

4
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE MEDICION ELECTROMAGNETICA DE
DISTANCIAS EN BASE A LAS NORMAS TECNICAS
PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS CON AUXILIO
DE COMPUTADORA**

SEMINARIO DE TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA**

P R E S E N T A N :

LUIS ALBERTO BAUTISTA GONZALEZ

ARTURO HERNANDEZ PLATA

YOLANDA NUÑEZ HERNANDEZ

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ANTONIO HERNANDEZ NAVARRO**

MEXICO, D. F.

1986.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN
60-I-189

Señores BAUTISTA GONZALEZ LUIS ALBERTO
HERNANDEZ PLATA ARTURO
NUNEZ HERNANDEZ VOLANDA

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Antonio Hernández Navarro para que lo desarrollen como SEMINARIO DE TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

"DISEÑO DE MEDICIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE DISTANCIAS
EN BASE A LAS NORMAS TÉCNICAS PARA LEVANTAMIENTOS
GEODESICOS CON AUXILIO DE COMPUTADORA"

- I. INTRODUCCION
- II. CLASIFICACION DE LOS EDM
- III. CORRECCIONES DE LOS EDM
- IV. ANALISIS DE LA PRECISION DE LOS EDM
- V. NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS
- VI. GENERACION DE TABLAS DE DISEÑO
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del SEMINARIO DE TESIS el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., agosto 25 de 1986
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCÓN CHAVEZ

ÍNDICE GENERAL

Página

1. INTRODUCCION

1.1	.- Alcance del trabajo.....	1
1.2	.- Conceptos Básicos.....	2
1.2.1.-	Longitud de Onda.....	3
1.2.2.-	Amplitud de Onda.....	4
1.3	.- Ondas Electromagnéticas.....	5
1.3	.- Espectro Electromagnético.....	6
1.3.1.-	Ondas de Radio.....	7
1.3.2.-	Ondas de Radar.....	7
1.3.3.-	Radiación Infrarroja.....	7
1.4.	.- Desarrollo Histórico de los EDM.....	8
1.5	.- Funcionamiento de los EDM.....	11

2. CLASIFICACION DE LOS EDM.....

2.1	.- Distanciómetros Electroópticos.....	23
2.2	.- Equipo Radioeléctrico de Microondas.....	33
2.3	.- Ondas Largas.....	36
2.3.1.-	Principios Básicos de Radar.....	37
2.3.2.-	Principios de la Medida de Distancias.....	37
2.3.3.-	Instrumentos que utilizan Ondas Medias o Largas	40
2.3.4.-	El Sistema de Navegación Decca.....	41
2.3.5.-	Equipo.....	45
2.3.6.-	El Sistema Decca de Dos Direcciones.....	46

	Página
3. CORRECCIONES A LOS EDM.....	54
3.1 .- Influencia de los Factores Metereológicos.....	54
3.1.1.- Refracción.....	54
3.1.2.- Índice de Refracción.....	55
3.2. .- Corrección de Cero.....	62
4. ANALISIS DE LA PRECISION DE LOS EDM.....	67
4.1. .- Ecuación de Error.....	67
4.2 .- Error de Velocidad.....	70
4.3 .- Error de Modulación de la Frecuencia.....	70
4.4 .- Error de Índice de Refracción.....	72
4.5 .- Error en la Determinación de la Diferencia de Fase.....	74
4.6 .- Error Total.....	79
5. NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS.....	82
5.1 .- Generalidades.....	82
5.2 .- Análisis de las Normas Técnicas para Levanta- mientos Geodésicos.....	83
5.3. .- Elementos Estadísticos.....	92
6. GENERACION DE TABLAS DE DISEÑO.....	97
6.1 .- Programas para Calculadoras Programables.....	97
6.1.1.- Programa H.P. (34c).....	98
6.1.2.- Programa T.I. (57).....	101

	Página
6.2 .- Programa Basic.....	104
6.2.1.- Listado del Programa y Resultados.....	104
6.2.2.- Recomendaciones al Usuario.....	114
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Longitud, Frecuencia y Amplitud de Onda.....	3
2. Espectro Electromagnético.....	7
3. Modulación de Amplitud.....	13
4. Modulación de Frecuencia.....	13
5. Medición Electrónica de Distancias, Generalizada.....	14
6. Curvas de Respuesta.....	26
7. Relaciones entre anchura del Impulso, Recurrencia envolvente de RF y eco, en función del tiempo.....	39
8. Teoría y construcción de un sistema de compración de fase para onda continua.....	44
9. El DECCA de "Dos Direcciones".....	48
10. Fenómeno de Refracción.....	55
11. Determinación de la Corrección de Cero Utilizando el Método de las Distancias Subdivididas.....	64
12. Curva Típica de Reflexión del Terreno de una Medición "Perfecta".....	77
13. Curva indicando una Fuerte Reflexión.....	78

INDICE DE TABLAS

	Pág.
II-1 Instrumentos EDM Electroópticos.....	30
II-2 Instrumentos EDM Microondas.....	35
II-3 Instrumentos EDM Radioeléctricos de Ondas Largas...	51
V-1 Especificación de Precisiones para Levantamientos - Geodésicos Horizontales.....	88
V-2 Especificación de Precisión para Medidas de Bases - Geodésicas.....	90
V-3 Especificaciones de Precisiones para Medidas de Dis- tancias de Trilateración.....	91
V-4 Especificaciones para Medida de Distancias en Poli- gonales.....	91
V-1 Tablas de Diseño.....	97

1. INTRODUCCION.

1.1 ALCANCE DEL TRABAJO.

Cuando se busca tomar una decisión de entre varias, ésta se acercará más a la óptima, en la medida del conocimiento que se tenga en cada una de las opciones a escoger.

