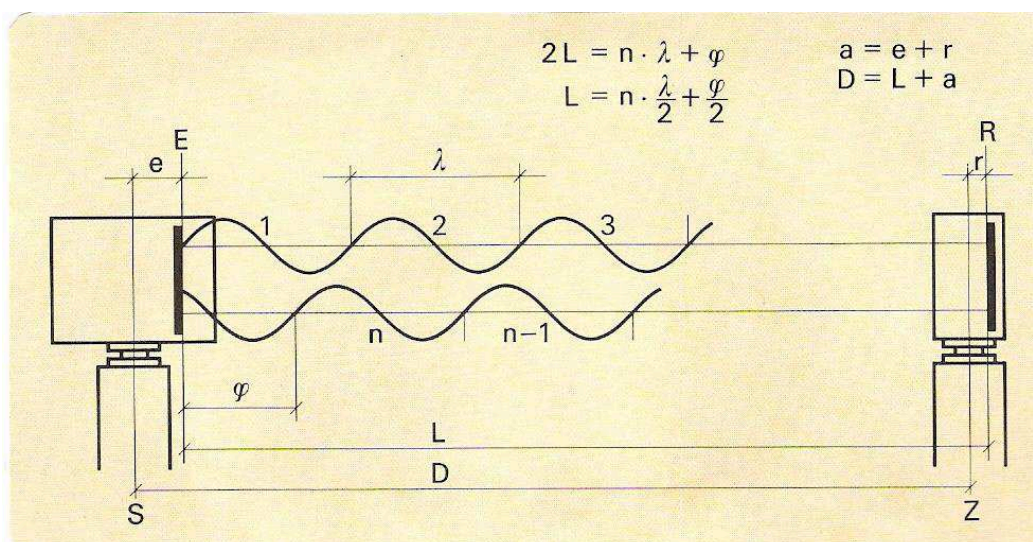
-Movimiento acimutal (T_a), normalmente muy limitado, para lo que tienen un tornillo o palanca de fijación y otro para los movimientos en sí. Están ubicados sobre la parte inferior y tienen por objeto ubicar el eje del emisor coincidente con el eje del anteojo del teodolito, condición sumamente útil en la práctica para evitar duplicar la tarea de visación.

-Movimientos verticales (T_v). Se logra con un par de tornillos, de fijación-pequeños movimientos, ubicados sobre un lateral del soporte del distanciómetro, cuyo objeto es mover verticalmente el equipo para hacer puntería en el reflector en cada determinación,



Una vez puesto en estación el equipo sobre la vertical del punto, hay que hacer puntería. Circunscribiéndonos al distanciómetro se observa que estos cuentan para ese fin con accesorios exteriores, con lo que se logra una visación aproximada, Esta luego se puede perfeccionar con un pequeño anteojo que posee el instrumento con el cual se "apunta" al reflector moviendo los tornillos citados precedentemente.

- Los distanciómetros **integrados con algún teodolito**, da lugar a las denominadas semi-estaciones.¹¹



¹¹ Leica Geosystems

- S Estación
- Z Blanco visado
- E Plano de referencia dentro del distanciómetro para comparación de fases entre la onda emitida y la recibida
- R Plano de referencia para la reflexión de la onda transmitida por el distanciómetro
- a Constante de adición
- e Parte de la constante de adición correspondiente al distanciómetro
- r Parte de la constante de adición correspondiente al reflector
- λ Longitud de onda modulada
- ϕ Fracción de la longitud de onda modulada que debe ser medida

La constante de adición **a** se emplea para un equipo de medición formado por un distanciómetro y sus reflectores. Las componentes **e** y **r** son sólo cantidades auxiliares.

Para distancias de 1200 metros hay instrumentos que usan un sólo prisma adosado a un jalón, bastón o trípode, pero para distancias de 6000 metros se usan de 8 a 12 prismas.

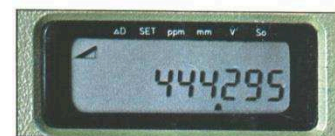
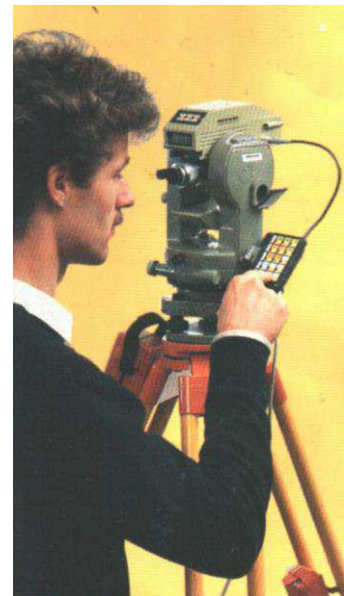
Una unidad calculadora, transforma la señal que resulte de la composición de luz reflejada y emitida, en una señal eléctrica, que produce en el display la indicación de la distancia o ángulo medido.

Una unidad display, que consiste en un panel de control o display, donde podemos obtener mediante lectura digital directa, diferencia de alturas, distancia horizontal, ángulo vertical y ángulo horizontal.

Las operaciones de calibración para la medición son las siguientes: se verifica primero que en el display se lea el número que indica una calibración correcta (todos ochos) tal que con un sistema audio-visual se sabe cuando se obtiene el retorno, habiendo previamente dirigido el instrumento hacia el prisma reflector. A continuación se introducen los datos para las correcciones atmosféricas, se oprime un botón y en pocos segundos se exhibe en el display. El teclado generalmente está separado del instrumento y se relaciona con él por medio de microondas o un cable flexible.

Hay distanciómetros en los cuales se encaja un teclado lateral, convirtiéndolo en taquímetro reductor electrónico (semiestación), ya que después de introducido el ángulo vertical por medio del teclado calcula la distancia horizontal, la diferencia de altura e incluso si se introduce el ángulo horizontal se obtienen diferencias de coordenadas Δx y Δy .

Con el teclado incorporado, el operador elige la distancia horizontal, oblicua, diferencia de altimetría, ya sea en unidades de pies ó unidades de metros, tecla para ángulo



vertical, tecla para fijar distancias para replanteos y tecla para anunciar la carga de la batería e incluso tecla de memoria.



4.9.2. TAQUÍMETROS ELECTRÓNICOS O ESTACIONES TOTALES ¹²

Es frecuente en el mercado topográfico, realizar clasificaciones de las estaciones totales, y así se pueden establecer tres grupos:

- **Estación semi-total**

Resulta de la combinación de un equipo de medida angular optomecánico, acoplado a un distanciómetro electroóptico, como explico recién. Prácticamente han resultado de la utilización de un equipo viejo y la compra del EDM, pero en la actualidad está casi desapareciendo.

- **Estación total modular:**

Los dos sistemas de medida son electrónicos, pero son independientes, caso parecido al anterior.

- **Estación total integrada:** En un mismo equipo están integrados los dos sistemas. Una estación total es el instrumento que resulta de la **integración en un solo equipo del sistema electrónico de medida de ángulos (y con imagen directa) y el sistema electroóptico para la medida de distancias**, con un microprocesador para el cálculo automático de datos topográficos: distancia reducida o inclinada, con o sin correcciones. azimut, desniveles, trabajo en coordenadas polares o cartesianas. Las características funcionales del microprocesador son: exploración electrónica del limbo y presentación digital de los resultados; corrección automática de las lecturas iniciales del limbo. considerando la falta de perpendicularidad del eje vertical excentricidades del limbo: compensación de la distancia en función de la temperatura y presión; adición de constante de prisma, .etc.



Permiten trabajar en modo teodolito o en modo distanciómetro.

Las más avanzadas pueden realizar cálculos a la información para replantear puntos, y otros cálculos. Algunas veces se les conoce como «**estaciones inteligentes**».

Todavía en este grupo podríamos hablar de otras estaciones totales de características especiales:

- **Estaciones servodireccionales:**

Son estaciones totales integradas que llevan incorporado un componente servomando, que permite girar y apuntar el instrumento con sólo tocar una tecla. Lleva compensador de doble eje

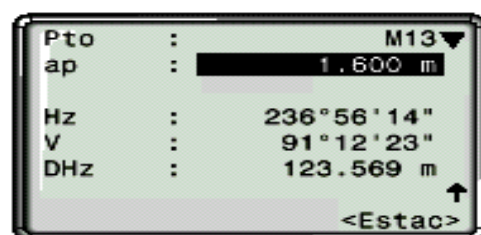
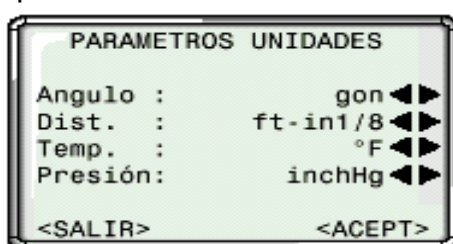
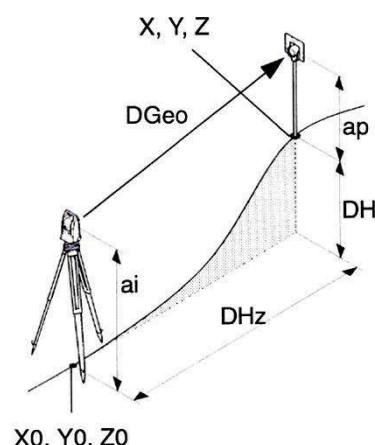
- **Estación total One Man System (robotizada).**

Es una estación total de sistema personal, que puede ser **gobernada desde el portaprisma, que lleva un teclado** (RPU unidad de control inteligente) similar a la estación total, y esta, a su vez, está mecanizada con servo para punterías automáticas

¹² M. Chueca Pazos. J.Herráez Boquera. J.Berné Valero. Tratado de Topografía 1. Teoría de Errores e Instrumentación

Medición de distancias

El alcance, al igual que los distanciómetros, es variable de unos equipos a otros, oscilando de 1 a 5 km en la mayoría de los casos, y función del número de prismas. La distancia puede ser medida en forma geométrica o reducida, así como calcular diferencias de alturas. Esta medición puede ser en modo único o tracking. En este caso, la medición se repite a intervalos del orden de 0,5 a 0,6 seg. Esto tiene gran interés para seguir objetos en movimientos o en replanteos. El sistema de unidades puede ser en metros o en pies.



Parámetros atmosféricos

Las condiciones atmosféricas reinantes afectan directamente a la medición de distancia.

Las correcciones atmosféricas de la distancia se determinan a partir de la temperatura del aire, la presión atmosférica o la altura sobre el nivel medio del mar, y la humedad relativa del aire o la temperatura húmeda. La corrección atmosférica es automática, en función de la presión y temperatura seleccionadas por el operador. Generalmente, las casas comerciales fijan $T = 15^{\circ}\text{C}$ y $p = 750 \text{ mm/Hg}$.

Para tener en cuenta esas condiciones ambientales, se aplica a las mediciones de distancia una corrección atmosférica (ppm).

- Presión: Presión atmosférica reinante en el lugar del instrumento.
- Cota sobre el nivel del mar: Altitud de la estación sobre el nivel del mar.
- Temperatura: temperatura del aire en el lugar del instrumento.
- Humedad Relativa: Humedad relativa del aire en % (generalmente, 60%).
- Coeficiente .Refracción:(K): Introducción del coeficiente de refracción para tener en cuenta la curvatura de los rayos.
- PPM_Atmosférica: Corrección atmosférica (ppm) calculada

La corrección por refracción atmosférica y curvatura terrestre también es automática. Generalmente, fija la casa un coeficiente de refracción de 0,13.

Algunos equipos llevan integrados un sistema de medida automática de presión y temperatura atmosférica, de manera que realizan en cada medición la corrección en función de cada instante.

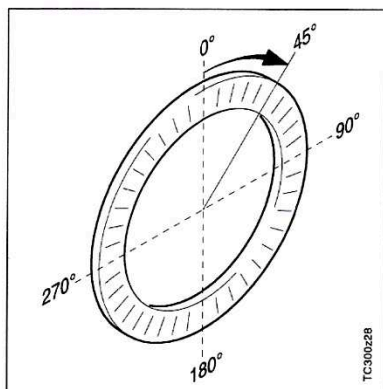
Las más sofisticadas vienen equipadas con un reloj y calendario, que sirve para fechar la toma de datos en el colector, de enorme aplicación en batimétricos, deformaciones, etc. La casa AGA comercializa una estación total que por el haz de infrarrojos de medida permite enviar una modulación en audio a un receptor dispuesto en el portaprisma, es decir, lleva incorporado un transmisor unidireccional

Medición de ángulo

La medición de ángulos horizontales y verticales se realiza mediante un sistema de detección basado en un codificador giratorio incremental. En el ángulo horizontal la detección es diametralmente opuesta, y en el vertical detección simple. El modo de medición en el ángulo horizontal puede ser derecha o izquierda, pudiendo retenerse o liberarse la posición del 0° de referencia, a través del teclado, así como introducir la dirección que se desee. La mayoría de los equipos disponen de memoria de seguridad para ángulos horizontales. Es decir, almacena la última lectura de ángulo horizontal en memoria. Algunos equipos permiten la medición repetida del ángulo, y se almacena hasta un valor de 2.000° , y da el promedio de las lecturas, es decir, permite almacenar los datos de una lectura por repetición y dar el promedio final.

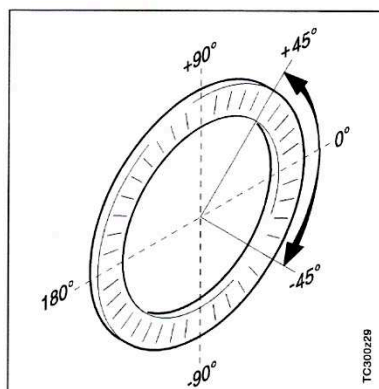


Cenit



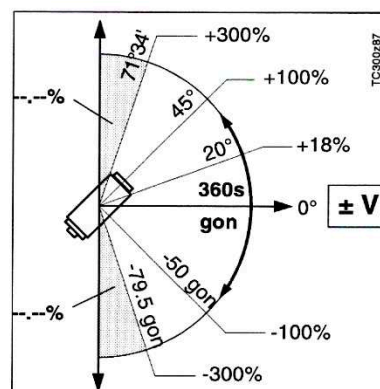
El ángulo V aumenta de 0° a 360° (0-400gon).

Horizonte



Los ángulos V situados por encima del horizonte se visualizan como valores positivos y los situados por debajo, como negativos.

Geom.



100% corresponde a un ángulo de 45° (50 gon, 1600 mil).



El valor % aumenta muy rápidamente; por eso a partir de 300% se muestra en pantalla "--,--%".

El ángulo vertical permite un ajuste tri-modal de ángulo 0° , en las posiciones cenit, nadir, altura de horizonte, así como en %. Un sensor de inclinación, de alta precisión, se usa para corregir el eje vertical. El margen de ajuste suele ser de $\pm 3'$ de la vertical, y el aparato compensa de forma automática las desviaciones para garantizar lecturas y precisas en ángulos verticales y cálculos en distancias. Si el instrumento está fuera de límite se presenta en pantalla el mensaje de error.

En la actualidad algunos equipos llevan varios sensores.

Características generales

Las características generales del equipo son: telescopio de imagen directa de 26 a 32x aumentos, fabricados en vidrio de extra baja dispersión, foco mínimo 1,3 m sistema óptico coaxial. Algunos equipos permiten iluminar el retículo.

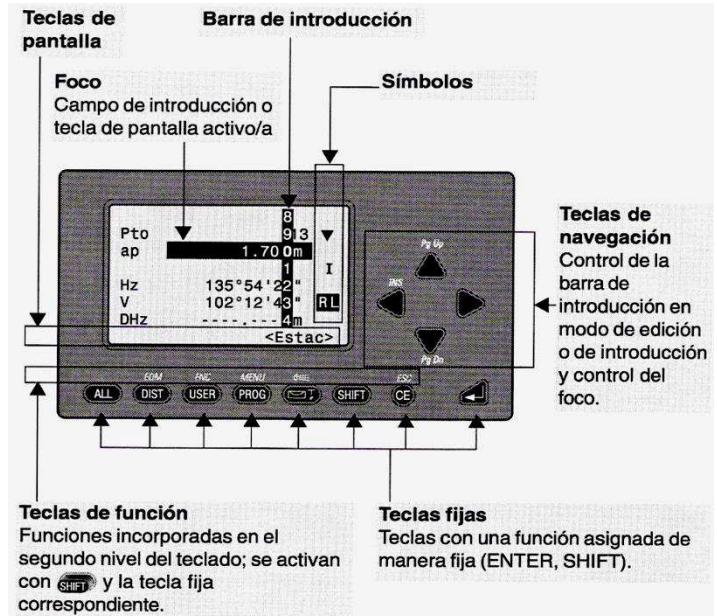
Pantalla de cristal líquido de matriz de puntos, generalmente doble pantalla una en cada lado de la alidada, teclado variable, según equipos desde 2 teclas hasta 24, con funciones y con símbolos para guiar al operador.

Medición de ángulo continua, codificador absoluto.

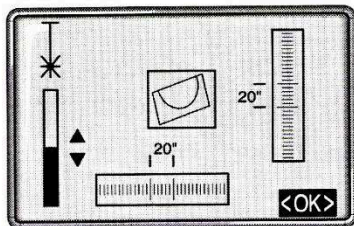
Medición de distancia de onda portadora infrarroja.

Plomada óptica o con rayo láser

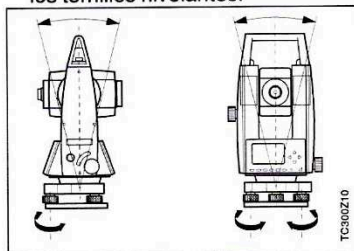
Generalmente memorizan el último ángulo horizontal, después del apagado.



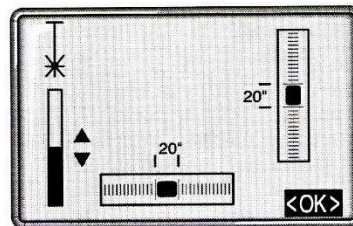
1. Conectar con el nivel electrónico. Si el instrumento no está en una posición aproximadamente horizontal, aparece el símbolo de un nivel inclinado.



2. Centrar el nivel electrónico girando los tornillos nivelantes.



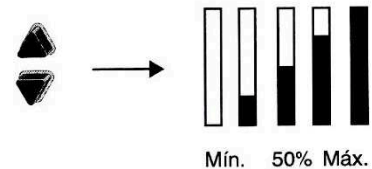
Cuando el nivel electrónico esté ajustado, estará nivelado el instrumento.



3. Comprobar el centrado con la plomada láser y corregir si fuera necesario.
4. Desconectar con el nivel electrónico y la plomada láser.

Cambiar la intensidad del láser

Las influencias externas y la naturaleza del terreno exigen muchas veces una adaptación de la intensidad del láser. Según las necesidades la plomada láser se puede ajustar en pasos de 25%.



5. La tecla de pantalla **<OK>** fija la intensidad del láser indicada y termina la función.

La plomada láser y el nivel electrónico se activan conjuntamente con .

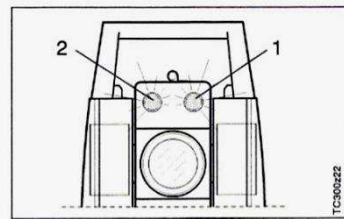
Los tornillos de presión y coincidencia son coaxiales, permitiendo punterías con una sola mano.