Considerando lo anterior, el presente trabajo pretende dar los elementos necesarios para conocer el principio fundamental del funcionamiento de los EDM; así como, los errores que se producen al realizar mediciones con éstos instrumentos.

Al conocerse las fuentes de error, estos se pueden eliminar o hacerse mínimos, aplicando a cada uno de ellos las correcciones necesarias para obtener resultados precisos y confiables.

Una vez conocidos en forma general, el funcionamiento, los errores y las correcciones a los EDM, se da un análisis general de las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, dichas normas tienen la función de reglamentar y estandarizar los levantamientos geodésicos realizados por diferentes dependencias oficiales o privadas; en nuestro caso particular se hace énfasis en la precisión de medidas de distancias.

Estas precisiones nos servirán de apoyo, junto con las características de precisión de los instrumentos, para la generación de tablas de diseño, para la medición electromagnética de distancias.

Las tablas de diseño, para su mayor funcionalidad se realizaron por medio de programas de computadora, en tres formas diferentes: dos, para calculadoras programables (H.P. y Texas Instrument) y en Lenguaje Basic.

1.2 CONCEPTOS BASICOS.

Para la definición del Espectro Electromagnético haremos mención de algunas definiciones importantes que ayudarán a tal propósito.

Generación de Ondas.- Al separar una partícula de su estado de equilibrio y dejarla abandonada asimismo adquiere un movimiento periódico vibratorio. Si dicha partícula se encuentra unida a otra elásticamente, cada vez que esta ejecuta una oscilación completa, las partículas contiguas primero y las más alejadas después, van repitiendo una tras otra la misma oscilación.

Por lo anterior, podemos decir que una onda es producida debido a la oscilación de un foco que se transmite a las partículas del medio y es la forma exterior que adoptan las partículas que oscilan dentro de una diferencia de fase de un ciclo.

Ciclo.- Es la unidad de frecuencia y comprende una cresta llamada técnicamente alternación positiva y un valle o alternación negativa, es decir, es una onda completa y se le llama también Hertz.

Fase.- Si dos ondas están en la misma dirección al mismo tiempo, se dice que están en fase.

Diferencia de Fase.- Es el tiempo, que una onda se adelanta o se retrasa, respecto a la otra.

1.2.1 Longitud de Onda.

A la distancia que existe entre una cresta y otra, o valles, consecutivos se le denomina Longitud de Onda (λ).

Siendo su expresión matemática: $\lambda = \frac{c}{f}$ (1)

donde:

c: Velocidad de la luz en el vacío cuyo valor es de --
 299792.5 ± 0.1 km/s (adoptado por la International
Union of Geodesy and Geophysics I.U.G.G., en el año
de 1957).

f: Frecuencia, es el número de ciclos que tiene por se
gundo un movimiento ondulatorio medida en Hertz.

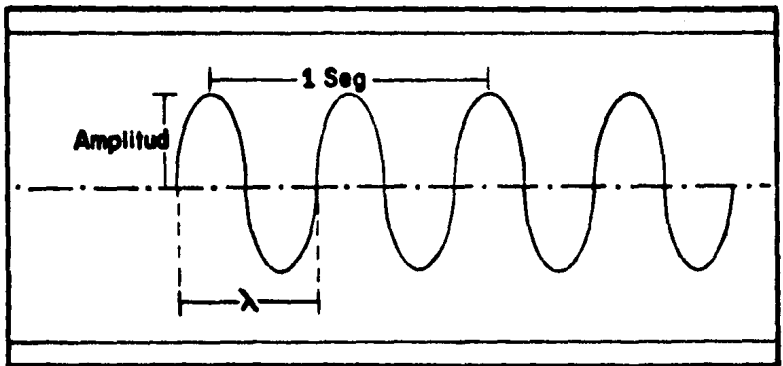


FIG. 1 LONGITUD, FRECUENCIA Y AMPLITUD DE ONDA.

1.2.2 Amplitud de Onda.

Se le llama al valor máximo del desplazamiento que alcanzan las partículas del medio de su posición de equilibrio.

La oscilación de energía de una corriente alterna que fluye en un circuito abierto está asociado a la formación de un

campo eléctrico que irradia energía electromagnética al espacio en forma de ondas electromagnéticas que viajan a velocidades -- idénticas en el vacío.

1.2.3 Ondas Electromagnéticas.

Los trabajos desarrollados por Coulomb, Ampere y Faraday sirvieron de base para establecer la velocidad de las ondas -- electromagnéticas, esta resultó ser la equivalente a la de la luz (c) en el vacío.

Cuando Maxwell lo hizo notar en 1865, las ondas de radio y similares aún no habían sido producidas en forma experimental. En consecuencia, la existencia básica de ondas electromagnéti-- cas era desconocida.

Los experimentos de Heinrich Hertz a fines del Siglo XIX confirmaron la teoría de Maxwell de reafirmar la existencia de las ondas electromagnéticas, ya que, fué el primero en producir este tipo de ondas en un laboratorio valiéndose de un aparato - y detectándolas en un receptor colocado a cierta distancia de - aquél, de esta manera consiguió que la vibración electromagnéti-- ca producida se propagará a través del espacio con la misma ve- locidad de la luz. Las ondas así producidas fueron llamadas pos- teriormente ondas hertzianas. De esta manera y después de un --

tiempo se reunió un gran número de pruebas experimentales para demostrar que el calor y la radiación X, así como la luz eran ondas electromagnéticas. La diferencia básica entre este tipo de ondas reside en sus diferentes longitudes de onda. Por lo tanto, una diferencia en longitud de onda significa una diferencia en la frecuencia de la radiación (ec. 1).