Las estaciones de mayor precisión llevan compensación de doble eje. Las opciones de trabajo más frecuentes son:

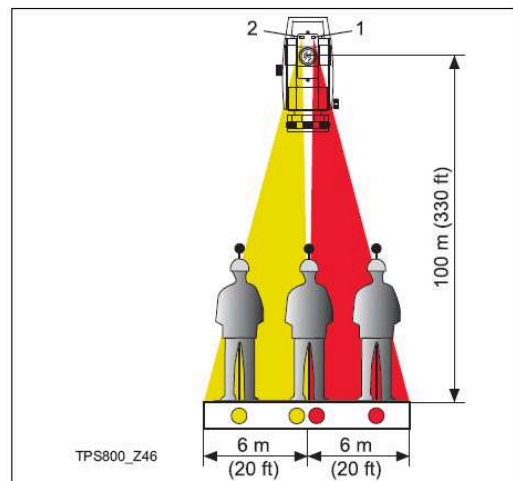
- modo teodolito,
- modo taquímetro o básico,
- modo menú (permite poner correcciones y alturas prismas, etc.),
- modo replanteo.

• Función «lumi-guide» ¹³

Algunos modelos tienen la luz roja exclusiva de seguimiento Lumi-Guide incorporada encima de las lentes del objetivo del telescopio. La Lumi-Guide emite dos haces visibles de luz coherente roja y amarilla, uno fijo y otro intermitente. El portador de la mira puede localizar fácil y rápidamente la posición angular correcta buscando el punto en el que ambos son visibles. El haz brillante es fácil de ver a una distancia de hasta 150 m desde el instrumento.



- 1 Orificio de salida del rayo para diodo intermitente rojo
2 Orificio de salida del rayo para diodo intermitente amarillo



- 1) Diodo intermitente rojo
2) Diodo intermitente amarillo

Rango de trabajo: 5 - 150 m (15 - 500 ft)
Divergencia: 12 m (40ft) a 100m (330 ft)

Lumi-Guide incrementa la velocidad y eficiencia de cualquier trabajo de replanteo.

• Configuración de la estación

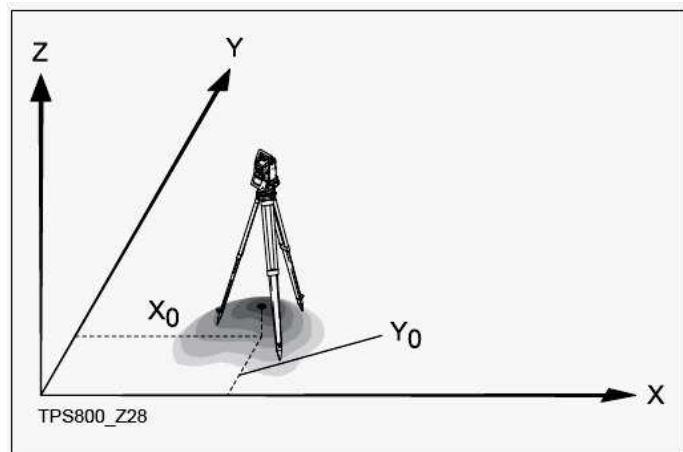
Todos los cálculos de coordenadas se refieren siempre a la estación actualmente fijada. Para fijar la estación es necesario fijar al menos sus coordenadas (X,Y).

La cota de la estación se puede introducir facultativamente.

Las coordenadas se pueden introducir a mano o leer de la memoria interna

Las coordenadas del un punto visado (X,Y) siempre están referidas a un sistema de coordenadas local con origen en el punto de estación.

La dirección del Norte (Y) está definida por el 0° del círculo horizontal y la dirección del Este (X) por el ángulo horizontal 90°.



• Errores instrumentales

Pueden variar con el tiempo y con la temperatura.

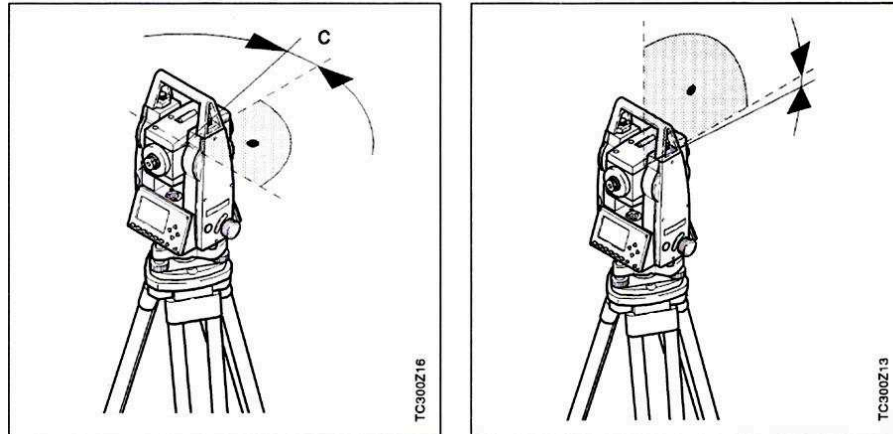
Por esta razón, se recomienda volver a determinar este error antes del primer uso, antes de mediciones de precisión, después de largos transportes, antes y después de pausas prolongadas de trabajo y en caso de diferencias de temperatura de más de 10°C.

Para determinar los errores instrumentales hay que nivelar bien el taquímetro.

¹³ Leica Geosystems

El instrumento debe estar sobre una base firme y segura y se debe proteger contra los rayos directos del sol a fin de evitar que se caliente de forma unilateral.

El error de colimación (C) es la desviación del ángulo recto formado por el eje de muñones y la línea visual.



La influencia del error de colimación en el ángulo horizontal Hz aumenta con la altura sobre el horizonte.

En visuales horizontales el error en Hz es igual al error de colimación.

Si la línea visual es horizontal, la lectura del círculo vertical debería ser de exactamente 90° (100 gon).

La desviación de este valor se denomina error de índice vertical (i).

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

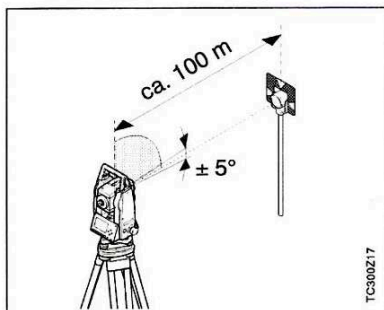
Determinar el error de colimación (c)

1. Nivelar exactamente el instrumento con el nivel electrónico.

Para controlar la puntería horizontal se muestran en pantalla Hz y V.

5. Volver a efectuar la medición con la tecla de pantalla.

2. Dirigir la visual a un punto situado a unos 100 m de distancia, que no se separe más de $\pm 5^\circ$ de la línea horizontal. Para controlarlo, activar la visualización del ángulo V.

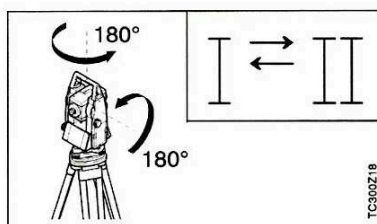


COLIMACION HZ (1)	
Hz :	123°43'07"
V :	272°11'31"
Apuntar al punto	
<SALIR> <MEDIR>	

COLIMACION HZ (2)	
Hz :	303°43'17"
V :	87°48'19"
dHz:	-0°00'10"
dV :	0°00'28"
<SALIR> <MEDIR>	

3. Efectuar la medición.

4. Cambiar a la otra posición del anteojo y visar de nuevo el punto.



6. Visualización del antiguo error de colimación y del recién calculado.

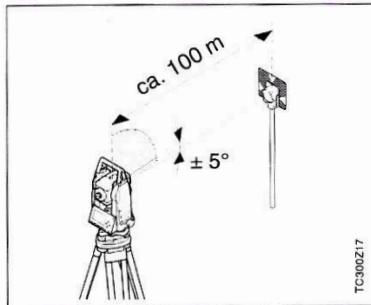
COLIMACION HZ (c)	
c prev :	-0°00'27"
c nueva:	-0°00'27"

El nuevo valor se puede
<ACEPT> fijar o
<SALIR> rechazar

Determinar el error de índice vertical (i)

1. Nivelar exactamente el instrumento con el nivel electrónico.

2. Dirigir la visual a un punto situado a unos 100 m de distancia, que no se separe más de $\pm 5^\circ$ de la línea horizontal. Para controlarlo, activar la visualización del ángulo V.



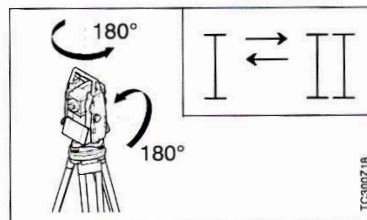
Al determinar el error de índice vertical se ajusta automáticamente el nivel electrónico.

Para controlar la puntería horizontal se muestran en pantalla Hz y V.

INDICE VERTICAL (1)	
Hz :	123°43'07"
V :	272°11'31"
Apuntar al punto	
<SALIR> <MEDIR>	

3. Efectuar la medición.

4. Cambiar a la otra posición del anteojo y visar de nuevo el punto.



5. Volver a efectuar la medición con la tecla de pantalla.

INDICE VERTICAL (2)	
Hz :	303°43'17"
V :	87°48'19"
dHz :	-0°00'10"
dV :	0°00'28"
<SALIR> <MEDIR>	

6. Visualización del antiguo error de índice V y del recién calculado.

INDICE VERTICAL (i)	
i prev :	-0°00'27"
i nueva :	-0°00'27"

El nuevo valor se puede
<ACEPT> fijar
<SALIR> rechazar

• Medición de distancias sin reflector ¹⁴

Algunas estaciones totales (Ej.: TCR de Leica Geosystems) incluyen no solo un distanciómetro infrarrojo convencional para medir con prismas, sino también un distanciómetro con láser que no requiere reflector. El operador puede cambiar de uno a otro. Dicha característica ofrece varias ventajas cuando los puntos a medir no son del todo accesibles, como puede ocurrir al medir fronteras, colocar conductos o en mediciones a lo largo de cañadas o rejas.

El punto rojo del láser visible resulta de gran ayuda al marcar puntos durante la medición de perfiles en túneles o en trabajos en interiores o replanteo en obra. El rayo láser rojo que se utiliza para medir sin reflector es



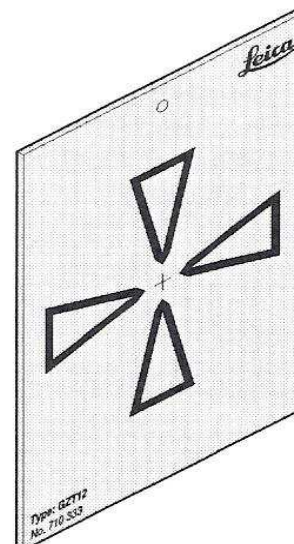
coaxial con el eje de puntería del anteojo y sale por el orificio del objetivo. Si el ajuste es bueno, el rayo rojo de medición y la línea de puntería visual prácticamente coinciden. La dirección del rayo rojo de medición puede resultar alterada por causas externas, como un golpe o grandes diferencias de temperatura. Antes de efectuar las mediciones precisas de distancias se debe comprobar la dirección de rayo láser ya que

¹⁴ Leica Geosystems

una fuerte desviación del mismo respecto a la línea de puntería puede producir mediciones imprecisas.

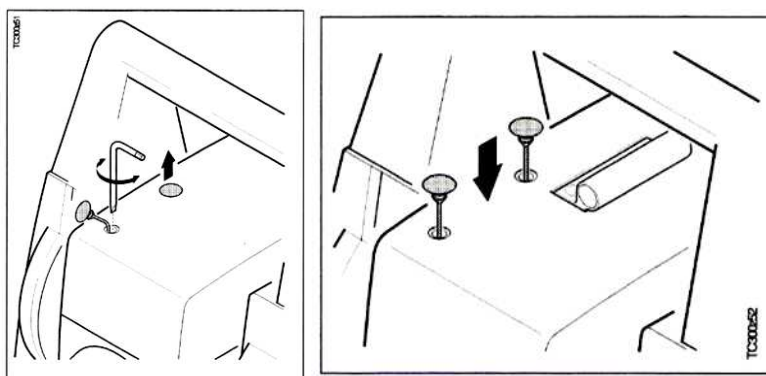
- **Comprobación**¹⁵

Colocar la tablilla de puntería a una distancia de 5 m a 20 m del instrumento, con la cara gris, de mayor reflexión, dirigida hacia el instrumento. Llevar el anteojo a la posición II. Dirigir el instrumento mediante el retículo del anteojo al centro de la tablilla de puntería. Mirando por el anteojo visar el retículo de la tablilla. El punto rojo de medición no es visible a través del anteojo pero sí al mirar directamente a la tablilla justo por encima o aliado del anteojo. Si la mancha roja del láser ilumina el retículo de la tablilla, se está dentro de la precisión de ajuste prevista y no es necesario ajustar. Si, por el contrario, la mancha luminosa cae fuera del retículo, hay que ajustar la dirección del rayo. Si la mancha resulta demasiado clara (brillante), deberá hacerse la comprobación con la cara blanca de la tablilla



Ajuste de la dirección del rayo

Retirar las dos tapas de cierre de los orificios de ajuste situados en la tapa superior del anteojo. Con la clavija de ajuste en el orificio trasero realizar la corrección en altura del rayo de medición. Girando el tornillo hacia la derecha la mancha roja se mueve transversalmente hacia arriba y girando hacia la izquierda, se mueve hacia abajo. Introducir después la clavija en el orificio delantero y realizar la corrección lateral. Girando hacia la derecha, la mancha roja se mueve hacia la derecha y girando hacia la izquierda, se mueve hacia la izquierda,



- **Sin reflector.**

Habrà que asegurarse de que el rayo láser no sea reflejado por ningún objeto situado cerca de la línea de puntería (objetos muy reflectantes).

Al efectuar la medición de distancia, el distanciómetro mide al objeto que en ese instante está en la trayectoria del rayo. Si hay una obstaculización momentánea (por ejemplo un coche circulando, polvo, lluvia, niebla o nieve) el distanciómetro mide la distancia al obstáculo.

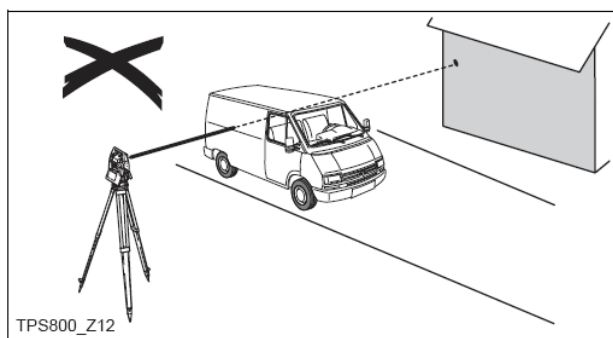
¹⁵ Leica Geosystems

Las desviaciones del rayo láser respecto al eje de puntería pueden reducir la precisión de medición, debido a que el rayo de medición no se refleja en el punto visado con la cruz reticular (sobre todo en distancias grandes).

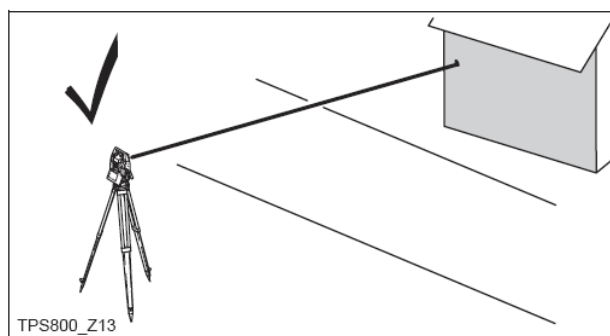
Por lo tanto, es imprescindible ajustar periódicamente el láser R.

Nunca debe medirse a la vez con dos instrumentos sobre el mismo punto.

Elección de rayos IR o LR y tipos de prismas.¹⁶



Resultado erróneo



Resultado correcto

En los instrumentos TCR se puede elegir entre mediciones con el distanciómetro de láser visible (LR) o con el infrarrojo invisible (IR).

Los tipos de prisma dependen del modo de medición elegido.

LR_Corto	Distancias cortas. Para medir sin prismas distancias de hasta 80m (3mm + 2 ppm)
LR_Track	Medición continuada de distancias, sin reflector (5mm + 2 ppm)
LR_prism	Distancias largas. Para medir con prismas (10mm + 2 ppm)

IR_prec	Para mediciones de máxima precisión con prismas (2mm + 2 ppm)
IR_rapid	Modo rápido, para mediciones rápidas de menor precisión (5mm + 2 ppm)
IR_Track	Medición continuada de distancias (5mm + 2 ppm)
IR_Diana	Para medir con dianas reflectantes (5mm + 2 ppm)



El distanciómetro mide a cualquier objeto que el rayo de medición se encuentre en su trayectoria

4.9.3. LIBRETA ELECTRÓNICA

La automatización que presentan las semi-estaciones y estaciones totales en sus lecturas y cálculos, viene incrementada por la posibilidad de conectarse a un microprocesador, para almacenamiento de datos y tratamiento posterior, llamado **colector de datos o libreta electrónica**. Entenderemos por lo tanto como libreta electrónica a un microprocesador conectado a una semi-estación y/o estación total que es capaz de almacenar datos, transmitirlos a una computadora o viceversa. Su complejidad oscila desde un simple módulo de registro, tipo tarjeta, hasta los que son verdaderos ordenadores portátiles. Para simplificar, se los puede clasificar en tres grupos: **tarjetas de registro, colector de datos y libreta electrónica**. Presentan una enorme rapidez de toma de datos, evitando además errores de transcripción o interpretación

- **Tarjetas de registro**

Las tarjetas de registro o módulo es un soporte informático de almacenamiento. que se inserta en un teodolito o taquímetro electrónico para registrar datos, y que precisa un lector o interface específico para comunicarse con la computadora o con equipo, periféricos. El lector tiene teclado incorporado, para corregir datos memorizados en módulo sin necesidad de estar conectado con la computadora.



El interface permite intercambio directo de datos entre el módulo de registro y una computadora compatible y puede utilizarse también para transmitir datos en sentido contrario. Los primeros modelos de tarjeta suelen ser de 32 K/64/K y 256 kb, pudiendo almacenar las de 32 K hasta 500 puntos. Actualmente se proveen de hasta 256 Mb. El módulo es intercambiable en pocos segundos.



En algunos equipos, este módulo va posicionado en uno de los dos teclados; otros, en el lateral del equipo.

La transmisión de datos al colector puede ser a través de clavijas o contactos, o por inducción magnética, siendo más interesante esta opción al presentar hermeticidad total la tarjeta.

Los teodolitos Wild T1000 y T1600 pueden llevar un receptáculo para el “módulo REC Wild GRM10” en lugar del teclado de la posición II. El módulo REC es una memoria de datos enchufable que se puede intercambiar en pocos segundos. Pueden almacenar unos 500 bloques de datos. La sustitución de estos módulos permite aumentar la capacidad de memoria tanto como se desee. Los datos registrados se puede leer en cualquier momento en el indicador del teodolito. El módulo puede enviarse por correo, pues sólo pesa 70 g.

Lectores de datos Wild GIF10 y GIF12

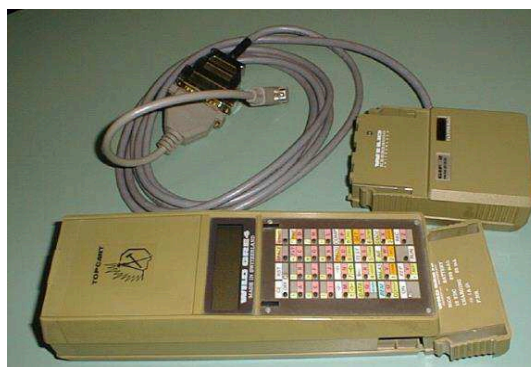
Se trata de interfaces para el intercambio de datos entre el módulo REC y un ordenador. En el GIF10 los datos se pueden visualizar, copiar o borrar.

EL GIF12 funciona en conexión con un PC o compatible y es controlado por ordenador.

- **Colectora de datos**

Está constituido por una calculadora tipo Psion, sobre la que se ha instalado un sistema lógico de almacenamiento, y tratamiento de datos numéricos, con una memoria interna RAM de 32 K, y capacidad para almacenar datos de 400 a 500 puntos. 1 colector lleva dos espacios portapastillas; en el *A* se debe colocar un Datapak donde se instalan programas topográfico, y en el *B* puede llevar otro Datapak para almacenamiento, pero exige un formateador para poder borrar los datos, o bien en la *B* se puede poner un RampaK para almacenamiento que además permite el borrado .

Existen otros terminales con capacidad para 64 K, con memoria para programa, Basic, que le permite cargar y leer programas. Lleva reloj automático con indicación e fecha y ahora de registro de datos, así como conexión y desconexión del instrumento e medida o registro. **La casa Wild comercializa el GR3 (numérico) y GR4 (alfanumérico):**



La colectora registra los datos en forma de bloques de medición y bloques de códigos. Aparte se pueden registrar bloques de texto.

Un bloque significa una línea y consta de varias “palabras de datos”.

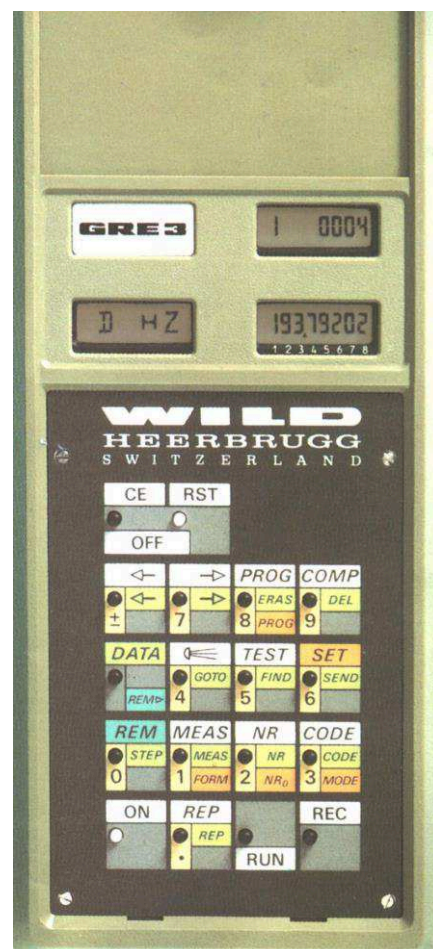
Los bloques de medición contienen en general valores de medición y un número de punto; se pueden definir según la tarea a realizar.

Los bloques de código sirven para almacenar informaciones e instrucciones (Ej.: fecha, hora, temperatura, códigos de detalles). También se pueden utilizar para registrar valores de medición cualesquiera como por ejemplo: distancia de control, altura del instrumento, identificación del cliente, objeto del trabajo, etc.

Los bloques de texto, como su nombre lo indica contiene textos y puede tener hasta 72 caracteres.

Cada bloque contiene un número de bloque que se va incrementando y que se registra automáticamente con el bloque. Durante el registro aparece brevemente el número de bloque en el indicador.

Contiene un sistema de búsqueda e indicación, que permite al operador en cualquier momento el acceso rápido a los datos almacenados. Con comandos se buscan, cambian y suprimen bloques de datos sueltos, y para transferir y suprimir



ficheros completos. Se puede fijar distintos parámetros y tablas con todos los mensajes. Contienen teclados alfanuméricos y funciones textos.

Datos Técnicos:

Capacidad de 64 kbytes CMO, equivalente a 8000 palabras, unos 2000 bloques; un bloque contiene de 1 a 10 palabras y una palabra equivale a 16 caracteres.

Entrada y salida de datos alfanuméricas.

Indicador matricial con 2 líneas de 16 caracteres cada una.

Teclados de hasta 32 teclas.

Funciones estándar –las funciones se activan desde un teclado, una terminal externa o el módulo de programa Basic-: Bloque de medición

Bloque de código

Bloque de texto

Búsqueda

Corrección

Transferencia de datos

Tipo de memoria con burbujas magnéticas, memorización permanente, independiente de la energía.

Bloques de datos:

Bloque de medición puede contener 1 a 10 palabras

Bloque de código puede contener 1 a 9 palabras

Bloque de texto contiene hasta 72 caracteres

Ficheros de hasta 5

Indicador de fecha y hora.

Módulo de programa Basic, con capacidad de memoria de hasta 32 kbytes con hasta 9 programas.

Transferencia de datos a ordenador personal (PC) con interface enchufable del tipo RS232 o TTY

Alimentación con batería de NiCd de 12 v, recargable

Ejemplo de registro de datos:

```
410001+00000010 42....+09071994 43....+00001107 44....+00000000 45....+00000001
410002+00000020 42....+00000001 43....+00001560
110003+00000010 21.104+00000000 22.104+08958350 31..00+00350137 51....+0000+000 71..1.+10000000
110004+00000011 21.104+00000000 22.104+08947450 31..00+00352933 51....+0000+000 71..1.+10000000
110005+00000012 21.104+00004000 22.104+08948400 31..00+00356891 51....+0000+000 71..1.+10000000
110006+00000013 21.104+00040400 22.104+09001300 31..00+00359076 51....+0000+000 71..1.+10000000
```

Ejemplo de registro de coordenadas:

```
110049+00DM3060 81..00+87401790 82..00+13086650 83..00+00000000
110050+00DM1513 81..00+85832216 82..00+14128147 83..00+00000000
110051+00DM3532 81..00+87378850 82..00+13067250 83..00+00000000
110052+00MIGUE 81..00+90269395 82..00+11236123 83..00+00000000
```

Se debe definir el formato de entrada de datos, del mismo modo que en una libreta de campaña se anotan en determinadas tablas aquellos datos necesarios para un trabajo determinado. En las terminales de datos se simulan esas tablas con el formato de entrada. Cada una de esa “tablas” contiene un máximo de 10 palabras (una palabra corresponde a una columna de la tabla y representa por ejemplo: el número de punto, el ángulo horizontal, el ángulo vertical la distancia oblicua, etc. En un bloque de medición pueden aparecer mezcladas palabras introducidas de forma manual y otras

registradas automáticamente. En este caso un bloque de medición puede contener 154 palabras como máximo.

Para identificar una medición se registra un número de punto de 8 caracteres, con cada bloque de medición. Para cada bloque de medición se puede asignar individualmente el número de punto o dejar que se asigne automáticamente un número de punto correlativo que se incremente en una unidad con cada bloque de medición.

Típicas aplicaciones para la colectora de datos con módulo de programa Basic:

- Puesta en estación libre, usando coordenadas memorizadas de puntos de control.
- Replanteo con ángulo y distancia, usando coordenadas memorizadas y calculadas.
- Ajuste de estaciones mediciones en serie
- Cálculo de coordenadas con programa COGO
 - Acimut y distancia entre dos puntos
 - Calculo de coordenadas a partir de levantamiento polares
 - Intersección de dos círculos
 - Intersección de dos direcciones
 - Cálculo de coordenadas a partir de levantamiento ortogonales
 - Elementos de replanteo ortogonales a partir de coordenadas
 - Circunferencia determinada por tres puntos
 - Intersección de una circunferencia y una recta
 - Cálculo de superficies
- Nivelación de precisión.
- Empleo como calculadora
- Etc.

- **Libreta electrónica**

El ordenador de campo o libreta electrónica está constituido por un miniordenador que lleva integrado programas adecuados para registro, cálculo y tratamiento de datos en campo (*on-line*) o en la oficina (*off-line*). Tiene comunicación bidireccional con ordenadores y otros periféricos. La entrada de datos puede ser manual o automática. Lleva teclado alfanumérico, permitiendo introducir información numérica o alfanumérica. Su estructura general está formada por una unidad central de proceso, una memoria de almacenamiento de datos y otra de almacenamiento de programas. Las funciones principales que se pueden realizar son de transferencia de datos y programas entre la memoria de almacenamiento, la memoria de gestión y el teclado. Determinación de unidades de trabajo; correcciones a los datos; identificación de trabajo, estaciones; utilización de los programas topográficos integrados y la programación de otros programas; posibilidad de carga automática o manual de datos; revisión de los datos; resultados de cálculo; configuración de una libreta topográfica de campo.

El almacenamiento puede hacerse creando archivos particulares para cada trabajo que permiten la entrada de texto y códigos. Al igual que los llamados colectores, permiten revisar la información almacenada, pero con la diferencia de que en lugar de tener que rastrear todo el archivo, permite comprobar un número de punto determinado.

Los programas más frecuentes que llevan integrados son los siguientes:

radiación,

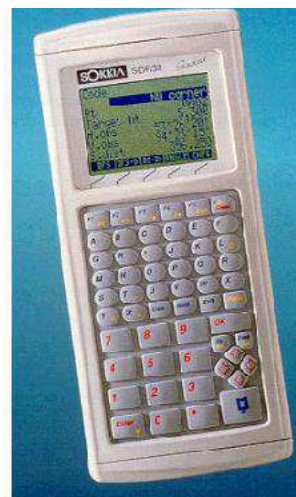
poligonal,
 trisección inversa,
 elevación remota,
 replanteo,
 entrada por teclado,
 dibujo de planos, dibuja los puntos de un trabajo directamente en un plotter.
 cálculo de áreas.

Suelen disponer de programa de libre configuración de libreta de campo. programa de registro, cálculo y transmisión de datos. Existe en el mercado un colector de la casa Pentax, que lleva incorporado un programa para representación gráfica e pantalla del trabajo, pudiendo representar directamente los datos.

La casa Leica comercializa una libreta electrónica, la WILD GPCI, que es un ordenador portátil de campo, compatible con IBM, equipado con sistema operativo-MS-DOS. Lleva incorporado diversos programas de medición, con 1 MB Ram para la memoria principal y el almacenamiento de datos y 1 MB Ram de ampliación de memoria interna. Tiene tarjetas de registro intercambiable (512 K) para ampliar la capacidad



CMT modelo MC-II (256 k), para la adquisición y registro de datos en campaña y gabinete, con conexión al distanciómetro Distomat D1 1000, interfaces a PC e impresoras.



4.10. TIPOS DE REFLECTORES

La medición electrónica de distancia se basa en la emisión de una onda desde un elemento emisor hasta otro elemento que la devuelve por **reflectores pasivos** o bien la amplía y la devuelve para su análisis con **reflectores activos**.

Los instrumentos que utilizan micro ondas (electromagnéticos) trabajan con reflectores activos, llamando al equipo «master» o maestro y al reflector «remoto» .

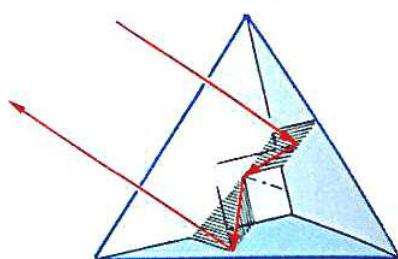
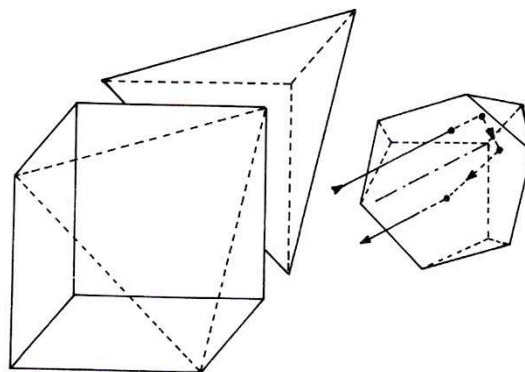
Los electro-ópticos trabajan con reflectores pasivos.

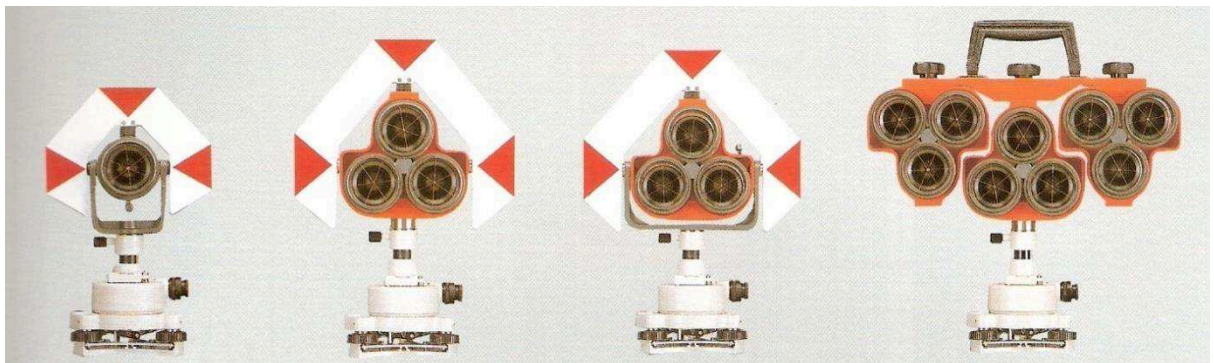
4.10.1. Reflectores pasivos

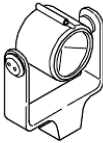
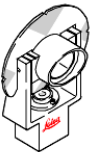
El acto de devolución de la señal puede ser por reflexión pura o por reflexión-refracción. En el primer caso puede hacerse con un simple espejo plano, o por espejo parabólico, o por triedro trirrectángulo formado por tres espejos planos. Pero en la mayoría de los EDM se utilizan reflectores mixtos de refracción-reflexión.

El reflector es un dispositivo inerte donde la naturaleza depende de la potencia energética a la emisión. Si ésta es grande una superficie lisa, un papel adhesivo reflectante, un reflector plástico puede ser suficiente, y con ciertos aparatos y a cortas distancias así se puede trabajar, pero en la mayoría de los casos la energía reflejada es insuficiente, y el reflector utilizado se convierte en un prisma de reflexión total o retrorreflector.

El prisma más utilizado es el resultante de **truncar el vértice de un cubo, y está formado por una pirámide trirrectangular de lados isósceles y base equilátera**. Son de vidrio macizo, y su fundamento se basa en que el rayo luminoso incidente que llega a la base equilátera es devuelto en dirección paralela a la entrada tras una triple reflexión.





Modelo:	GPH1P	GPR121	GPR1+GPH1	Mini GMP101	GRZ122	GMP111
Imagen:						
Material:	Metal	Metal	Plástico	Metal	Metal	Metal
Precisión de centrado:	0,3 mm	1,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Constante del prisma	0	0	0	+17,5 mm	+23,1 mm	+30 mm

Gama de prismas para topografía de Leica Geosystems.

GRZ122 Prisma de 360° con rosca adicional (para el montaje de antenas GNSS).

GRZ101 Miniprisma de 360° para tareas de corto alcance

MPR121 Prisma reforzado de 360° para aplicaciones de control de maquinaria (eje central reforzado)

4.10.2. Características del prisma.¹⁷

Existen dos propiedades principales del prisma que no están sujetas a mediciones de calidad. La primera es el tipo de prisma y su geometría general. Establece la diferencia entre prismas de 360° que reflejan las señales de medición desde todas las direcciones y los que tienen que estar alineados con la línea visual del instrumento, como los prismas circulares. La segunda propiedad es la constante del prisma. La constante del prisma es una propiedad dada de un modelo concreto y define la relación de la medición de distancias con el plano de medición mecánica del prisma (soporte).

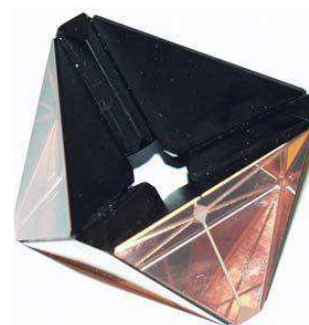
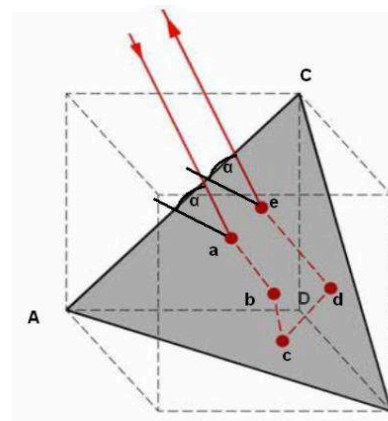
Cada aplicación requiere un modelo distinto de prisma, como el circular de gran precisión, el omnidireccional de 360° o incluso el de señales de puntería de pequeño tamaño, por lo que estos factores son decisivos para la aplicación topográfica.

• Geometría del prisma – Prisma circular

Normalmente la mayoría de las tareas de levantamiento se realizan con prismas circulares. Las mediciones de gran precisión que requieren especificaciones ajustadas, también se suelen efectuar con prismas circulares. La reflexión direccional del prisma circular cubre las necesidades de medición.

• Geometría del prisma – Prismas de 360°

Las estaciones totales robotizadas, cuentan con reconocimiento automático de objetivo y tecnología de bloqueo automatizada. Esta tecnología se usa con un prisma que funcione en todas las direcciones, lo que resulta más cómodo para el operario que lleva el bastón al no tener que alinear constantemente el prisma con el instrumento. En principio el



¹⁷ Leica Geosystems. Prismas topográficos

prisma de 360° tiene la misma función que un prisma circular: reflejar la señal EDM entrante hacia el sistema óptico del receptor EDM. Sin embargo, consiste en seis cuerpos prismáticos triples de vidrio que están ensamblados firmemente, cada uno de los cuales es similar a un prisma circular pero más pequeño. La reflexión permanente de la señal EDM es importante para aprovechar al máximo las ventajas de la robótica, ya que el operario que lleva el bastón puede moverse relativamente rápido centrándose en los puntos que hay que medir sin tener que estar alineando constantemente el prisma y el instrumento.

- **Constantes del prisma**

Cuando se realizan mediciones con prismas, ya sean mediciones de distancias o de ángulos, es necesario establecer referencias entre dos puntos: el eje vertical del instrumento y la señal de puntería. Por lo tanto, es importante tener en cuenta el diseño mecánico del cuerpo del prisma, la carcasa y el espárrago de montaje para garantizar una referencia bien definida del centro del prisma (prisma-eje vertical) con respecto al punto designado (el segundo punto normalmente se representa a través del perno o eje central del instrumento).

Los prismas aún se fabrican principalmente de vidrio y tiene un índice de refracción distinto al del aire, que es el medio por el que normalmente se propagan las señales de medición. La velocidad de propagación de una onda electromagnética desciende al entrar en un objeto de vidrio y, por lo tanto, la distancia medida real aumenta. En el

caso de los rayos de luz perpendiculares al frontal del prisma, la longitud de la distancia óptica se acumula:

$$W = n \cdot d \quad (1)$$

Donde:

d: distancia geométrica desde la superficie frontal del prisma a la esquina del prisma triple

n: índice de refracción del cuerpo de vidrio

W: es la distancia desde la superficie frontal del prisma al punto teórico de inversión S_0

El eje vertical del prisma se encuentra frente al punto teórico de inversión S_0 . Para relacionar las mediciones con el eje vertical (con distancia **e** a la cara frontal) se aplica la constante del prisma K_R . Algunos fabricantes suelen usar la siguiente definición:

$$K_R = e - n \cdot d \quad (2)$$

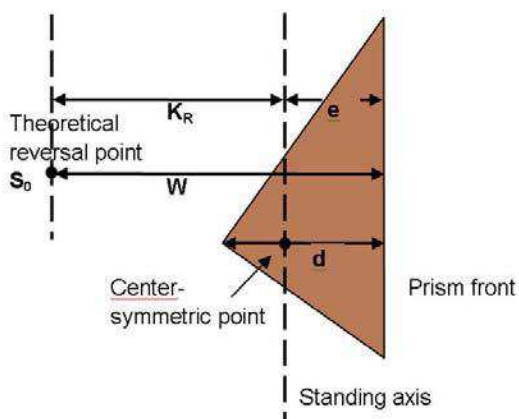
Donde:

K_R: definición de la constante del prisma de otros fabricantes (Leica Geosystems no la usa)

e: distancia desde el punto central simétrico a la cara frontal

A partir de la definición señalada anteriormente, la constante de un prisma estándar de Leica es $K_R = -34,4$ mm. Pero Leica la define como $K_{Leica} = 0$ mm.