1.3 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.

El espectro electromagnético se define con una sucesión de las diferentes longitudes de onda.

Todas las radiaciones comprendidas en el espectro electromagnético, al parecer diferentes entre sí, tanto por su origen como por sus efectos, tienen una característica común que es su naturaleza y al igual que la de la luz ésta es la de una onda electromagnética, que se propaga por el vacío a la velocidad de "c".

En la siguiente figura se resumen las características de las ondas que comprenden el espectro electromagnético y se indican las diferentes longitudes de onda por los nombres de los colores.

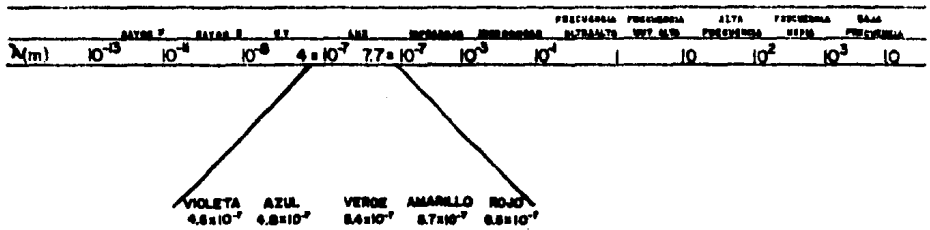


FIG. 2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

1.3.1 Ondas de Radio.

Sus longitudes de onda varían de un metro aproximadamente a valores sumamente grandes.

1.3.2 Ondas de Radar.

Estas son simplemente ondas de radio de corta longitud que van aproximadamente de 10^{-3} a 10^{-1} m, en este rango se encuentran las llamadas microondas.

1.3.3 Radiación Infrarroja.

Recibe este nombre la radiación en el margen de las lon

gitudes de onda entre las de la luz visible 7×10^{-7} m, y las de radar.

1.4 DESARROLLO HISTORICO DE LOS EDM.

Uno de los problemas fundamentales en los trabajos topográficos y geodésicos ha sido la medición precisa de las longitudes de líneas relativamente largas. (1)

El desarrollo de los métodos para la medida de distancias precisas ha ido evolucionando a partir de mediados del Siglo XIX, pues anteriormente se realizaban con reglas de madera.

El método consistía en colocar sobre trípodes especiales las reglas que iban alternandose sucesivamente para ponerlas en contacto una con la otra, o bien dejandose a distancias muy próximas para determinar su separación con una escala especial. Este procedimiento era tardado y el instrumental muy voluminoso. Sin embargo, era el único método conocido por el cual podía obtenerse la longitud de una línea. (2)

Para finales del Siglo XIX la introducción de la cinta a la medición de longitudes prescribió el empleo del método de reglas, empero, la dificultad más sería que se presentó en el uso de la cinta metálica, fué la de precisar la temperatura de

éstas, pues por ser una masa metálica presenta diferentes valores al dilatarse. Este problema se solucionó en gran parte con la invención de la cinta invar (aleación de acero y níquel), - cuyo coeficiente de dilatación es muy pequeño e invariable.

El procedimiento de la medida de distancias con cinta invar era, y sigue siendo, sumamente laborioso como costoso ya -- que al transferir metódicamente en el terreno longitudes sucesivas, hay que aplicar las correcciones necesarias (temperatura, tensión, catenaria, desnivel) y calcular el valor final de la distancia, así, cuando las mediciones se realizan con habilidad estas son lo bastante precisas para satisfacer las normas más estrictas de los trabajos geodésicos.

La búsqueda de un método menos costoso y de mayor rapidez para la medición precisa de distancias estimuló la investigación en el área de la electrónica aplicada a la metrología de distancias.

A fines de la década de los años cuarentas fueron desarrollados varios sistemas electrónicos con el fin de medir distancias.

El primer instrumento EDM (Electronic Distance Measure) fué presentado en 1948 por el Físico Sueco Dr. Erick Bergstrand,

Su dispositivo llamado Geodímetro, resultó de ciertos intentos para mejorar los métodos de medición de la velocidad de la luz. El instrumento transmitía radiación visible y era capaz de medir en la noche con mucha precisión distancias hasta de unos 40 km, de esta forma se dió inicio la era de la medición electrónica de distancias. Este aparato fué el predecesor de una amplia variedad de instrumentos electroópticos (2.1) que han revolucionado la determinación de distancias, tanto para trabajos ordinarios como para aquellos de precisión excepcional. En 1957 un segundo aparato EDM, el Telurómetro, diseñado por el Dr. T. Waldley y aplicado por primera vez en Sudafrica, transmitía microondas (2.2) y era capaz de medir distancias hasta de 80 km. o más, su funcionamiento se basa en la propagación de las ondas hertzianas generadas en una estación transmisora y enviadas por medio de una antena parabólica al otro extremo de la línea, en donde son captadas y reflejadas hacia su origen.

Posteriormente en el Congreso de la Sociedad Fotogramétrica Internacional, celebrado en Lausanne, Suiza (1968), se presentó el primer instrumento infrarrojo que utilizaba diodos de Arsenuro de Galio (GaAs).