Es importante comprender la diferencia entre estas dos definiciones. Los distanciómetros de las estaciones totales de Leica Geosystems tienen en cuenta esta desviación.



- **Ubicación del eje vertical del prisma.**

Las mediciones EDM deben referenciarse con respecto al eje vertical del prisma. Montan los prismas de tal modo que se garantiza una repercusión mínima en la medición de ángulos y distancias en caso de que los prismas no estén alineados perpendicularmente con la línea visual del instrumento. El eje vertical del prisma coincide con el punto central simétrico (o centro virtual del prisma) del vidrio del prisma. En el caso de los prismas estándares (Leica, GPH1P y el GPR121), el eje vertical del prisma se encuentra en la parte delantera del centro geométrico del prisma (la esquina trasera del cubo de vidrio), pero se coloca en el centro aparente del prisma. De este modo se minimiza la distancia entre el centro real y el centro aparente (si la dirección a la que se apunta no es perpendicular a la superficie frontal). Este diseño ha sido seleccionado especialmente para proporcionar una definición independiente del ángulo para el valor K_R de los prismas de Leica. En consecuencia, una alineación errónea del prisma tiene un efecto mínimo en las mediciones angulares y de distancias. En caso de que la luz (onda) no incida en la superficie frontal perpendicularmente sino con el ángulo α , la ruta del rayo se amplía y se produce un error en la medición de distancias Δd ($\cong \Delta AC$). Este efecto puede describirse mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta d = e \cdot (1 - \cos \alpha) - d \cdot \sqrt{(n^2 - \sin^2 \alpha)} \quad (3), \text{ donde:}$$

α ángulo incidente de la línea visual con respecto a la superficie frontal del prisma

Por ejemplo, el resultado de un prisma con dimensiones $e = 40$ mm, $d = 60$ mm y $n = 1,5$ es una constante del prisma de $K_R = -50$ mm. Si a este valor se le añade un ángulo de 30° (desviación del eje de colimación) se obtiene un error de distancia de $\Delta d = 0,1$ mm. Normalmente los errores de distancia derivados de una alineación incorrecta del prisma son insignificantes. No obstante, es muy recomendable efectuar una alineación adecuada (precisa) para lograr el máximo grado de eficiencia en la superficie del prisma que refleja la señal entrante de EDM.

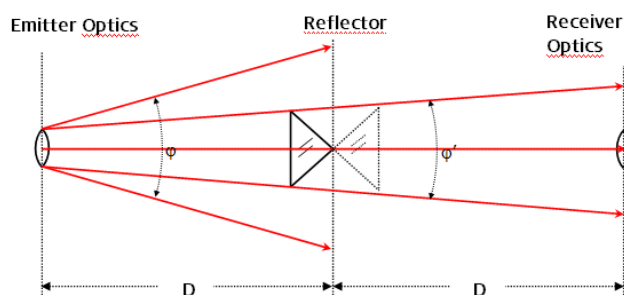
Además, las constantes del prisma dependen de la longitud de onda de la señal EDM debido a la variación de los índices de refracción del vidrio del prisma en función de las distintas longitudes de onda.

Dado que emplea vidrio de alta calidad y un sistema de montaje preciso del prisma, además de determinar con exactitud el índice de refracción n , el fabricante garantiza constantes del prisma muy fiables y variaciones apenas perceptibles para todos los modelos.

- **Desviación del rayo**

El pulido del prisma de vidrio desempeña un papel esencial en la reflexión de señales. Cuanto más preciso sea el pulido (ángulos de las esquinas y superficies), mejor se devolverá la señal en la misma

dirección y mayor será su intensidad. La desviación entre los rayos entrante y saliente tiene una importante influencia en el alcance de la medición. La señal devuelta presenta un ángulo de desviación ϕ . La medición de distancias se basa en la detección de la diferencia de fase (o tiempo de vuelo) entre las señales entrante y

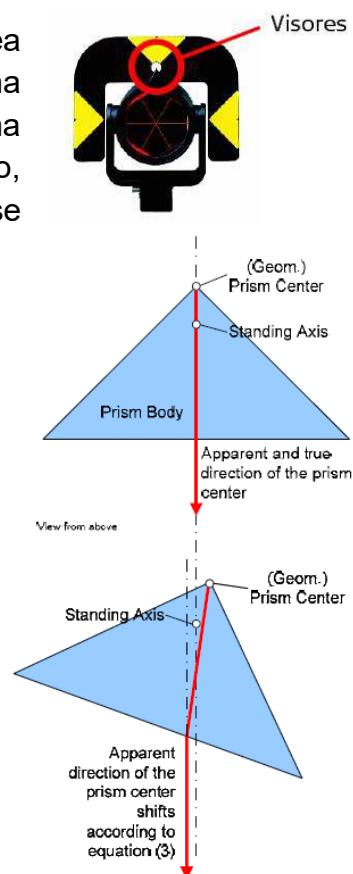


saliente. Normalmente los prismas topográficos presentan una desviación de rayo de unos pocos segundos de arco. Tras su montaje se comprueba si la desviación del rayo entra dentro del umbral de un segundo de arco.

- **Alineación. Configuración**

Los prismas circulares tienen que estar alineados con la línea visual del instrumento con una tolerancia determinada. Una desviación aceptable sería de $\pm 10''$. Si se apunta a un prisma que no está perpendicular con la línea visual del instrumento, no es fácil apuntar al centro real del prisma. Esta dificultad se debe a que el índice de refracción entre el aire y el vidrio es diferente, con lo que aumenta la posibilidad de errores en la medición de direcciones horizontales. No obstante, el fabricante ofrece visores para garantizar una alineación precisa con la línea visual del instrumento. El operario puede hacer la alineación fácilmente en pocos segundos apuntando el prisma al instrumento.

Si el prisma no está alineado con el eje de colimación del instrumento, el eje vertical del bastón del prisma no coincide con el centro aparente del prisma (figura). Por lo tanto, el operario apuntaría al centro aparente del prisma. Esta deficiencia se minimiza gracias al diseño especial de los prismas. Por debajo de los 40° , el error de puntería sería inferior a 0,5 mm, pero con más de 50° , ya es superior a 1 mm. A 60° ya es superior a 2,5 mm. Dado que el cuerpo del prisma es simétrico, el efecto de una alineación vertical errónea es el mismo que el de una alineación horizontal errónea.



4.11. ACCESORIOS EXTERNOS Y COMPLEMENTOS.

4.11.1. Baterías y otras fuentes de energía.

Todas las baterías son de níquel-cadmio o de hidruro metálico. Son fuentes de alimentación muy eficaces y fiables.

Existen baterías para insertar en taquímetros, teodolitos y niveles digitales, y baterías externas para todos los instrumentos.

4.11.2. Cargadores.

Los cargadores garantizan un óptimo estado de carga de las baterías. Estabilizan la corriente de carga también cuando se producen fluctuaciones de tensión y aseguran una larga vida de las misma



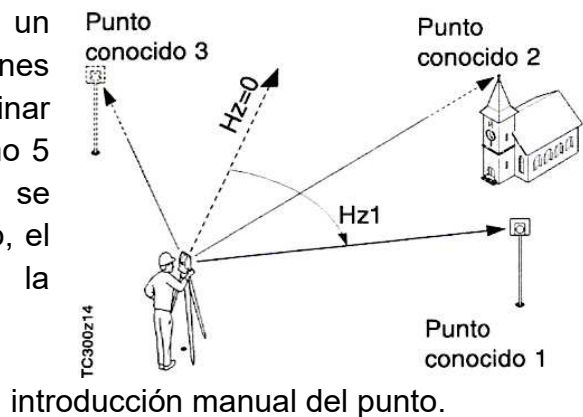
4.12. MICROPROCESADORES DE ESTACIONES TOTALES.¹⁸

El microprocesador lleva un programa para funciones especiales:

1. medición para fijar la orientación y levantamiento
2. medición para arrastre de cotas
3. medición para estación libre
4. medición de altura remota
5. medición topografía
6. medición entre dos o más puntos remotos
7. medición para coordenadas cartesianas
8. medición para replanteo (polar, cartesiano u ortogonal)
9. medición por línea / arco de referencia
10. medición para cuadrícula de referencia
11. medición para plano de referencia
12. medición para puntos ocultos
13. medición para rutinas COGO
14. medición para construcción
15. medición para carreteras
16. medición para control traversePro
17. medición de la distancia de un punto a una recta
18. medición para cálculo de superficie
19. medición para cálculo de volumen

4.12.1. Fijar la orientación y levantamiento

El programa soporta las mediciones de un número ilimitado de puntos. Incluye las funciones para definir el punto de estación. Para determinar la orientación se pueden utilizar como máximo 5 puntos de coordenadas conocidas. Si no se encuentra en la memoria el número de punto, el instrumento abre automáticamente la



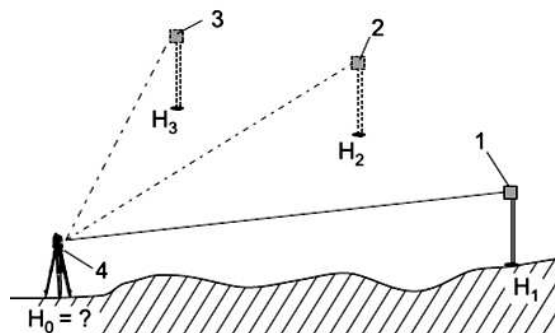
introducción manual del punto.



4.12.2. Arrastre de cotas

Ejemplo:

- 1) Reflector 1
- 2) Reflector 2
- 3) Reflector 3
- 4) Instrumento



¹⁸ Leica Geosystems

Esta función determina la altura del punto de estación del instrumento a partir de mediciones en las dos posiciones a un máximo de 5 puntos de cota conocida. En medición a varios puntos se visualiza el residual " Δ ".

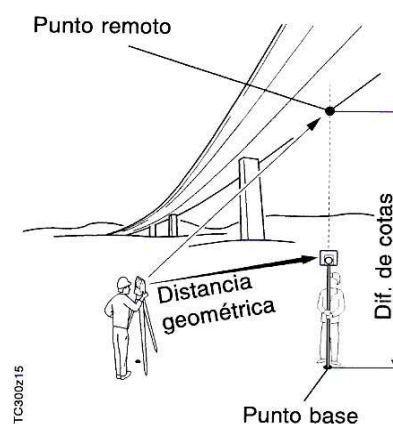
4.12.3. Estación libre

Estaciona el instrumento en cualquier punto estratégico y calcula las coordenadas de la estación, la elevación y la orientación de círculo Hz., midiendo a puntos de coordenadas conocidas. Pueden utilizarse hasta diez puntos de orientación en una o dos caras. Es posible comprobar medidas y recalcular.



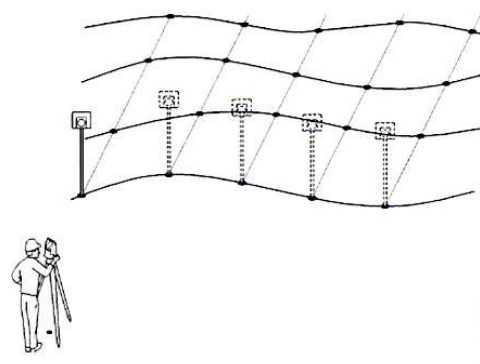
4.12.4. Medición de altura remota

Permite calcular la altura de un punto inaccesible para la colocación del prisma siempre y cuando se pueda situar en la vertical del primero. Aplicación a un gálibo de estructuras, puentes, líneas eléctricas, etc.



4.12.5. Medición Topografía

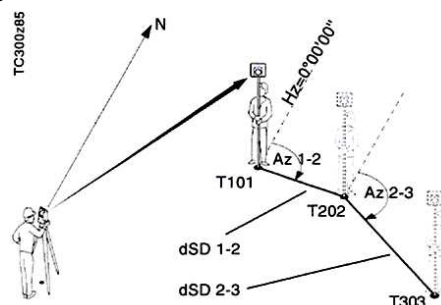
El programa Topografía ayuda a levantar cualquier cantidad de puntos. Es similar al programa de medición sencilla, salvo en que la puesta en estación y orientación, están guiadas y hay una pantalla adicional para las coordenadas de los puntos visados.



4.12.6. Medición entre dos o más puntos remotos

El programa **Distancia de enlace** calcula la distancia geométrica, la distancia horizontal, la diferencia de cotas y el acimut entre los puntos visados. Los puntos se miden **en línea**.

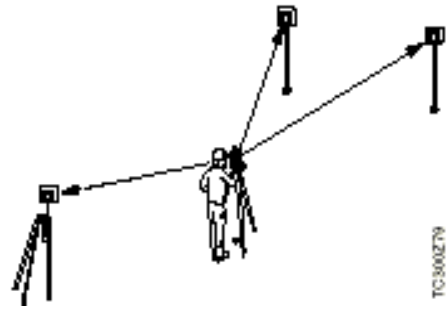
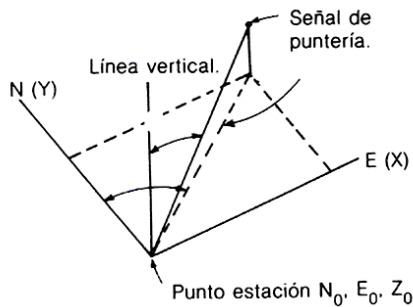
Se determinan las distancias y direcciones entre cada dos puntos y se pueden guardar en la memoria interna.



4.12.7. Medición de coordenadas cartesianas

Se puede colocar un valor de coordenadas (N o X; E o Y) para la estación y toma una dirección de referencia. Se obtendrá las coordenadas cartesianas de los puntos medidos. También se obtiene la coordenada Z. Esta función es de gran interés en

comprobación de puntos y bases en topografía de obras. Los sistemas de coordenadas (pueden ser (YXZ) o sea (ENZ)).

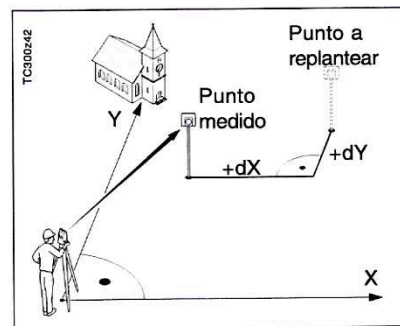
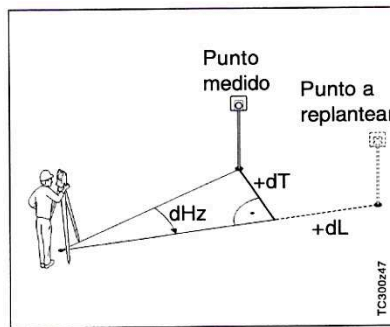
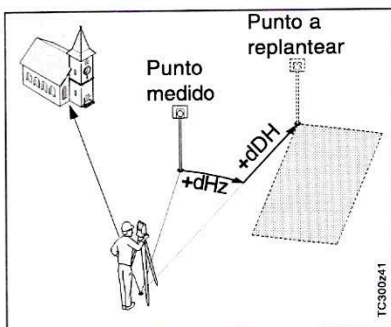


4.12.8. Medición por replanteo

El programa calcula a partir de coordenadas o valores (ángulo, distancia horizontal, cota) introducidos a mano o con PC los valores necesarios para el replanteo **polar**, **cartesiano** u **ortogonal**. Las



diferencias de replanteo se pueden visualizar continuamente, es decir se indican los valores que le falta a la posición del prisma hasta el deseado de replanteo. En el programa Replanteo se dispone de tres máscaras de pantalla diferentes para presentar los valores correspondientes a cada uno de los tres métodos.



Replanteo polar: Presentación habitual de las diferencias de replanteo polar (dHz , dDH y dZ).

dHz : Diferencia angular: positiva, cuando el punto a replantear está a la derecha de la dirección actual.

dDH : Diferencia longitudinal: positiva, cuando el punto a replantear está más lejos.

dZ : Diferencia de cota: positiva, cuando el punto a replantear está más alto.

Replanteo ortogonal. La diferencia de posición entre el punto medido y el punto a replantear se presenta mediante una componente longitudinal y otra transversal.

dL : Diferencia longitudinal positiva, cuando el punto a replantear está más lejos.

dT : Diferencia transversal, perpendicular a la otra componente positiva, cuando el punto a replantear está a la derecha del punto medido.

Replanteo cartesiano. El replanteo está ligado a un sistema de coordenadas y los elementos del replanteo son las respectivas diferencias de coordenadas de los puntos a replantear y medido.

dX: Diferencia de las coordenadas X del punto a replantear y del punto medido.

dY: Diferencia de las coordenadas Y del punto a replantear y del punto medido.

4.12.9. Línea/Arco de referencia

Con este programa es posible efectuar replanteos o controles de alineaciones para edificación, de calles rectas, obras simples de movimientos de tierra, etc.

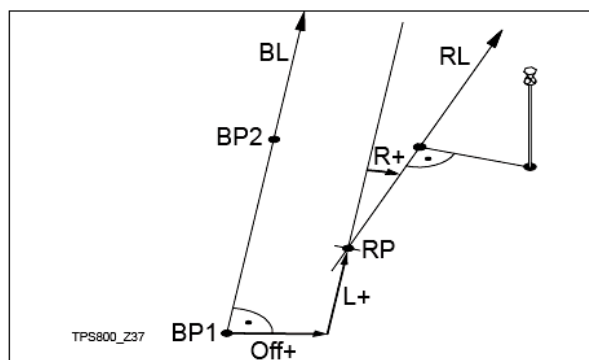
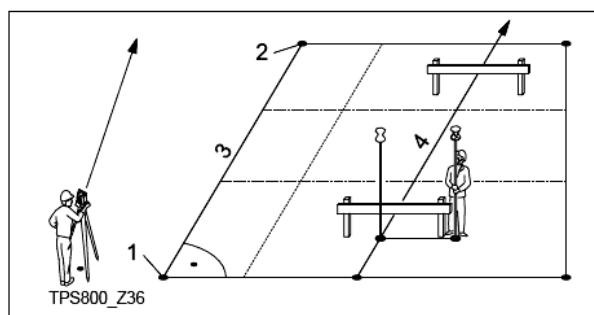
Con relación a una línea base conocida se puede definir una línea de referencia. La línea de



referencia puede desplazarse de forma longitudinal, paralela o vertical respecto a la línea base, o girarse en el primer punto base. Además, la cota de referencia se puede elegir como el primer punto, segundo punto o interpolarse a lo largo de la línea de referencia.

Definición de la línea base: la línea base se fija con dos puntos base que se pueden definir de tres formas: midiéndolo o introduciendo sus coordenadas por teclado o seleccionándolos en la memoria.

Procedimiento análogo para el segundo punto base.



1) Punto base 1. 2) Punto base 2. 3) Línea base. 4) Línea de referencia

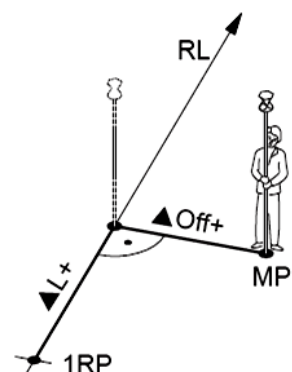
Desplazar/girar la línea base: La línea de base puede desplazarse de forma longitudinal, transversal, vertical y también se puede girar. A la línea resultante la llamamos línea de referencia. Todos los valores medidos están referidos a esta línea.

BP1: Punto base. BL: Línea base. RP: Punto de referencia. RL: Línea de referencia.

ΔOff : Desplazamiento transversal. ΔL : Desplazamiento longitudinal. R: Parámetro de rotación

Sub aplicación "Línea y Desplazamiento": calcula a partir de mediciones o coordenadas los desplazamientos longitudinales y transversales y el desnivel del punto visado respecto a la línea de referencia. 1RP: Punto de referencia 1. MP: Punto medido

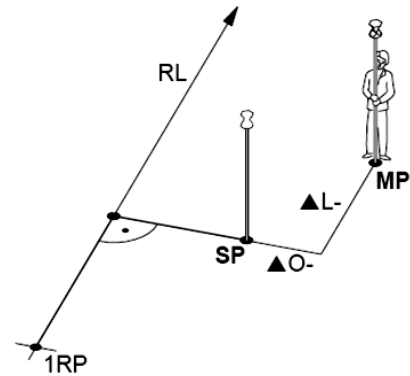
RL: Línea de referencia. ΔL : Desplazamiento longitudinal. ΔOff : Desplazamiento transversal. La función [LínRef] calcula a



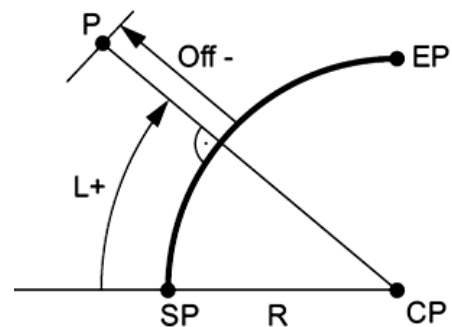
partir de mediciones o coordenadas los desplazamientos longitudinal y transversal y el desnivel del punto visado respecto a la línea de referencia.

Sub aplicación "Replanteo":

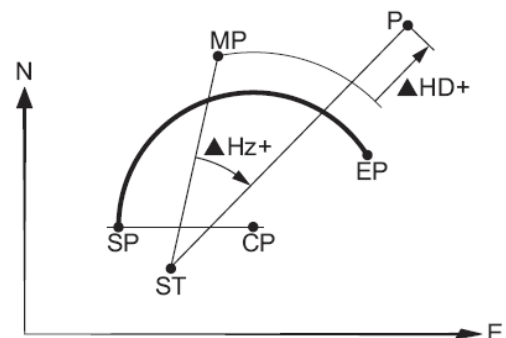
Se puede introducir desplazamientos longitudinal, transversal y en cota, respecto a la línea de referencia, para el punto a replantear. El programa calcula entonces las diferencias entre un punto medido o tomado de la memoria y el punto calculado. 1RP: Punto de referencia. 1MP: Punto medido. SP: Punto a replantar. RL: Línea de referencia. ΔL : Desplazamiento longitudinal. ΔOff : Desplazamiento transversal



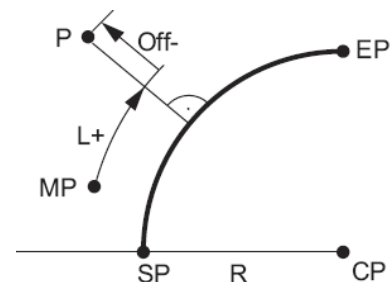
Arco de referencia: Esta aplicación permite definir un arco de referencia y medir o replantear con respecto a dicho arco. SP: Punto inicial del arco. EP: Punto final del arco. CP: Punto central del círculo. P: Punto a replantar. R: Radio del círculo. L: Distancia desde el inicio del arco, siguiendo la curva. Off: Distancia perpendicular desde el arco. Todos los arcos se definen en sentido de las agujas del reloj. Todos los cálculos se realizan en dos dimensiones.



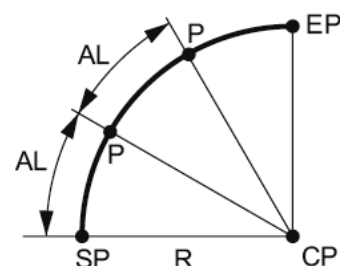
Punto de replanteo: Permite replantear un punto introduciendo una línea y un valor de desplazamiento. SP: Punto inicial del arco. EP: Punto final del arco. CP: Punto central del círculo. P: Punto a replantar. ST: Estación. MP: Punto medido. ΔHz : Diferencia en ángulo horizontal. ΔHD : Diferencia en la medición de distancia.



SP: Punto inicial del arco. EP: Punto final del arco. CP: Punto central del círculo. P: Punto a replantar. MP: Punto medido. R: Radio del círculo. L: Línea. Off: Distancia perpendicular desde el arco



Arco de replanteo: Permite replantear una serie de puntos equidistantes a lo largo del arco. EP: Punto final del arco. CP: Punto central del círculo. P: Punto(s) para replantar. AL: Longitud del arco



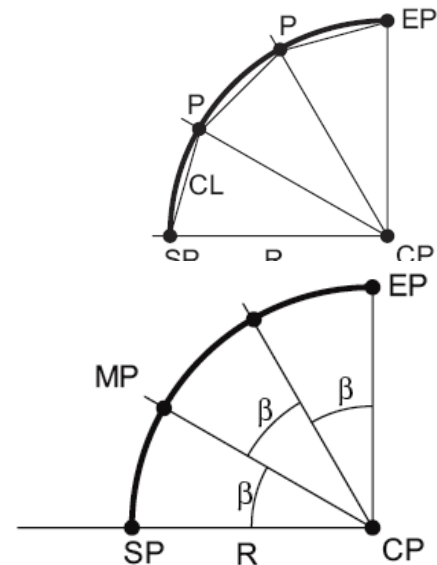
Cuerda de replanteo: Permite replantear una serie de cuerdas equidistantes a lo largo del arco.

CL: Longitud de la cuerda

Angulo de replanteo

Permite replantear una serie de puntos a lo largo del arco definido por el ángulo subtendido en el centro del ángulo.

β ángulo



4.12.10. Cuadrícula de referencia

Para un replanteo sencillo de una cuadrícula respecto a una línea de referencia. Sólo hay que introducir la línea inicial, el incremento en longitud y el desplazamiento transversal.

Segmentación de líneas: Subdivide una línea de referencia y replantea los nuevos puntos.



4.12.11. Plano de referencia.

Se usa para medir puntos en relación a un plano de referencia. Define el plano de referencia (p. ej. techo) midiendo tres puntos en el plano y mide sus puntos de diana. El programa calcula las coordenadas locales y las coordenadas del punto de intersección que también puede replantearse.



4.12.12. Puntos ocultos

Utilizando una mira para puntos ocultos es fácil medir puntos que no sean directamente visibles. La mira se puede colocar en un ángulo cualquiera para hacer la medición y el programa calcula la posición del punto oculto como si se pudiera observar directamente.



4.12.13. Rutinas COGO

La geometría de coordenadas le ofrece una amplia gama de funciones de cálculo. Éstas incluyen polares, radiaciones e intersecciones utilizando combinaciones de azimuth, distancias o líneas, cálculos de desplazamiento y extensiones de líneas. Su

interfaz gráfica hace que la aplicación sea fácil de usar. Las coordenadas computadas pueden replantearse inmediatamente.

COGO es un programa de aplicación para realizar cálculos de geometría de coordenadas tales como:

- coordenadas de puntos
- direcciones entre puntos
- distancias entre puntos

Los métodos para el cálculo de COGO son:

- Polares
- Radiación
- Intersecciones

Polares.

Puntos conocidos: P1 Primer punto conocido. P2 Segundo punto conocido.

Incógnitas: α Dirección de P1 a P2. d1 Distancia geométrica entre P1 y P2. d2 Distancia horizontal entre P1 y P2. d3 Desnivel entre P1 y P2

Radiación.

Puntos conocidos: P1 Punto conocido. α Dirección de P1 a P2. d1 Distancia entre P1 y P2. d2 Desplazamiento positivo hacia la derecha. d3 Desplazamiento negativo hacia la izquierda.

Incógnitas:

P2 Punto COGO sin desplazamiento

P3 Punto COGO con desplazamiento positivo

P4 Punto COGO con desplazamiento negativo

Intersecciones

Rumbo - Rumbo

Puntos conocidos: P1 Primer punto conocido. P2 Segundo punto conocido. α_1 Dirección de P1 a P3. α_2 Dirección de P2 a P3.

Incógnitas:

P3 Punto COGO

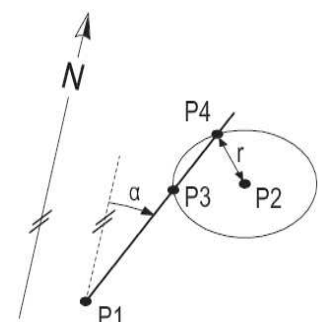
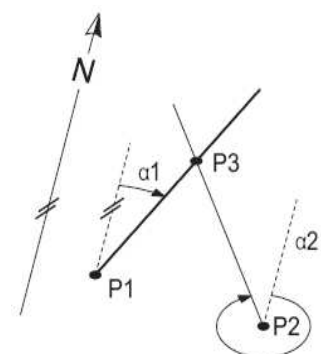
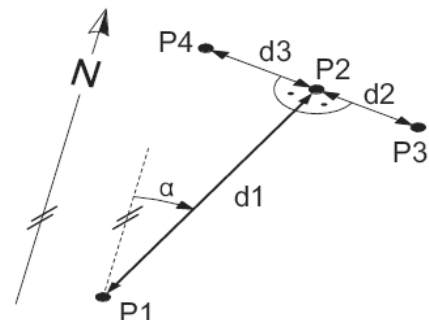
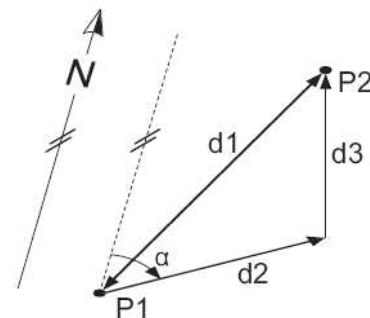
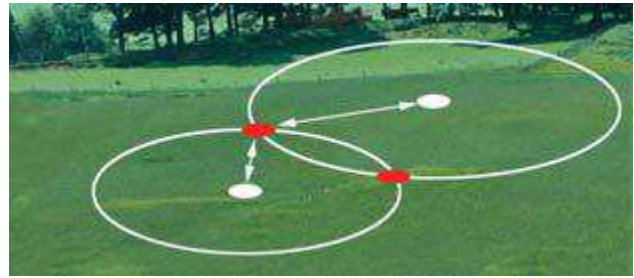
Rumbo - Distancia

Puntos conocidos: P1 Primer punto conocido. P2 Segundo punto conocido. α Dirección de P1 a P3 y P4. r Radio definido por la distancia de P2 a P4 y P3

Incógnitas

P3 Primer punto COGO

P4 Segundo punto COGO



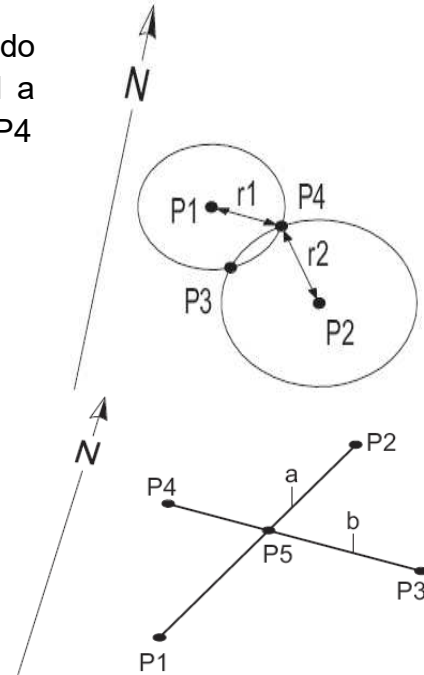
Distancia - Distancia

Puntos conocidos: P1 Primer punto conocido. P2 Segundo punto conocido. r_1 Radio definido por la distancia de P1 a P3 o P4. r_2 Radio definido por la distancia de P2 a P3 o P4

Incógnitas:

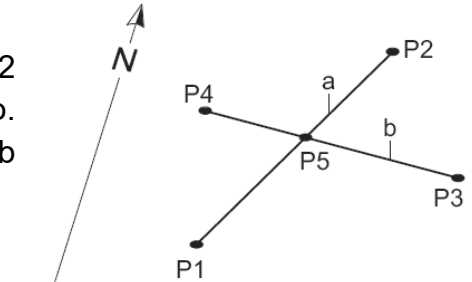
P3 Primer punto COGO

P4 Segundo punto COGO

**Por puntos**

Puntos conocidos: P1 Primer punto conocido. P2 Segundo punto conocido. P3 Tercer punto conocido. P4 Cuarto punto conocido. a Línea de P1 a P2. b Línea de P3 a P4

Incógnitas. P5 Punto COGO

**Desplazamiento****Distancia - Desplazamiento**

Puntos conocidos: P1 Punto inicial de la línea base.

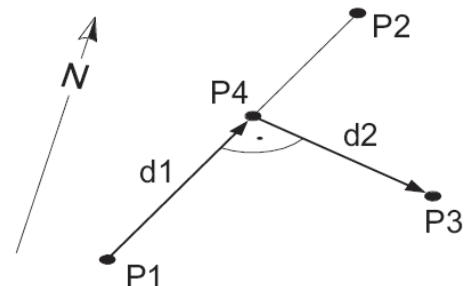
P2 Punto final de la línea base. P3 Punto lateral.

Incógnitas

a Diferencia en longitud/abscisa (HD)

b Desviación lateral/ordenada (Desplazamiento)

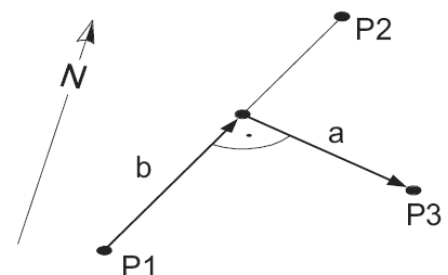
P4 Punto base

**Fijar punto por ...**

Puntos conocidos: P1 Punto inicial de la línea base.

P2 Punto final de la línea base. a diferencia en longitud/abscisa (HD). b Desviación lateral/ordenada (Desplazamiento).

Incógnitas: P3 Punto lateral.

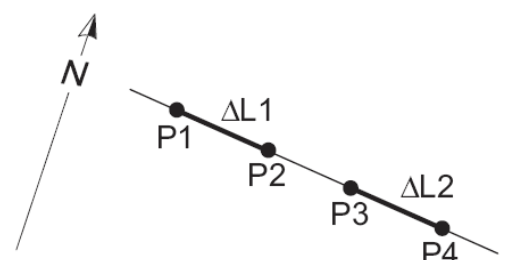
**Extensión**

Calcula un punto extendido a partir de una línea base.

Puntos conocidos: P1 Punto inicial de la línea base. P3 Punto final de la línea base. ΔL_1 o ΔL_2 distancia

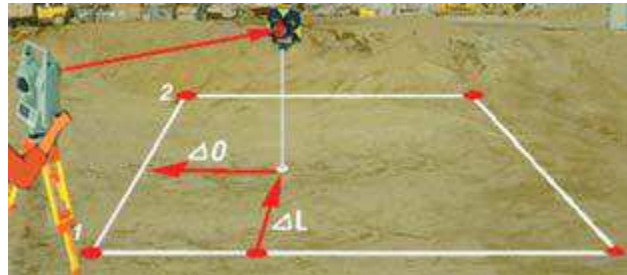
Incógnitas

P2, P4 Punto extendido



4.12.14. Construcción

En el replanteo de una obra los puntos se pueden replantear con relación a una línea de construcción seleccionada. El programa muestra de forma gráfica las posiciones del instrumento, del prisma y del punto replanteado con relación a la línea de construcción.



Esta aplicación permite realizar el plan de construcción en la obra mediante el estacionamiento del instrumento a lo largo de una línea de construcción, y la medición y el replanteo de puntos con relación a esa línea.

Una vez seleccionada la aplicación se tienen dos opciones:

- Definir una nueva obra ó
- Continuar midiendo en la obra anterior (salta puesta en estación)

Si las coordenadas se han introducido manualmente como XYZ y se ha medido a puntos conocidos, el programa efectúa una comprobación de los datos, informando sobre la longitud calculada de la línea, la longitud actual y la diferencia.

Δ Línea es positivo: el punto medido está en la dirección del punto inicial al punto final de la línea.

Δ Despl es positivo: el punto medido está a la derecha de la línea.

Δ Z es positivo: la altura del punto medido es mayor que la del punto inicial de la línea. La altura del punto inicial de la línea siempre se utiliza como altura de referencia.

Replanteo

Aquí se pueden buscar o introducir puntos para replantear con relación a la línea medida. El gráfico muestra la posición del prisma con relación al punto de replanteo. Debajo se visualizan los valores exactos y se indica con flechas la dirección.

Δ Línea es positivo (flecha hacia arriba): el punto visado se encuentra delante del punto medido.

Δ Despl es positivo (flecha hacia derecha.): el punto visado se encuentra a la derecha del punto medido.

Δ Z es positivo (flecha hacia arriba): el punto visado se encuentra más arriba del punto Medido.

Control As-Built:

Este diálogo muestra Δ Línea, Δ Despl y Δ Z de un punto medido con relación a la línea.

CONTROL AS-BUILT	
Pto. :	A11
hp :	1.500 m
Δ Lín:	7.225 m
Δ Des:	10.194 m
Δ $\nearrow$:	-1.673 m

DIST REC TraslLn ←

EXTENDER	
Pto. :	A11
hp :	1.500 m
Δ Lín:	7.218 m
Δ Des:	10.192 m
Δ $\nearrow$:	-1.673 m

ENTRADA LínRef ALL ↓

4.12.15. Carreteras (Roadworks 3D)

Es un programa completo de alineación de carreteras aumentando la flexibilidad para replanteo de alineación y de desniveles en toda la obra.

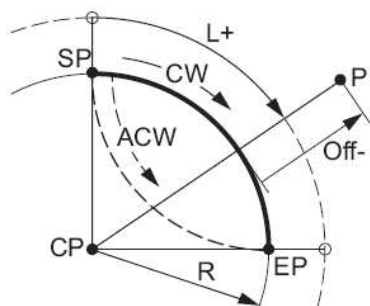
Este programa permite definir una línea, una curva o una espiral (clotoide) como referencia para efectuar mediciones y replanteos. Puede trabajar con P.K. (punto kilométrico o progresiva/km, ej.: 2+315,468) así como replanteos y desplazamientos (derecha/izquierda) incrementales.



Inicialmente se elige, si desea definir una Línea, Curva o Espiral.

a) Línea – se mide o selecciona el punto inicial y final.

b) Curva - se mide o selecciona el punto inicial y el punto final, introduce el valor del radio y la dirección de la curva.



P: Punto a replantear

R: Radio del círculo

L: Distancia desde el inicio del arco, siguiendo la curva

Off: Distancia perpendicular desde el arco

CW: Sentido directo

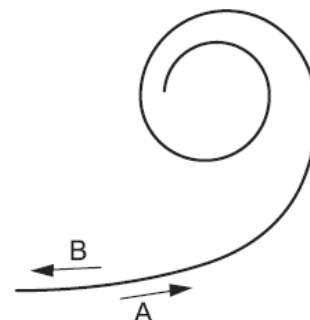
ACW: Sentido inverso

c) Espiral - se mide o selecciona el punto inicial y el punto final, se selecciona los datos para introducir (Radio y Parámetro o Radio y Longitud), el tipo (Spiral In/Spiral Out) y la dirección (clockwise, anti-clockwise).

A: Spiral In.

B: Spiral Out. 3. Introducir el P.K. y la forma de continuar.