1.5 FUNCIONAMIENTO DE LOS EDM.

El principio fundamental de operación de todos los equipos electromagnéticos de medición de distancias, se basa en que ésta es igual al producto de la velocidad por el tiempo, por lo tanto si se conoce la velocidad de una onda de radio o de luz, y se conoce también el tiempo requerido para que esa onda viaje de un punto a otro, podrá calcularse la distancia correspondiente.

El equipo EDM mide distancias por comparación de una línea de longitud desconocida con la longitud de onda conocida de la energía electromagnética modulada con la que trabaja.

Ahora bien, dos conceptos importantes que rigen en el funcionamiento de los EDM, son:

• La Amplitud Modulada (AM) y la Frecuencia Modulada (FM).

Cuando se varía la amplitud de una onda de acuerdo con otra onda que en alguna forma representa información, el proceso se llama Amplitud Modulada o Modulación de Amplitud. (Fig. 3). La onda que se modula es la portadora y la otra es la onda o señal moduladora. En esta modulación, la amplitud de pico a pico, o de máximo a máximo, de la portadora de ca (señal de corriente alterna) varía de acuerdo con la señal de información. Así, la portadora consta de ondas sinusoidales cuyas amplitudes siguen

las variaciones de amplitud de la onda moduladora, de tal manera que siempre está dentro de una envolvente formada por la onda moduladora.

La razón por la cual una señal que ya lleva información (la onda moduladora) ha de usarse para modular otra onda (la portadora) es porque la transmisión de señales de alta frecuencia por radio es más barata y eficaz que la transmisión de señales de muy baja frecuencia y la señal no puede transmitirse demasiado lejos. Así, pues, la información de baja frecuencia se superpone o modula en una señal de alta frecuencia, llamada usualmente portadora de radio frecuencia f_c , ya que es adecuada para transmitir por radio.

En la modulación de frecuencia, así como en la f_c varía según una señal moduladora. Sin embargo, en AM cambia la amplitud de la portadora. Cuando la portadora está modulada en frecuencia, su amplitud no cambia, pero su frecuencia aumenta y disminuye de acuerdo con las variaciones de amplitud de la señal moduladora (Fig. 4).

La frecuencia que tenía la portadora antes de la modulación se llama frecuencia central o de reposo, la portadora modulada fluctúa arriba y debajo de la frecuencia central.

La frecuencia de una portadora de FM es igual a la frecuencia central, cuando la señal moduladora tiene amplitud cero. (3)

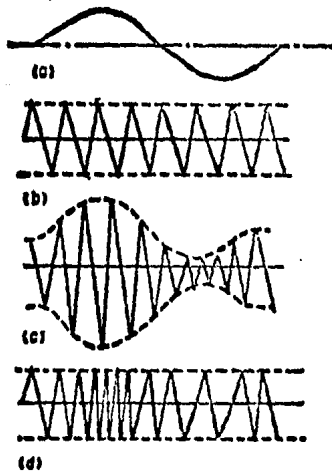


FIG. 3 MODULACION DE AMPLITUD Y FRECUENCIA DE UNA PORTADORA DE RADIO-FRECUENCIA POR MEDIO DE UNA ONDA DE AUDIO-FRECUENCIA.

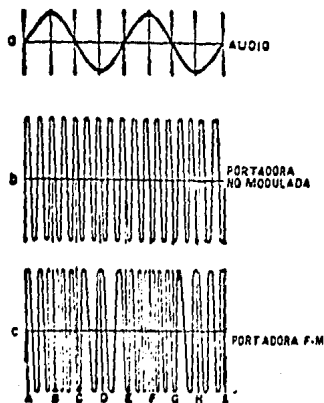


FIG. 4 MODULACION DE FRECUENCIA DE UNA PORTADORA R-F CON UNA ONDA DE A-F.

Los equipos electrónicos para la medición de distancias - utilizan una señal modulada portada por una microonda de radio o por un rayo de luz.

El procedimiento general para medir distancias electrónicamente se ilustra a continuación:

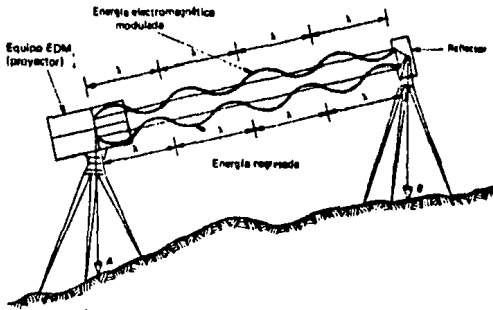


FIG. 5 MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS, GENERALIZADA.

Un equipo EDM centrado sobre la estación A, transmite una señal portadora de energía electromagnética a la cual se ha su perpuesto una frecuencia de referencia (modulación). La señal -regresa desde el reflector en la estación B hasta el proyector, por lo que su recorrido es igual al doble de la distancia inclina da \overline{AB} .

En la Fig. 5, la energía electromagnética con modulación está representada por una serie de senoides cuya longitud de -onda es λ . Cualquier posición a lo largo de una onda dada se -puede especificar por un ángulo de fase el cual es cero grados en el punto principal.

Los dispositivos EDM que se emplean en topografía trabajan por medición del defasamiento (o desplazamiento de fase). En este sistema, la energía que regresa experimenta un cambio de fase completo de 360° por cada múltiplo par de exactamente la mitad de la longitud de las ondas entre los puntos extremos de la línea. Si por tanto, la distancia es precisamente igual a un múltiplo par de la semilongitud de onda, el cambio de fase indicado será cero. En la Fig. 5, por ejemplo, las estaciones A y B están separadas exactamente por ocho semilongitudes de onda; por lo tanto el cambio de fase es cero. Cuando la línea no es exactamente igual a un múltiplo par de semilongitudes de onda - (el caso usual), el instrumento indica la parte fraccionaria como un ángulo de fase diferente de cero, es decir, como un desplazamiento de fase. Si se conoce la longitud precisa de una onda, la parte fraccionaria puede convertirse en distancia.

La distancia S entre el transmisor y el reflector es, por lo tanto, igual a:

$$S = \frac{m\lambda}{2} + U \dots\dots\dots (2)$$

donde:

- m: es el número entero exacto de media longitud de onda, y
- U: una fracción de la media longitud de onda o la diferencia de fase.

Para encontrar el número m , la medición debe repetirse con dos o más longitudes de onda diferentes.

La longitud de onda de medición λ es una función de la frecuencia de modulación f y de la velocidad v de propagación de las ondas electromagnéticas.

$$\lambda = \frac{v}{f} \dots\dots\dots (3)$$

Como en el vacío, la velocidad v de propagación es constante para todas las ondas electromagnéticas el valor de esta estará dado por el valor c de la ecuación (1).

En la atmósfera, la velocidad v de propagación es siempre menor que c y puede calcularse a partir de:

$$v = \frac{c}{n'} \dots\dots\dots (4)$$

donde n' es el índice de refracción del aire, el cual es una función de la densidad del aire y de la longitud de onda portadora. El valor de n va desde $n = 1$ en el vacío hasta aproximadamente $n = 1.0003$ en condiciones atmosféricas normales. Su valor puede ser determinado sobre la base de mediciones meteorológicas de la temperatura, presión barométrica y humedad del aire a lo largo de la línea medida. Por lo tanto el valor de λ de la señal modulada es desconocido durante las mediciones a

menos que se conozca n y entonces:

$$\lambda = \frac{c}{nf} \dots\dots\dots (5)$$

puede ser calculado. La frecuencia f de modulación puede ser estabilizada. Por lo general, se conoce con un alto grado de precisión.

El fabricante da generalmente el valor de $\lambda = \lambda_1$, para condiciones atmosféricas específicas, por ejemplo, para un cierto valor de $n = n_1$:

$$\lambda_1 = \frac{c}{n_1 f} \dots\dots\dots (6)$$

De donde la distancia registrada por el EDM es igual a:

$$S_1 = m \frac{\lambda_1}{2} + U_1$$

donde U_1 es una fracción de $1/2 \lambda_1$

Si durante las mediciones, $n = n_2 \neq n_1$, el valor correcto de λ resulta:

$$\lambda_2 = \frac{c}{n_2 f} \dots\dots\dots (7)$$

Y la distancia real es:

$$S = m \frac{\lambda_2}{2} + U_2 \dots \dots \dots (8)$$

De (7) y (6):

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots (9)$$

Y finalmente la distancia corregida puede calcularse como igual a:

$$S = U_1 \frac{n_1}{n_2} + \frac{m\lambda_1 n_1}{2n_2} = S_1 \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots (10)$$

La ecuación (10) proporciona la fórmula básica para corregir la distancia de acuerdo a las condiciones atmosféricas reales.

Como los centros electrónicos de los instrumentos EDM generalmente no coinciden exactamente con el centro de la estación, debe determinarse una corrección Z_0 y añadirse a la distancia calculada. En el Capítulo 3 se discuten las correcciones que deben realizarse para reducir la distancia medida.

Finalmente la distancia reducida S_0 se calcula como sigue:

$$S_0 = S_1 \frac{n_1}{n_2} + Z_0 + \Delta S \dots \dots \dots (11)$$

donde:

S_1 es la distancia medida.

n_1 es el índice de refracción durante la calibración en laboratorio.

n_2 es el índice de refracción durante la realización de las mediciones de campo (a determinar por el observador).

Z_0 es la corrección de cero.

ΔS representa el conjunto de reducciones.

REFERENCIAS

- 1.- Milton O. Schmiet
William Horace Rayne.
FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA
Edit. Continental.
- 2.- Medina Peralta M.
INTRODUCCION A LA GEODESIA GEOMETRICA
Editorial Limusa,
México 1978.
- 3.- Mileaf Harry
ELECTRONICA, Serie Uno.
Editorial Limusa.
México 1981.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Felix Estrada A. y Oruela Oyarzabal J.
Velazco Hernández M.
LECCIONES DE FISICA.
México 1976.
- 2.- Bueche Frederick
FISICA PARA ESTUDIANTES DE CIENCIAS E INGENIERIA, Tomo II.
Editorial Mc Graw Hill,
México 1973.
- 3.- Rincón Arce A.
FISICA
Editorial Herrero,
México 1974.

- 4.- Albarenga Máximo
FISICA
Editorial Harla,
México 1976.
- 5.- Peralta Medina M.
GEODESIA GEOMETRICA
Editorial Limusa.
México 1978.
- 6.- Milton O. Schmieth, Rayne William H.
FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA
Editorial Continental,
México.
- 7.- Brinker Rusell, Wolf Paul R.
TOPOGRAFIA MODERNA
Editorial Harla.
México.