Se Introduce el P.K. del punto inicial. (por ejemplo, 100.000)



Sección "Línea y Desplazamiento"

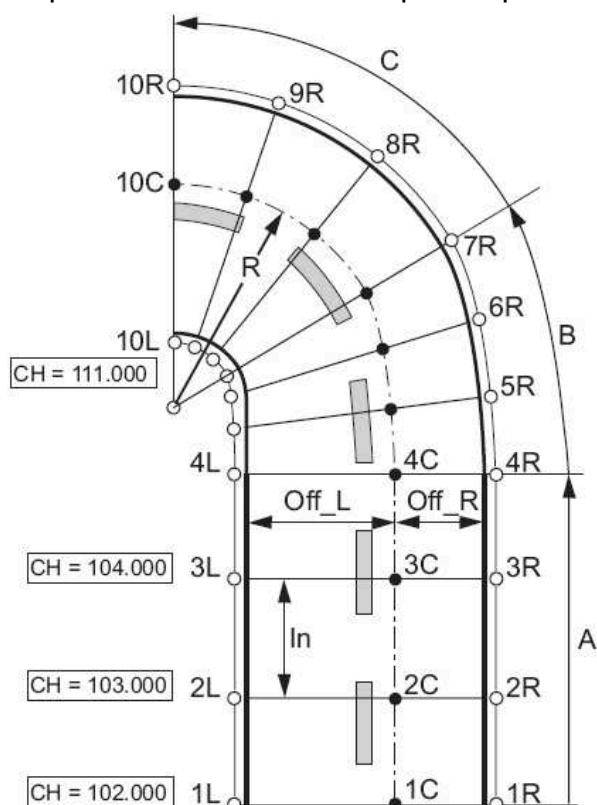
Permite medir o seleccionar puntos de la memoria y visualizar la línea y el desplazamiento con respecto al objeto definido.

Sección "Replanteo". Procedimiento:

1. Definir el punto(s) de replanteo, Introducir el P.K., la línea y el desplazamiento del punto de replanteo. De forma opcional es posible introducir una coordenada Z y un incremento.

2. Replantear el punto(s)

Es posible seleccionar el punto para replantear y el desplazamiento (al centro, izquierda, derecha) y comenzar la medición. La corrección del punto teórico hacia el punto a replantear se visualiza en la pantalla.



A: Línea

B: Clotoide (espiral)

C: Curva

1L ... 10L Punto a la izquierda del camino

1C ... 10C Punto central del camino

1R ... 10R Punto a la derecha del camino

CH: P.K. (punto kilométrico, progresiva)

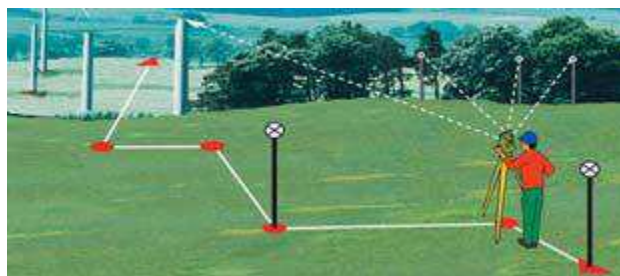
Off_L: Desplazamiento a la izquierda

Off_R: Desplazamiento a la derecha

R: Radio de la curva (y clotoide)

4.12.16. TraversePRO

Proporciona una solución completa para establecer redes de control utilizadas en combinación con otras operaciones de levantamiento como estudios topográficos y replanteos de puntos, líneas o carreteras. Se observa las tomas laterales siempre que quiera y controle la poligonal midiendo a puntos de comprobación. Al final de la poligonal, se visualizan los resultados y puede calcularse un ajuste inmediatamente en el campo.



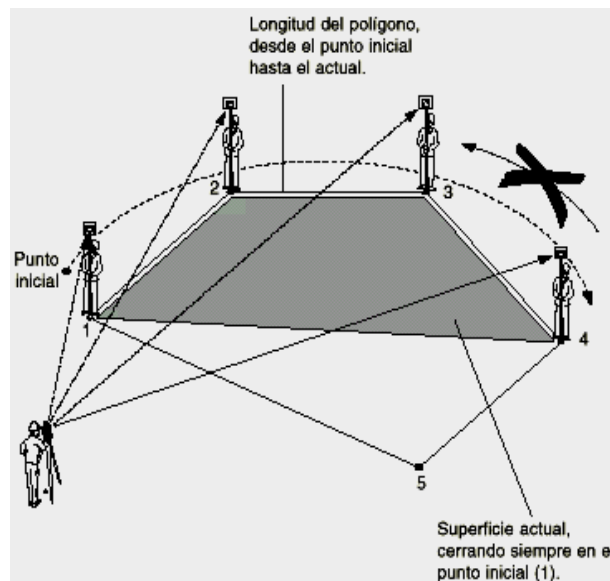
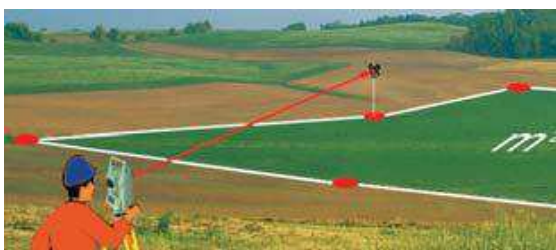
4.12.17. Medición de la distancia de un punto a una recta e intersección del punto a la recta

Permite determinar distancias de un punto respecto a una recta de referencia, así como ángulos y distancias respecto a los puntos enfilados. El proceso es el siguiente: se elige una recta de referencia definida por los AB, tomando como origen de coordenadas el punto A y eje de las X la recta, y visando a B se calculan las coordenadas planimétricas de la estación según este sistema establecido. A continuación se puede determinar las coordenadas de todos los puntos visados, respecto a este sistema.

4.12.18. Cálculo de superficies

Se puede calcular on-line la superficie de un polígono de cualquier número de lados, a partir de las mediciones a los puntos que determinan los vértices (por ejemplo 1....5). A partir del 3º punto medido se calcula y visualiza la superficie

Se puede ver el número de puntos utilizados, la superficie calculada y el perímetro del polígono (p.ej. línea 1-2-3-4-1)



4.12.19. Cálculo de Volumen

Este programa calcula el volumen y el perímetro de superficies horizontales e inclinadas. Los puntos, utilizados pueden ser medidos, introducidos a mano o seleccionados en la memoria del instrumento. Para definir el plano inclinado de referencia mediante la selección o introducción de tres puntos.

Para calcular un volumen con una altura constante. La altura habrá de ser introducida o medida.

P0: Estación.

P1 Punto visado que define el plano inclinado de referencia.

P2 Punto visado que define el plano inclinado de referencia.

P3 Punto visado que define el plano inclinado de referencia.

P4 Punto visado.

a Altura constante.

b Perímetro (3D), longitud de la poligonal desde el punto inicial al punto del área (3D) actualmente medido.

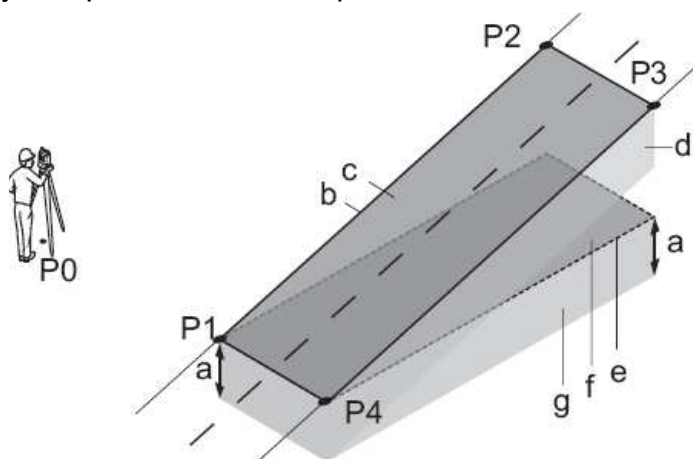
c Área (3D), proyectada sobre el plano inclinado de referencia.

d Volumen (3D) = $a \times c$.

e Perímetro (2D), longitud de la poligonal desde el punto inicial al punto del área (2D) actualmente medido.

f Área (2D), proyectada sobre el plano horizontal.

g Volumen (2D) = $f \times a$

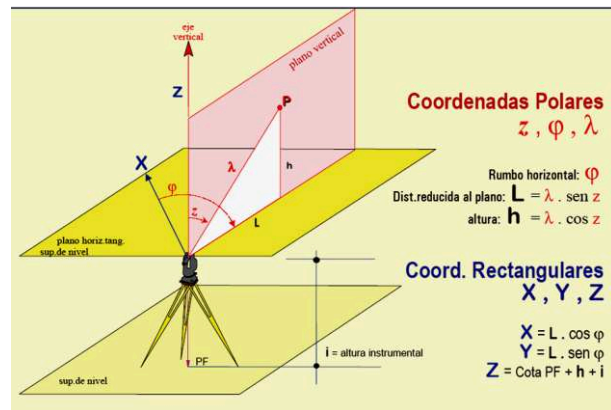


5. TAQUIMETRÍA ELECTRÓNICA

5.1. Fundamentos y errores

Es la denominación que recibe la técnica más utilizada en la actualidad para posicionar puntos en tres dimensiones con instrumental electrónico en espacios amplios. Sus principios y objetivos son similares a los de la taquimetría clásica aunque con diferencias notorias en cuanto a posibilidades de aplicación, simpleza, rapidez, precisión y seguridad. Por otra parte, las estaciones totales (E.T.) modernas son el instrumento que mejor se ajusta esta labor, aunque también pueden utilizarse los modelos más viejos o bien el conjunto teodolito-distanciómetro electrónicos, cuyas prestaciones varían de acuerdo a sus características.

La planialtimetría, es la manera más práctica para la ubicación de un punto, esto es posicionarlo en 3D, con las coordenadas x, y, z , de un sistema definido por tres ejes ortogonales X, Y, Z . Esas coordenadas corresponden a los puntos topográficos relevados P , constituyendo las conocidas planialtimetrías, información esencial que proveen los relevamientos topográficos, tarea para fijación de límites, distintas etapas de proyecto y control en toda obra constructiva. Dichas coordenadas se determinan con una E.T. en base al relevamiento por el método de las coordenadas polares, con el que se obtienen las siguientes medidas,



Distancia inclinada d' , es el radio-vector del método.

Angulo vertical α o z

Angulo horizontal.

Estas medidas se pueden observar en la pantalla de la E.T. y/o anotarse manualmente en una libreta, pero es común operar con programas que proporcionan los datos definitivos directamente:

- **Distancia horizontal D .**

Resulta de la proyección sobre esa dirección de la distancia inclinada d' , mediante el ángulo vertical α o z .

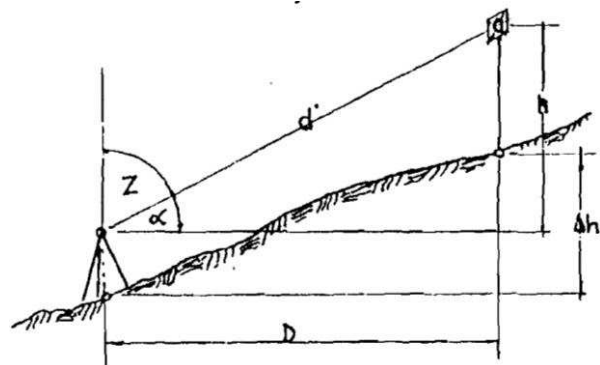
$$D = d' \cos z \quad \text{o} \quad D = d' \sin \alpha$$

- **Distancia vertical h .**

Es el desnivel entre el centro del instrumento y el punto de señal observado, que se obtiene mediante nivelación trigonométrica, y consiste en la proyección de d' sobre la vertical mediante el ángulo vertical α o z .

$$h = d' \sin z \quad \text{o} \quad h = d' \cos \alpha$$

- **Angulo horizontal.**



Este es un dato directo, por lo que se lo utiliza tal como lo indica la E.T. Esta información aparece en la pantalla de la E.T. usando el respectivo "menú", posibilidad que puede mejorarse obteniendo las coordenadas x,y,z del punto relevado aplicando el "programa" respectivo.

5.2. Errores en el posicionamiento de puntos y precisión para TAQUIMETRÍA ELECTRÓNICA

El método de relevamiento aplicado es el de coordenadas polares y en el mismo se cometen errores. Los errores planimétricos (x e y), por efectos de errores en el ángulo horizontal Δz y en la distancia d' , Δd , se generaba la elipse de error (ver fig), cuyo análisis numérico es de orden geodésico y vista en Teoría de Errores y Compensaciones. Un planteo similar sucede en la altimetría donde los errores de Z y d' se propagan en h (Δh). La precisión en el posicionamiento planialtimétrico de puntos topográficos se manifiesta en las coordenadas x, y, z y depende de los errores cometidos en los datos básicos del relevamiento, ángulo horizontal, ángulo vertical (z) y la distancia inclinada (d'),

Los errores ya fueron analizados y se vuelven a considerar en forma resumida por su importancia, vigencia y las variantes producto de la altimetría, destacando las previsiones prácticas para mejorar la precisión de los datos. Previamente se indican algunos factores y defectos de orden general y operativo que también inciden en la precisión.

- **Definición de los puntos.**

Es un problema general originado por las características del hecho físico que materializa el punto a relevar o replantear y el operador elige al mismo en función de su representatividad, afectando tanto las medidas lineales como angulares.

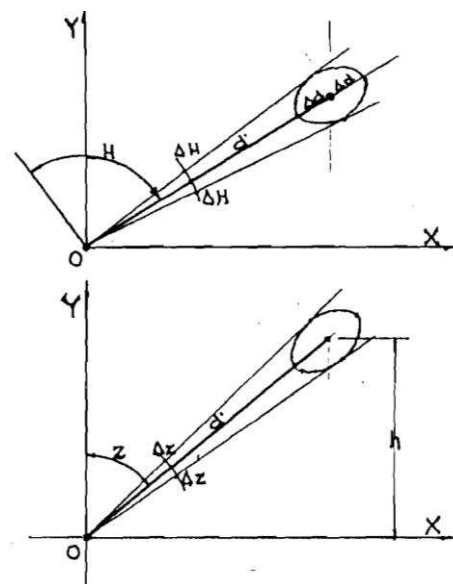
- **Visación.**

Es un error operativo que afecta las medidas angulares y donde interviene operador, instrumento y condiciones. El primero particularmente por su vista y capacidad de interpretación; el instrumento tiene una incidencia relevante en relación con su calidad, particularmente la del anteojo, en cuanto a las condiciones es de suma importancia la influencia de la luminosidad, así como el viento y temperatura.

- **Error de lectura.**

Es un problema operativo que incide en los ángulos, cuyo origen es básicamente instrumental en los electrónicos, ya que en este tipo de instrumentos prácticamente no hay participación personal y no es relevante la incidencia de las condiciones climáticas, El origen es producido por defectos en divisiones y el codificado del círculo respectivo, así como en la captación de los movimientos relativos por medio de un sensor y la interpolación que realiza el microprocesador,

- **Error de notación.**



El registro manual de datos o resultados es común que origine equivocaciones, posibilidad siempre latente, aunque en el instrumental electrónico se puede evitar ingresando los datos en la memoria y operando con programas específicos, sin que haya necesidad de anotarlo manualmente.

- **Error del ángulo horizontal.**

Es un dato fundamental en el posicionamiento pues marca la dirección planimétrica en que se ubica el punto relevado o replanteado, no obstante no es el más preocupante en cuanto al error, pues el mismo queda circunscripto al mismo dato, no se propaga a otros cálculos y en su obtención es donde más precauciones y cuidados se toman. Dejando de lado errores operativos como centrado y bisección o equivocaciones en las lecturas y notación, recordemos que los principales errores que afectan esta medida y las formas de solucionarlos son:

Error de verticalización. Es producto de la falta de verticalidad de eje de rotación de la alidada y normalmente es el más importante por su presencia permanente y variable y que afecta los ángulos horizontales y verticales. Se lo corrige y controla permanentemente con el nivel de alidada o el nivel electrónico, o bien se puede compensar su influencia en las lecturas en forma manual o automáticamente.

Error de colimación. Tiene origen en la falta de perpendicularidad del eje de colimación respecto al secundario. Sus efectos se pueden reducir recurriendo, de ser posible, a visuales horizontales o sino tomando lecturas conjugadas, C.I. y C. D.; también existe la posibilidad de corregir automáticamente su influencia en algunos instrumentos electrónicos.

Error de inclinación. Lo genera el eje secundario cuando no está perpendicular al de rotación de la alidada, lo que en la práctica se manifiesta por la falta de horizontalización del eje secundario, problema que también lo produce la inclinación de todo el instrumento. Su influencia es corregida automáticamente en algunos teodolitos y E. T. o sino se la compensa utilizando pares de lecturas con C.I. y C. D. Recordemos que sus efectos se anulan cuando eventualmente se opera con visuales horizontales.

Error de excentricidad de la alidada. Proviene de la falta de coincidencia entre el eje de rotación de la alidada y el centro del círculo graduado. Sus efectos se compensan calculando el ángulo en base a pares de lecturas C.I. y C. D .

Excentricidad del eje de colimación. Es producido por la incorrecta posición del eje de colimación que no se intersecta en un punto común a los ejes secundario y de rotación de la alidada en los teodolitos céntricos. Como el error anterior, se compensa su influencia determinando el ángulo con pares de lecturas C.I y C.D.

Error de índice. No merece mucha atención pues el instrumental moderno dispone de una sola visión del círculo y si es doble la "promedia" automáticamente. En todo caso al operar restando lecturas se compensa su influencia.

Error de graduación. La única posibilidad es aumentar la probabilidad de reducir sus efectos reiterando la medición del ángulo en distintos sectores del círculo.

Salvo el error de graduación, las previsiones citadas forman parte de la metodología regular en la determinación de los ángulos horizontales, así como del procedimiento en general, con instrumentos electrónicos modernos. En cuanto al operador y condiciones,

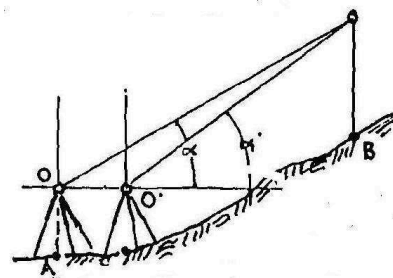
hay que tomar las precauciones del caso, particularmente en los errores operativos de visación y lectura. Por otra parte si se desea aumentar la precisión en la determinación hay que trabajar con más cuidado, reiterar la medición y en mejores condiciones y si con ella no alcanza habrá que utilizar un instrumento más preciso.

- **Error del ángulo vertical.**

Adquiere mayor relevancia por formar parte, conjuntamente con la distancia inclinada, del cálculo de los datos de la distancia horizontal y el desnivel. A continuación se hace una síntesis de los errores que pueden afectar al ángulo y las maneras de solucionar el problema.

- **Error de posición del instrumento.**

Lo produce deficiencias en el centrado y verticalización. El centrado influye debido a que en lugar de ubicar el centro del instrumento O en la vertical del punto estación A , se lo coloca por ejemplo en O' , produciendo un error: $e = \alpha' - \alpha$



Se observa que esa influencia no es importante pues el descentrado regularmente es pequeño, del orden milimétrico y además puede ubicarse de manera que no incide directamente. Por otra parte, como el descentrado origina simultáneamente un error en la distancia medida, se produce una compensación de sus efectos sobre h .

Error de cenit. Sus efectos tienen una compensación "suficiente" operando con pares de lecturas con C.I y CD., lo que se puede extender a la incidencia de otros errores menores que no presentan una individualidad que permita su consideración por separado. Esto ocurre por ejemplo con los errores axiales, la excentricidad y falta de perpendicularidad del círculo respecto al eje secundario, y la posición incorrecta de este conjunto. Para mejorar la prestación, además de tomar pares de lecturas, conviene corregir mecánicamente el error.