2. CLASIFICACION DE LOS E.D.M.

El desarrollo científico y tecnológico en el campo de la electrónica, en la actualidad ha hecho posible el perfeccionamiento de pequeños diodos emisores de luz y en general la miniaturización de componentes electrónicos de estado sólido, que -- han sido de gran ayuda para la aportación de nuevas soluciones en el diseño de instrumentos para la medición electrónica de -- distancias. Dadas estas nuevas alternativas, la construcción de este tipo de aparatos los hacen cada vez más versátiles; menos voluminosos, más ligeros, el consumo de energía es menor y los sistemas de operación y lectura son de mayor facilidad de manejo.

La clasificación de los instrumentos electrónicos para la medición de distancias se puede hacer de acuerdo a sus capacidades de alcance o de acuerdo a la onda portadora que utiliza.

Sin embargo, el sistema de clasificación más conveniente - para los instrumentos EDM es aquel que considera la longitud de onda de la energía electromagnética transmitida y que a conti-- nuación se describe:

- 1.- Equipo Electroóptico.
- 2.- Equipo Radioeléctrico de Microondas.
- 3.- Equipo Radioeléctrico de Ondas Largas.

2.1 DISTANCIOMETROS ELECTROOPTICOS.

Los instrumentos EDM electroópticos transmiten luz visible, láser y radiación infrarroja, como señal portadora. En los primeros modelos se usaron lámparas de tungsteno o de mercurio como fuentes de luz. Su corto alcance de trabajo, especialmente durante el día, se debía principalmente a la excesiva difusión que sufría en la atmósfera esta luz incoherente.

El láser es una fuente de radiación en la parte visible, infrarroja o ultravioleta del espectro electromagnético y su nombre es una abreviatura formada con las siglas de: light simplification by stimulated emission of radiation.

El láser ha adquirido importancia en la investigación y por sus aplicaciones prácticas debido a que sus propiedades especiales permiten mostrar las características de la luz con claridad y sencillez.

Básicamente son 4 las propiedades que caracterizan a la luz láser: (1)

- a).- Gran intensidad. La luz de láser puede ser muy intensa y se puede concentrar en un objeto con lentes apropiados, calentándolo a temperaturas altísimas.

- b).- Gran monocromaticidad. La luz láser es casi monocromática o sea que tiene un solo color o longitud de onda; esta característica también se conoce como coherencia temporal, y se refiere a que los fotones emitidos tienen la misma frecuencia.
- c).- Gran coherencia espacial. Se refiere al hecho de que el haz sale prácticamente de un punto (el \emptyset de haz es menor de 1.5mm) y la parte más intensa está en el centro del cilindro .
- d).- Gran directividad o colimación. El haz del láser tiene una divergencia muy pequeña, del orden de 1 miliradian (aprox. 3 min. de arco) o sea que el ancho del haz es casi constante a lo largo de distancias grandes lo que permite utilizarlo en experiencias donde se necesite un rayo intenso y colimado.

Estas propiedades de la luz láser han resuelto los problemas de los aparatos electroópticos y aumentado notablemente el alcance de trabajo durante el día.

En años recientes se ha introducido una nueva clase de distanciómetros electroópticos de corto alcance en los que se utiliza una señal portadora de radiación infrarroja. Su alcance está restringido a unos cuantos kilómetros por limitaciones de

potencia del diodo de arsenuro de galio (GaAs), pero para muchos trabajos topográficos estos distanciómetros son adecuados (Ver - curva de Respuesta) Fig. No. 6.

Tal vez la mayor ventaja de los rayos infrarrojos como portadores sea que puede modularse directamente su intensidad, simplificando así considerablemente el equipo que utiliza esta fuente de radiación.

Los principios específicos de operación de los diferentes instrumentos electroópticos son muy variados, por lo que sería muy impráctico analizar todos ellos a detalle, por tal razón, se hará un análisis sencillo y general de los instrumentos EDM electroópticos.

El transmisor utiliza un diodo de GaAs que emite radiación infrarroja generalmente de amplitud modulada. La frecuencia de modulación la controla con toda precisión un oscilador de cristal. El proceso de modulación puede semejarse al paso de luz a través de un tubo, dentro del cual puede girar una placa reguladora con una rapidez o frecuencia controlada con precisión.

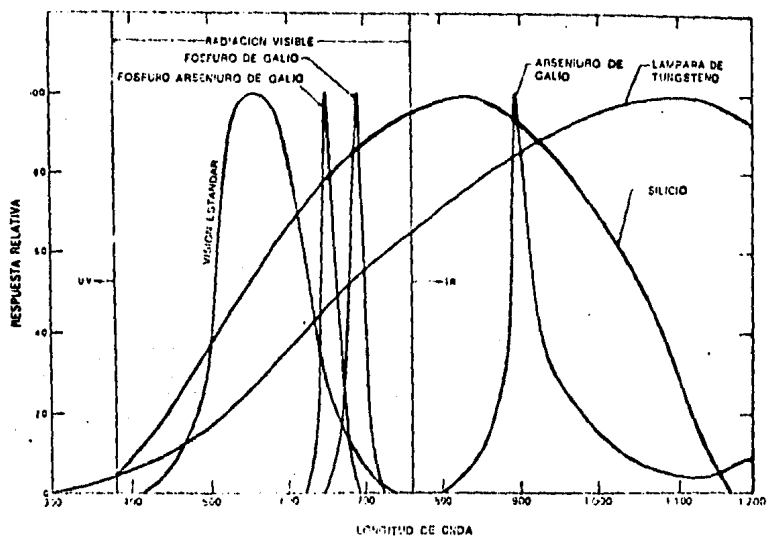


FIG. 6 CURVAS DE RESPUESTA.

Cuando la placa está de frente no pasa luz. Cuando comienza a inclinarse la intensidad de la luz va aumentando hasta un máximo correspondiente a un ángulo de fase de 90° con el eje del tubo, estando la placa completamente de canto. La intensidad se reduce nuevamente a cero al colocarse la placa a un ángulo de fase de 180° y así sucesivamente. Esta variación de la intensidad (AM) queda representada como se muestra en la Fig. 1.

La presión y la temperatura atmosférica locales, son determinadas por un operador en el momento que se hace la medida para aplicar las correcciones necesarias (Capítulo 3). Se registra en el transmisor el factor de corrección para hacer variar ligeramente la frecuencia, con lo cual se mantiene la longitud de onda exacta a pesar de las variaciones atmosféricas; esto elimina

la necesidad de ajustar matemáticamente con posterioridad la distancia medida. Es de notar que la humedad tiene un efecto casi despreciable sobre la propagación de la radiación infrarroja.

Un divisor, parte la luz emitida por el diodo en dos haces separados, un haz exterior para medición y un haz interior para referencia. El haz externo es dirigido cuidadosamente hacia el reflector, que se ha centrado sobre el punto que define el otro extremo de la línea y devuelve cualquier señal paralelamente a la dirección en que llega.

El haz exterior vuelve así finalmente al receptor. El haz interior pasa por un filtro de densidad variable y su intensidad se reduce a un nivel igual al de la señal exterior que retorna, pasa por un filtro de interferencia que elimina toda energía indeseable, como por ejemplo la luz solar. Los haces interno y externo pasa luego a través de componentes que los convierten en energía eléctrica, conservando la relación de defasamiento que resulta de sus diferentes longitudes de recorrido. Un medidor de fase o fasímetro convierte esa diferencia de fase en corriente directa o continua de intensidad proporcional al defasamiento. Esta corriente es enviada a un medidor de anulación que puede -- ajustarse manualmente para nulificar la corriente. La longitud de onda fraccionaria es convertida en distancia durante el proceso de nulificación y aparece en los señaladores del aparato. {3}

Para resolver la ambigüedad del número desconocido de ciclos completos que ha experimentado una onda se utiliza una técnica de frecuencia múltiple. La luz se transmite en una frecuencia F_1 y se observa la distancia d_1 . La luz es transmitida después una segunda vez pero con una pequeña diferencia en la frecuencia, con F_2 y observamos d_2 . Obtenemos así dos valores de d y aplicando la ecuación (11).

Formamos dos ecuaciones y así resolvemos para n . La técnica de la frecuencia múltiple está integrada en los instrumentos EDM, permitiendo así la determinación electrónica de n y una lectura directa de la distancia.

Enseguida se mencionarán algunos instrumentos EDM electroópticos dando sus principales características:

Citation CI-410 y CI-450.

En condiciones atmosféricas regulares, es decir, poco brumoso, visibilidad aproximada 15 km, o con poco Sol y vibración del aire moderado, tenemos las siguientes características:

Desviación estándar: $5\text{mm} + 5\text{mm/km}$.

Tiempo de medición: 8 seg. aprox.

Intervalo de la medición repetida: 1 seg.

Indicación: LCD, 7 dígitos.

Medición unívoca: 9999-999m.

Unidades preseleccionables: Metros o pies.

Unidad mínima: 1mm. o bien 0.01 pie.

Modulación, frecuencia fina: 15 MHz = 10m. de escala.

Temperatura ambiente: desde -20°C hasta +50°C

Introducción angular: 360/1" - 400^a/1".

Longitud de la onda portadora: 0.905m. infrarroja.

Rastreo: 2cm. aprox.

CI-410: Alcance de hasta 2.2 km. en condiciones atmosféricas medias y 2.8 km. en condiciones atmosféricas favorables.

CI-450: 3 km. en condiciones atmosféricas medias y hasta 4 km. cuando las condiciones atmosféricas son muy buenas.

Se pueden mencionar una gran cantidad de instrumentos electroópticos, para lo cual los condensaremos en una tabla.

TABLA II-1
 INSTRUMENTOS EDM ELECTROOPTICOS

MODELO	FABRICANTE	ALCANCE (km)	PRECISION		OBSERVACIONES
			$\pm a$ (mm)	$\pm b$ (ppm)	
DI-3S	Wild Heerbrugg Suiza.	1.5 (con 3 prismas)	5	5	Unidad montada en el teodolito, movable con el telescopio, semiaut corrección por pendiente.
TAC-1	Wild Heerbrugg Suiza	1.7 (con 1 solo prisma)	5	5	Tacómetro automático, cassette grabadora de cinta, compacto.
DI4/DI4L	Wild Heerbrugg Suiza.	2.0/5.0	5	5	Estabilización electrónica de la frecuencia de medición en todo el margen de temperaturas.
DI20	Wild Heerbrugg Suiza	14.00 (con 11 prismas)	5	1	
DI10	Wild Heerbrugg Suiza.	2.0	10	5	
DI5	Wild Heerbrugg Suiza	5.0	3	2	Montable en el T-2000.
MA-100	Tellurometer (Pty. Ltd)	1.5 (con pris- mas triples)	1.5	2	
CD-6	Tellurometer (Pty. Ltd.)	0.7 (con 1 - solo prisma)	5	5	Montado en el teodolito.
HDM-70	Cubic Corp. USA	1.5 (con prisma Triple.)	5	10	Unidad pesa 1 kg. montado en el telescopio; corrección por pendiente.