Efectos de la refracción. Este efecto en general no es tenido en cuenta en las mediciones topográficas, salvo operaciones especiales relacionadas con la geodesia.

Se reitera que el error del ángulo vertical regularmente es el motivo principal de error en las proyecciones sobre el horizonte D y la vertical h , principalmente en esta última como se analizó en el temaNivelación trigonométrica, problema que se magnifica en relación con el aumento del ángulo respecto al horizonte para un mismo valor del error. Los errores provienen básicamente de la precisión del instrumento y remanentes sin compensar de las citadas influencias de la desverticalización y el error de cenit y otros defectos menores de poca importancia, incluyendo la incidencia de otros errores axiales. A estas causas hay que agregarle la refracción terrestre que, alcanza valores significativos y no tiene formas simples de corrección y/o compensación, para lo cual hay que recurrir a operaciones complejas de orden geodésico.

6. MODELOS Y TIPOS DE ESTACIONES TOTALES ELEMENTALES.

6.1. LEICA. TIPO TPS300 Basic Series. Taquimetro electrónico a rayo infrarrojo y Láser 1/I y 2/II (distanciómetro estación total electrónico), marca Leica, modelo TCR-303/5/7 Ultra, con una precisión de $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm/km}$ y apreciación de $3''$ (1 mgon);

aumento 30x, alcance mayor de 5000 mts. C/programas de medición residentes y registrador de hasta 10000 puntos c/memoria interna.

Anteojo

- Totalmente basculable
- Aumentos: 30x
- Imagen: derecha
- Diámetro libre del objetivo: 40 mm
- Distancia mínima de enfoque: 1.7 m (5.6 ft)
- Enfoque: fino
- Campo visual: 1°36' (1.6gon)
- Campo visual a 100m: 2.6m

Medida de ángulo:

- absoluta, continua
- Tiempo de repetición 0.3 segundos
- Unidades elegibles 360° (sexag.), 400gon, 360° decimal, 6400 mil, V%, ±V
- Desviación típica (según DIN 18723 / ISO 12857)
 - TC(R)303 3" (1 mgon)
 - TC(R)305 5" (1.5 mgon)
 - TC(R)307 7" (2 mgon)
- Resolución de pantalla
 - gon 0.0005
 - 360d 0.0005
 - 360s 1"
 - mil 0.01

Sensibilidad de los niveles

- Nivel esférico: 6"/2 mm
- Nivel electrónico: 20"/2mm

Plomada láser:

- en alidada, giro con instrumento
- precisión: diámetro de rotación máx. del punto láser: ± 0.8 mm/ 1.5m
- diámetro del punto láser: 2,5mm/ 1,5m

Compensador:

- Compensador de dos ejes
- Amplitud de oscilación libre ±4' (0.07 gon)
- Precisión de estabilización
 - Tipo 5" (TC(R)307) 2" (0.7 mgon)
 - Tipo 3" (TC(R)305) 1.5" (0.5 mgon)
 - Tipo 2" (TC(R)303) 1" (0.3 mgon)

**Medida de distancias (con reflector)**

- Rango de medición 0 m hasta > 5000 m

Condiciones atmosféricas	Alcance (Long Range)	
	Prisma estándar	3 prismas (GPH3)
1	1500 m (5000 ft)	2000 m (7000 ft)
2	5000 m (16000 ft)	7000 m (23000 ft)
3	> 5000 m (16000 ft)	> 7000 m (23000 ft)

- 1) muy brumoso, visibilidad 3km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- 2) poco brumoso; o parcialmente soleado y poco centelleo del aire
- 3) cubierto, sin bruma, visibilidad 30km, sin centelleo del aire

Correcciones automáticas

- Error de colimación
- Error de índice vertical
- Curvatura terrestre
- Refracción
- Corrección de inclinaciones

sí
sí
sí
sí
sí

Grabación

- Interfaz RS232
- Memoria interna (Flashmemory)
- Capacidad total 320 KB
- 4000 bloques de datos

sí

sí

sí

sí

Medida de distancias (IR: infrarrojo)

- Tipo infrarrojo
- Longitud de la onda portadora 0.780 µm
- Disposición del EDM coaxial
- Unidad mínima en pantalla 1 mm

Programas de medición	Precisión	Tiempo de medición
Corto	2 mm + 2 ppm	<1 seg.
Largo	5 mm + 2 ppm	<0.5 seg.
Seguimiento	5 mm + 2 ppm	<0.3 seg.
Diana	5 mm + 2 ppm	<0.5 seg.

	Alcance (Medición normal y rápida)			
	Prisma estándar	Reflector 360°	Diana reflectante 60x60	Miniprisma
1	1800 m (6000 ft)	800 m (2600 ft)	150 m (500 ft)	800 m (2600 ft)
2	3000 m (10000 ft)	1500 m (5000 ft)	300 m (950 ft)	1000 m (3300 ft)
3	3500 m (12000 ft)	2000 m (7000 ft)	300 m (950 ft)	2000 m (7000 ft)

- 1) muy brumoso, visibilidad 3km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor
- 2) poco brumoso; o parcialmente soleado y poco centelleo del aire
- 3) cubierto, sin bruma, visibilidad 30km, sin centelleo del aire

6.2. PENTAX PCS-300

Dispar gráfico de gran tamaño, 8 líneas x 20 caracteres. Memoria interna de 5000 puntos. 12 programas de cálculo



6.3. NIKON – DTM –A5/A10/A20

Aumentos: 30x

Medida de ángulo: absoluta, continua

Unidades elegibles 360° (sexag.), 400gon, 360° decimal, 6400 mil, V%, $\pm V$. Desviación típica

DTM-A5 5" (1 mgon)

DTM-A10 10" (2 mgon)

DTM-A20 20" (5 mgon)

Sensibilidad de los niveles

Nivel esférico: 10"/2 mm

Nivel principal: 30"/2mm

Medida de distancias (IR: infrarrojo)

DTM-A5	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	1600 m	2300 m	3000 m
2)	1200 m	1800 m	2500 m
DTM-A10	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	1600 m	2300 m	3000 m
2)	1200 m	1800 m	2500 m
DTM-A20	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	1300 m	2100 m	2800 m
2)	1000 m	1600 m	2200 m

(1) muy brumoso, visibilidad 20km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor

(2) cubierto, sin bruma, visibilidad 40km, sin centelleo del aire

Exatitud $\pm(3\text{mm} + 3\text{ppm})$



6.4. TOPCON GTS-300



Anteojo Aumentos: 30x

Medida de ángulo:

absoluta, continua

Tiempo de repetición 0.3 segundos

Unidades elegibles

360° (sexag.), 400gon,

360° decimal, 6400 mil, V%, ±V

Desviación típica

GTS-301 2" (0,6 mgon)

GTS-302 3" (1 mgon)

GTS-303 5" (1,5 mgon)

Sensibilidad de los niveles

Nivel esférico: 10"/2 mm

Nivel principal: 30"/2mm

Medida de distancias (IR: infrarrojo)

Tipo infrarrojo

Unidad mínima en pantalla 1 mm

GTS –301	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	2400 m	3100 m	3700 m
2)	2700 m	3600 m	4400 m
GTS –302	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	2200 m	2900 m	3600 m
2)	2500 m	3300 m	4200 m
GTS –303	1 Prisma	3 Prismas	9 Prismas
1)	1200 m	2000 m	2600 m
2)	1400 m	2200 m	2800 m

(1) muy brumoso, visibilidad 20km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor

(2) cubierto, sin bruma, visibilidad 40km, sin centelleo del aire

Exatitud ±(2mm + 2ppm)



6.5. LEICA. TPS800 Performance. Series

MARCA		Leica
MODELO		TPS800 Performance Series
Medición de ángulos (Hz, V)	Método	absoluto, continuo
	Resolución de pantalla	1''
	Desviación típica	2''
Anteojo	Aumento	30X
	Distancia mínima de enfoque	1,7 m
	Campo visual	1° 30'
	Reticulo	Iluminado
Compensador	Sistema	Doble eje
Medida infrarroja de la distancia (IR)	Tipo (infrarrojo, laser; Dif de Fase, Tiempo de Vuelo)	Infrarrojo, diferencia de fase
	Alcance de medición con 3 prismas circulares	-----
	Alcance de medición con un prisma circular	3500m
	Medición con dianas reflectantes	250m
	Desviación típica	2 mm + 2 ppm
	Resolución de pantalla	1mm
	Tiempo para una medición (medición simple/continua)	0,3 seg
	Tipo de prisma (cubico/recto; centrado/excentrico)	Cubico/concentrico
Plomada	Tipo	Punto láser,
	Precisión	1.5 mm
Condiciones ambientales	Intervalo de temperaturas	-20° C a +50°
	Resistencia a salpicaduras y polvo	IP54
Alimentacion	Bateria	NiMH
	Tipo (fija/removable)	Removibles
	Tiempo de carga	2 hs
	consumo	6 hs
Nivelacion de la Alidada	Automatica	Si
	Alerta de fuera de rango	Si
Garantia	Meses	12
Fecha de data	Mes - Año	oct-04

7. ESTACIONES TOTALES ROBÓTICAS.

7.1. Tecnología de Seguimiento y rastreo automático.

Con la **autocolimación** directa busca la adquisición rápida de prisma (incluso en condiciones de poca luz u oscuridad.)

Esto se puede hacer con la E.T. por control remoto -usando los controles de la controladora o tablet-, que permiten controlar el instrumento en tiempo real hasta 300 m de distancia. Con un servo motor aumenta la potencia de seguimiento del prisma, empleando un sistema óptico y láser, proporciona así una habilidad para mantener el seguimiento de un prisma en movimiento, incluso en las más duras condiciones ambientales.

- **Puntería Automática (ATR)**

Alcance Prisma Circular: 1000 m / 800 m

Prisma 360°: 800 m / 600 m

En la construcción, cuenta con capacidades avanzadas, replanteo y análisis de malla a través de su software integrado. Sólo tiene que añadir un colector de datos y se convierte en una solución de medición de una sola persona.



- | | | | |
|--|---|---|---|
| 1 Sistema de asa RC-3 de rápida adquisición y comunicación por infrarrojos | 5 Fácil acceso a la tarjeta de memoria | 10 Pantallas iluminadas a color en Windows CE® | 14 Soporte W-LAN (como opción) |
| 2 Distanciómetro de amplio rango N.P. ¡2.000 metros! | 6 Tecnología Servo Motor ultra rápida | 11 Tecnología Bluetooth wireless Integrada | 15 Se suministra con una batería similar a las utilizadas en cámaras de video |
| 3 Radio de 2.4 GHz incorporada | 7 Interface USB: Tipo miniB y Tipo A | 12 Opcional adaptador RS-1 de la Radio de 2.4 GHz | 16 Diseño Pequeño y redondo para incorporarlo sobre el prisma |
| 4 Revolucionaria tecnología de búsqueda de prisma X-TRAC. ¡11.000 metros! | 8 Capacidad de Comunicación por Infrarrojos | 13 Procesador de 520 MHz XScale | |
| | 9 Soporte multi-canal | | |

7.2. Cámaras digitales

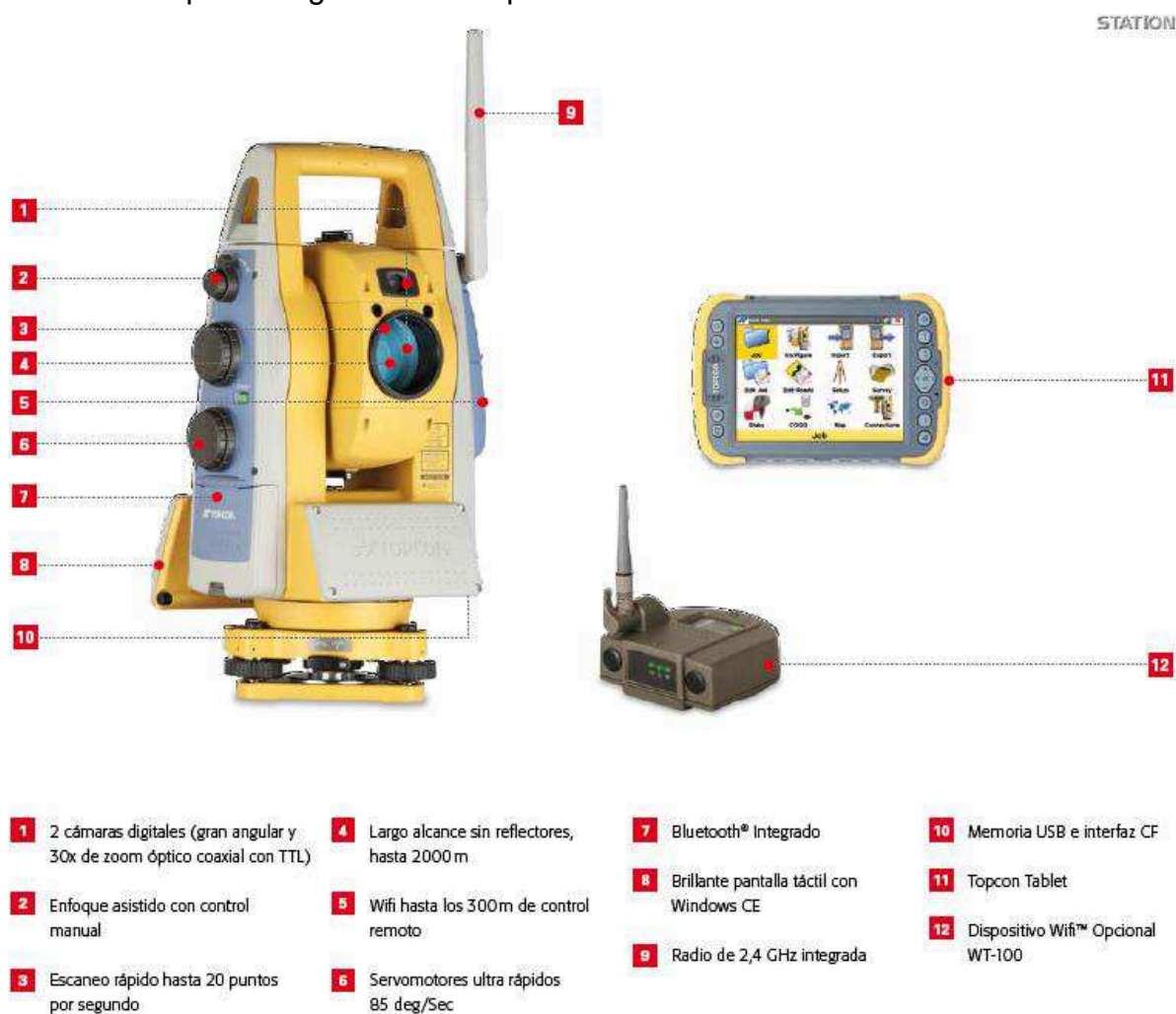
Las E.T. combinan la tecnología robótica con cámaras duales, de imágenes digitales, para proporcionar un color completo e imágenes en tiempo real a través de una pantalla LCD táctil. Imagen de doble cámara y con una capacidad de **escaneo** más rápida (20 pts./seg) y **doble cámara digital**.

Visualizan los datos en tiempo real a través de una pantalla LCD táctil y usan las opciones para una recogida de datos exhaustiva.

Gracias a la imagen digital, puede asegurarse de que el punto que se selecciona y mida en la pantalla, es el punto que necesita.

Navegan en un área con la cámara gran angular y zoom para detallar características, ya que pueden medir hasta 2000 m de distancia.

Función WiFi para imágenes en tiempo real hasta 300 m del instrumento



• Imagen Cámara Gran Angular

Algunas E.T. cuenta con una cámara gran angular y una cámara co-axial con 30x aumentos y enfoque automático. Con procesamiento de imágenes avanzada, ofrece un video fluido y transmisión en vivo de imagen de alta calidad, (Ej. Leica Nova TS50).

Sensor 5 Mpixel CMOS sensor.

Distancia Focal 21 mm

Campo de Vista 15.5° x 11.7° (19.4° diagonal)

Campo de visión co-axial 1.5°

Frames x seg. 20 frames (imagen) por segundo

Enfoque 2 m (6.5 feet) a infinito

Almacenamiento de imagen JPEG hasta 5 Mpixel (2560 x 1920)

Zoom 3-pasos (1x, 2x, 4x) ϕ

Balance de Blancos Automático y definido por usuario

Brillo Automático y definido por usuario

Escaneo inteligente de imágenes

7.3. Alcances y precisión

Las unidades EDM, son capaz de medir hasta 4.000 metros con un prisma estándar, rango largo alcance (Ej.: Leica GPR1, R500/R1000) >10.000 m

Pueden medir hasta 1000m de operación sin reflector con una precisión de 3mm+2ppm.

Modo medición a Prisma. Precisión+1.5 mm + 2 ppm a 0.6 mm + 1 ppm, Velocidad (1 segundo)

Modo medición sin Prisma. Precisión (2 mm + 2 ppm) (Leica FlexLine TS06plus)

7.4. Comunicaciones y Motorización

La funcionalidad de comunicaciones en cada modelo, proporciona las capacidades operativas. Con un alcance de 300 metros en comunicación inalámbrica usando la tecnología Bluetooth, puede operar en el colector de datos con el prisma, con el método de medición completamente automática, aumenta la búsqueda del prisma al máximo, ignora otros prismas, hace seguimiento solo al suyo

Velocidad de rotación max. 180°/ s

7.5. Operación recargable.

36 horas de funcionamiento con una sola carga (dependiendo de las condiciones de entorno y del tipo de trabajo).

7.6. Fácil acceso a memoria USB.

Hasta 8 MB de almacenamiento

7.7. Teclado.

Incorpora teclado alfanumérico que permite la entrada rápida y fácil de números, letras y caracteres especiales, ej. para codificación. Esto aumenta la velocidad de trabajo mientras y reduce las posibles fuentes de error.

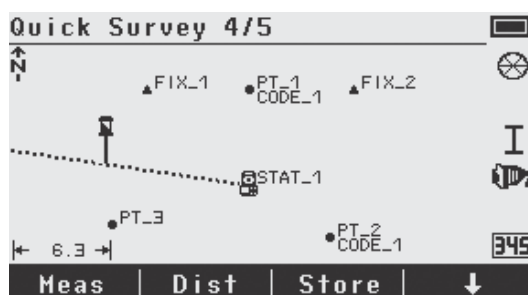


7.8. Pantalla

Pantalla táctil y color de alta resolución, 65.000 colores, gráficos, Full-VGA iluminación de pantalla, 10 niveles de brillo. Con gráficos claros, terminología sencilla y flujos de trabajo simplificados

7.9. Software integrado

Fácil de usar debido a la intuitiva guía gráfica y flujos de trabajo sencillos



7.10. Comunicaciones

La conexión sin cables a cualquier colector de datos o controlador a través de Bluetooth®, (por ejemplo Leica Viva CS10 o Leica Viva CS15 con software SmartWorks Viva).

Bluetooth cuenta con un alcance de hasta 1000m,

La **memoria USB** permite la transferencia flexible de datos tales como GSI, DXF, ASCII, CSV y LandXML. La función «Direct.dxf» permite exportar los datos directamente en formato DXF desde el mismo instrumento para su lectura en AutoCAD® o transferirlo al PC sin pasos intermedios.

Memoria Interna Max.: 100.000 puntos control, y Max.: 60.000 medidas

7.11. Intercambio de datos

El intercambio de datos se ha implementado de un modo flexible que se puede crear cualquier formato. Esto permite transferir datos a cualquier software, otros instrumentos topográficos y GPS.

7.12. Conexión con GNSS

Antenas GNSS soportadas GS12, GS15, GS08plus. Precisión en el posicionamiento Horizontal: 10 mm + 1 ppm y Vertical: 20 mm + 1 ppm

Inicialización RTK

Fiabilidad / Tiempo de inicialización >99.99% / Típico 8 s, con 5 o más satélites en L1 y L2

Rango Hasta 50 km, asumiendo que existe una conexión de datos fiable

Formato de datos RTK para recepción

7.13. Controladoras o Tablet PC robusta de 7"

Ideal para uso con Estaciones Totales y Receptores GNSS, diseñado para usarse con el software y con potente procesador para múltiples aplicaciones de software

Con teclado protegido (numérico o alfanumérico), táctil, cámara de 2 Mpixel (perfectamente situada para tomar imágenes en mano o montado en bastón)

Pantalla táctil color VGA, iluminada

Almacenamiento de datos con tarjetas SD, CF, stick USB, Ranuras SD (SDIO), CF Tipo I / II, conector 5-pines (USB) Módulo RS232 module: RS232, USB A, USB Mini AB OTG, conector 7-pines, alimentación.

Módulo Lemo: Lemo (USB y serie), USB A, conector 7-pines, alimentación.

Memoria 512 MB DDR SDRAM II.

Almacenamiento 1 GB

Audio Altavoz integrado y micrófono

Conectividad Wireless **Bluetooth®** 2.0

Class 2, Wireless LAN 802.11b/g ,

Radio integrada 2.4 GHz FHSS para estación total con antena integrada,

Módulo GSM/UMTS 3.5G integrado con antena interna





7.14. MODELOS Y TIPOS

7.14.1. GEODIMETER 600PRO

Serie 600M y Serie 600S robótica (motorizada), reflector remoto activo. 5000 puntos. 15 programas. Alcance 5000 mts con 3 prismas. Precisión 3"

7.14.2. Trimble.S6

Medición de ángulos (Hz, V)	Método	absoluto, continuo
	Resolución de pantalla	0,1"
	Desviación típica	1"
Anteojo	Aumento	30X
	Distancia mínima de enfoque	1,5 m
	Campo visual	1° 30'
	Reticulo	Iluminado
Compensador	Sistema	Doble eje
Medida infrarroja de la distancia (IR)	Tipo (infrarrojo, laser; Dif de Fase , Tiempo de Vuelo)	Infrarrojo tiempo de vuelo
	Alcance de medición con 3 prismas circulares	3500/5500m
	Alcance de medición con un prisma circular	2500m
	Medición con dianas reflectantes	1600m
	Desviación típica	3mm + 2ppm
	Resolución de pantalla	0,1/100mm
	Tiempo para una medición (medición simple/continua)	1,2/0,4 seg
	Tipo de prisma (cubico/recto ; concéntrico/excéntrico)	Cubico/concéntrico

Plomada	Tipo	Optica
	Precisión	2,3X
Condiciones ambientales	Intervalo de temperaturas	-20°C to +50°C
	Resistencia a salpicaduras y polvo	IP55
Alimentación	Batería	Li - ion
	Tipo (fija/removible)	Removibles y externa
	Tiempo de carga	3 hs
	consumo	6 hs
Nivelación de la Alidada	Automatica	Si
	Alerta de fuera de rango	Si
Garantía	Meses	24
Fecha de data	Mes - Año	ene-05
Memoria		256 Mb
Trakking		Si presenta (Robotico)



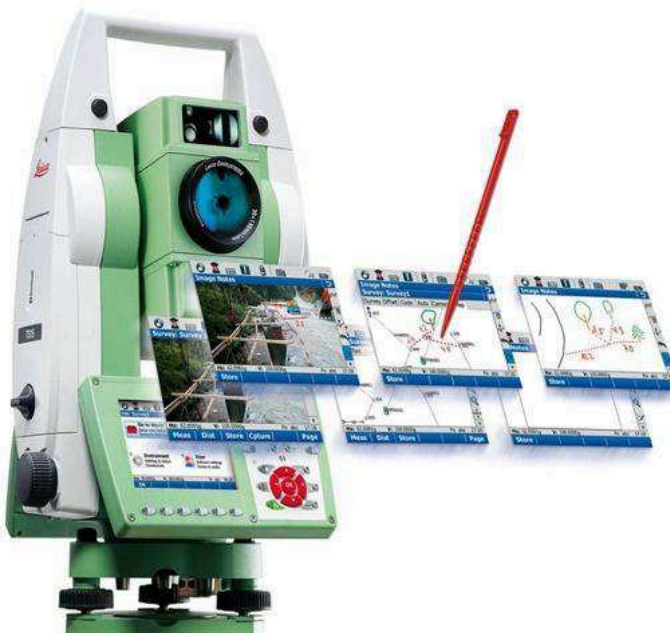
7.14.3. Modelo Motorizado Trimble S8



7.14.4. Modelo Motorizado Topcon QS



7.14.5. Modelo Motorizado Leica TS15



NOTA: ver folletos de proveedores LEICA, NIKON, PENTAX, SOKKIA, TOPCON, TRIMBLE

8. ESCÁNER 3D LÁSER

El Láser escáner logra rápidas y precisas mediciones en tres dimensiones tanto en interiores como en exteriores, es decir le permite capturar datos en 3D en cualquier lugar de manera rápida y precisa.

El Escáner Láser 3D motorizado, trabaja a una velocidad de medición, logrando medir con precisión y grabar en la PC hasta un máximo de 50.000 puntos por segundo con coordenadas planialtimétricas (N, E, Z); y simultáneamente -opcional- visualizar en Tiempo Real la imagen precisa en 3D dentro de una Notebook PC. Posteriormente se puede elaborar sobre esa gran nube de puntos, medida y ajustada; para crear y/o modificar su proyecto de trabajo específico.

Permite la medición rápida, sencilla y precisa de objetos y edificios. Se aplica a una amplia gama de proyectos: obras viales (tunelería, caminos de montaña, cruces de caminos, autopistas, puentes, obras de arte, volúmenes); arquitectura u urbanismo (medición de fachadas, proyectos de urbanización); minería (open pits, MDT, volúmenes, tunelería); ingeniería (medición de plantas industriales, estructuras complejas, instalaciones de producción, petroquímicas, modificaciones de proyectos), lugares de accidentes y componentes de gran volumen.

El tamaño pequeño del punto láser y la capacidad de escaneo fino proporcionan un rango útil para alcanzar resultados topográficos.

8.1. **Precisiones y rendimiento del sistema:**

-Alcance máximo (con la reflectividad especificada), Modo Estándar: 350m al 90% de reflectividad. Modo de alta velocidad: 210m al 90%. Modo de Baja Potencia: 210m al 90%, 134 mts. para superficies con el 18 % de reflectividad

-Precisión a un sólo punto: distancia 3,5 mm (1-150m)

-Ángulo: 6"

-Barrido en ángulo horizontal de 360° (mide una circunferencia completa desde una sola posición), y barrido en ángulo vertical de 270°; permiten ampliar su campo de visión y tomar la imagen total del elemento a medir, con menos cambios de posición del escáner. Captura techos, superficies inferiores de puentes, cañerías elevadas, fachadas altas, columnas y torres.



-Compensador de doble eje.

-Una o dos cámara digital incorporada, también permite la adquisición del color verdadero de la imagen y de la textura del dato, en tiempo Real; Imagen Digital a Color 5M pixel, Dual (170°/8.9°)

-Sistema de Láser Escáner, tipo tecnología de escaneado precisa por pulsos.

-Clase de Láser 3R (Estándar/Alta Velocidad) y 1M (Baja Potencia)

-Densidad de Escaneo (resolución), tamaño del punto 4mm a 20m, máxima densidad 1mm a 20m.

-Pantalla VGA Táctil a color

-Teclado 3 o más teclas

-Almacenamiento Tarjeta SD. Fácil transferencia de datos vía USB o interfaz Ethernet.

- Control remoto inalámbrico: transfiere los datos de la pantalla integrada a su controlador de mano, para ahorrar distancias y acceder por vía remota.

- Compatibilidad con equipos de medición estándar: acople las asas a un GPS o a un prisma de la cabeza sin obstáculos.

8.2. Determinación de las posiciones óptimas del escáner láser

Una vez recopilada la información del sitio a documentar y elegido el escaneado láser como la mejor técnica posible para ello, hay que planificar el emplazamiento del equipo láser escáner así como los puntos de referencia.

Las posiciones óptimas para el estacionamiento del escáner se deben elegir de manera que garanticen una máxima cobertura y precisión y, al mismo tiempo, se minimice el número de inicializaciones. La precisión de la medición depende del diámetro de la huella del láser, indicándose que el ángulo de incidencia y el alcance son de gran

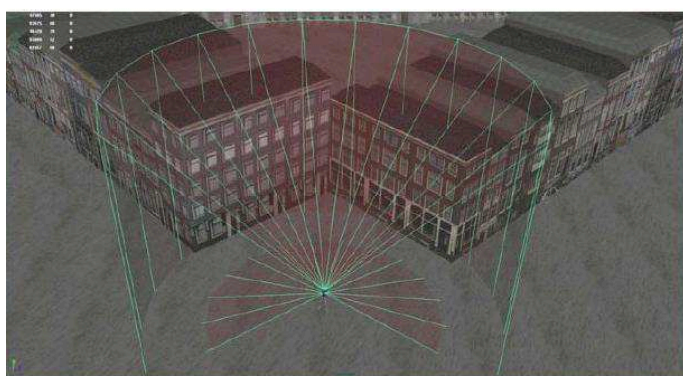
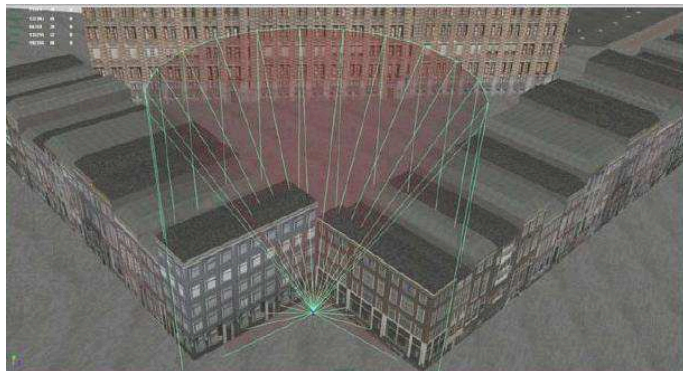
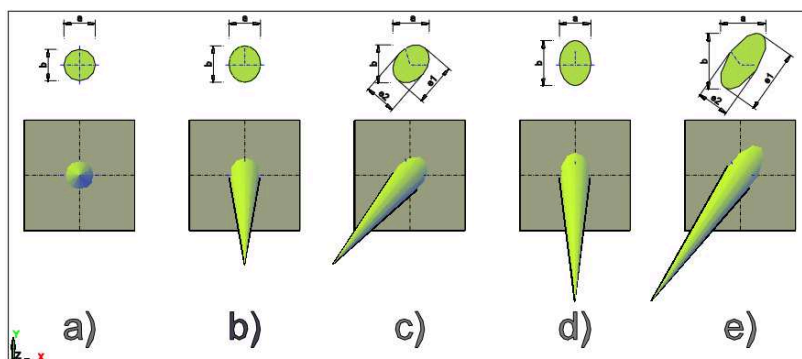


Fig. (Arriba) Mal posicionamiento del escáner: presenta ángulos muy inclinados. (Abajo) Buen posicionamiento del escáner

importancia para determinar la posición del escáner. Las prioridades a tener en cuenta cuando se determina la posición óptima del escáner son: comprobar que las posiciones cubren la mayor área posible sin obstáculos en la línea de vista y que se producen las menos sombras posibles. Comprobar que se cumplen los alcances mínimo y máximo para alcanzar la precisión requerida. Cuanto mayor sea la distancia al objeto, menor será la precisión y la resolución. Minimizar la aparición de pequeños ángulos de intersección. Con ángulos muy agudos el haz láser no se refleja tan bien, por lo que la precisión del escáner es menor. Intentar reducir el número de estacionamientos.

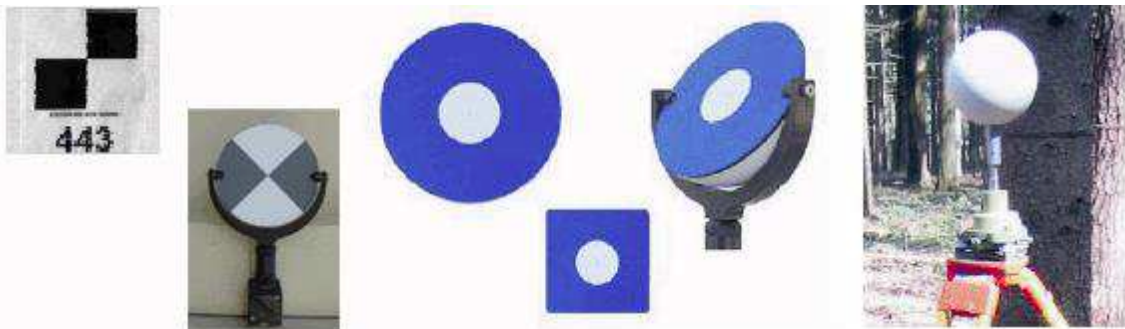
Huellas del láser cuando se escanea con diferentes ángulos



8.3. Determinación de las posiciones óptimas de los puntos de referencia.

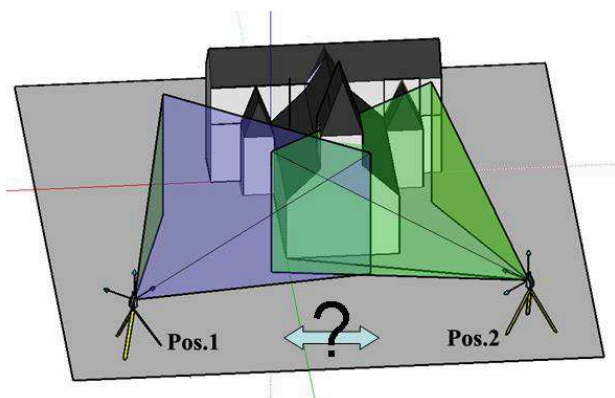
Junto a las posiciones óptimas del escáner, los tipos de puntos de referencia y sus posiciones y/o configuración geométrica también son importantes. Los puntos de referencia se usan principalmente para registrar los escaneados realizados desde diferentes posiciones. Actualmente hay una gran variedad de dianas (ptos. ref. o PAF)

disponibles: retro reflectantes, esféricas, de papel, prismas. dianas con receptores GPS. Uno de los puntos más importantes cuando se utilizan las dianas es que tienen que estar esparcidas lo más ampliamente posible, no sólo en las direcciones de los ejes X e Y, sino también en la dirección del eje Z. Estas dianas están diseñadas para reflejar la mayor parte del haz láser. El escáner puede, entonces, detectar automáticamente estas dianas y, tras un escaneado de mayor resolución, determinar el centro exacto ajustando una superficie primitiva a la nube de puntos medida. Algunas veces se emplean dianas de papel dado su bajo costo. En otras ocasiones, se coloca un prisma retroreflectante sobre el escáner. Conociendo la distancia entre el espejo del escáner y el prisma, se puede determinar la posición del escáner midiendo el prisma con una estación total.

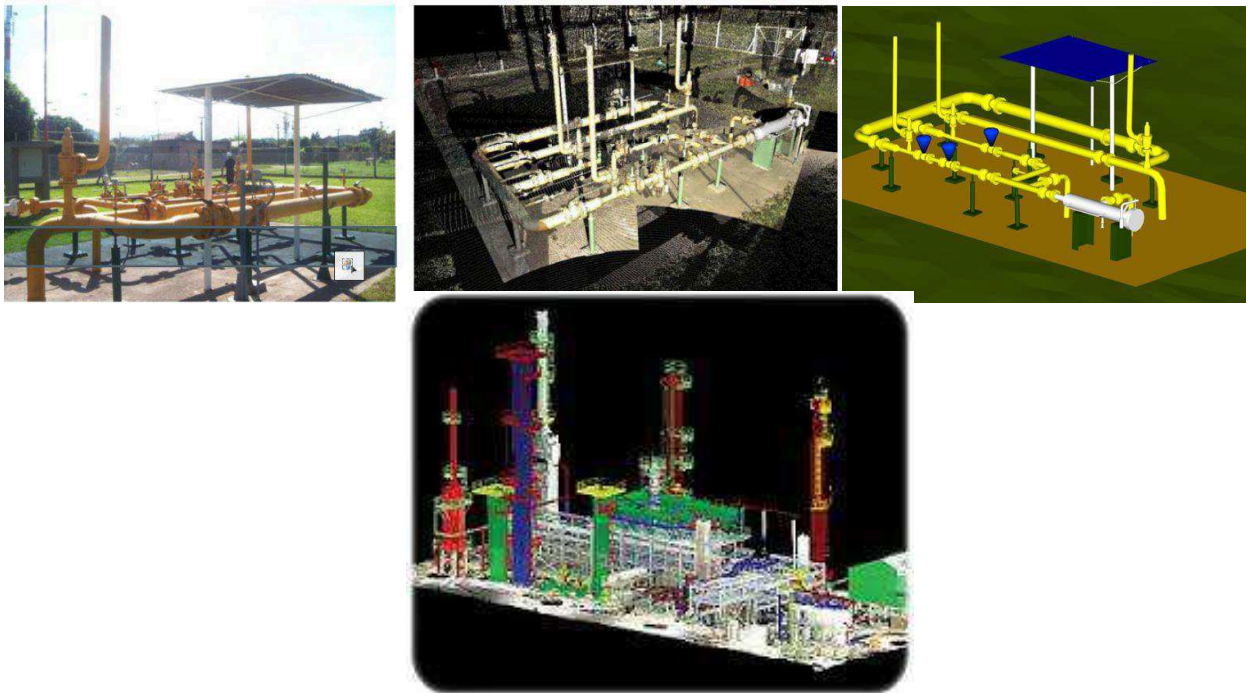


8.4. Registro y Georreferenciación

En la mayoría de casos, el objeto escaneado es demasiado grande para que se escanee desde un única posición. Entonces, se necesitan varios estacionamientos del escáner. Cada estacionamiento está definido en el sistema de coordenadas del escáner. Para poder alinear diferentes estacionamientos del escáner, es necesario saber la situación y la orientación exacta del escáner en un sistema de coordenadas externo local o global. Directamente vinculado con la alineación, o registro, se encuentra la georreferenciación de todo el conjunto de datos. La georreferenciación significa, además de alinear las nubes de puntos, georreferenciar el conjunto de datos a un sistema de coordenadas fijo.



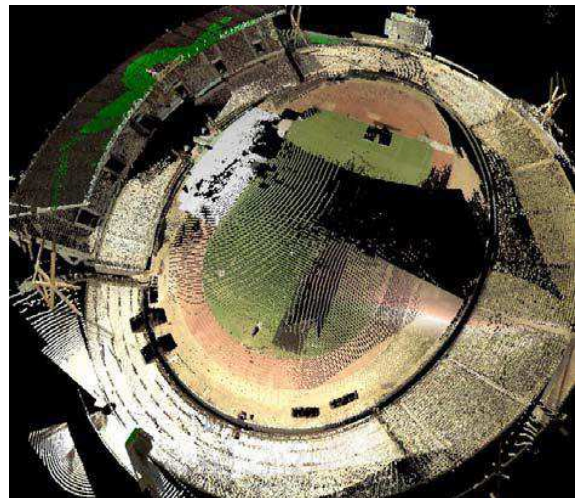
8.5. Ejemplos



Relevamiento estructural del estadio olímpico de Córdoba



Maqueta 3d (digital)



Nube de Puntos

8.6. MODELOS Y TIPOS

8.6.1. FARO Focus3D X 130-330



8.6.2. Leica ScanStation 2



8.6.3. Láser Escáner TOPCON GLS-2000



NOTA: ver folletos de proveedores FARO, LEICA, TOPCON.