TABLA II-1
 INSTRUMENTOS EIM ELECTROOPTICOS

MODELO	FABRICANTE	ALCANCE (km)	PRECISION		OBSERVACIONES
			+a (mm)	+b (ppm)	
Cubitape DM-60	Cubic Corp. USA.	2.5	5	10	
HP3820A	Hewlett-Pa- ckard, USA.	5.0 (con 6 prismas)	5	5	Tacómetro totalmente - automático, compacto, registro electrónico
12A	AGA, Suiza.	2 (con 3 -- prismas).	5	5	de datos. Montado en - teodolito 2.5 kg.
Elta 3	Carl-Zeiss Alemania Occ.	3 (con 18 prismas)	10	2	Teodolito electrónico con microcomputador - que manda todo el desa- rrollo de la medición
Elta 4	Carl-Zeiss Alemania Occ.	2.2 (con 9 prismas)	10	2	de distancia y procesa los resultados obteni- dos.
DM-102	Kern, Suiza.	1.7 (con 2 prismas)	5	5	
DM-501	Kern, Suiza	1.5 (con 3 prismas)	5	5	Movible en el telesco- pio, compacto 1.6 kg.
DM-502	Kern, Suiza	2.0 (con 3 prismas)	3	5	Interrupción automáti- ca. Peso 1.6 kg.
ME-3000	Kern, Suiza	3.0	0.2	1	Semejante al Mekometer III de KOM RAD, England

TABLA II-1
 INSTRUMENTOS EDM ELECTROOPTICOS

MODELO	FABRICANTE	ALCANCE (km)	PRECISION		OBSERVACIONES
			+a (mm)	+b (ppm)	
Terrameter	Bjerhamnar Suiza.	3.0	2.5		Modelo experimental mo- dulador de cuarzo.
Beetle	Precisión Int. USA.	1 (con 3 prismas)	10		Montado en teodolito - corrección semi automá- tica de la pendiente, 2.5 kg.
RED 2L	Sokkisha	7	5	5	
RED Mini	Sokkisha	0.8	5	5	

2.2 EQUIPO RADIOELECTRICO DE MICROONDAS.

Distanciómetros de microondas. La señal de medición empleada por dispositivos de microondas consiste en una modulación de frecuencia (FM) superpuesta a la onda portadora. Al igual que los instrumentos electroópticos, el equipo de microondas trabaja según el principio del defasamiento.

Estos instrumentos transmiten ondas con longitud de 100 a 9mm. o bien, de frecuencias que van desde 3 a 35GHz (gigahertz igual a 10^9 cps) como ondas portadoras; éstas a su vez están moduladas con frecuencias que varían entre 10 y 75 MHz.

Utiliza frecuencias variables para resolver la ambigüedad en cuanto al número desconocido de longitudes de ondas completas que hay en una distancia. El alcance de los distanciómetros de microondas es relativamente grande, ver tabla (II-2), y pueden trabajar en la obscuridad, en niebla o bajo lluvia ligera. Sin embargo, las medidas que se hacen en tales condiciones adversas tienen alcance un tanto limitado.

Para la medición con instrumentos de microondas son necesarios dos instrumentos similares que se colocan en el extremo de la línea por medir: estas son conocidas como instrumento maestro y remoto, las observaciones son realizadas en los dos aparatos.

Deberá haber un operador en la estación maestra quien seleccionará una frecuencia de modulación (en la cual las microondas serán transmitidas hacia el instrumento remoto) y se la transmitirá al operador de la estación remota por medio de la comunicación del instrumento, por su parte el operador remoto colocará su instrumento en la frecuencia correspondiente y la señal al ser recibida en el instrumento remoto será regresada sin demora al instrumento maestro.

Un medidor de fase en la estación maestra da la diferencia de fase entre las ondas transmitida y recibida (observada a través de un osciloscopio en los modelos antiguos y en forma digital en las más recientes) da la fracción en punto decimal de la longitud de onda por la cual la doble trayectoria de la estación maestra a la remota, se desvía de un número entero de longitud de onda, esto es, si cualquiera de los dos instrumentos tuviera que ser movido sobre la línea por medir hacia adelante o hacia atrás por media longitud de onda, el medidor de fase daría finalmente el mismo valor que el anterior.

Las principales fuentes de error en las mediciones con instrumentos a microondas son: la reflexión de trayectorias múltiples; el índice de refracción incorrecto y la falta de coincidencia entre el centro eléctrico del instrumento y el punto de donde se cuelga la plomada. Como se explica en el Capítulo 4.

La Tabla (II-2) dá las principales características de algunos instrumentos EDM a microonda.

TABLA II-2
INSTRUMENTOS EDM A MICROONDAS

MODELO	FABRICANTE	ALCANCE (km)	PRECISION		OBSERVACIONES
			$\pm a$ (mm)	$\pm b$ (ppm)	
MRA-5	Tellurometer (Pty. Ltd.) S. Africa.	70	15	3	La antena puede separarse hasta 25m.
CA-1000	Tellurometer (Pty. Ltd.) S. Africa.	30	15	5	Peso de la unidad con batería, 3.5 kg.
SIAL MD	Siemens-Albis Suiza.	150	10	3	Reducida reflexión del terreno, antena separada.
DM-20 Electrotape	Cubic Corporation, USA	50	10	3	Peso de cada unidad - 13 kg.

2.3 ONDAS LARGAS.

Durante la 2a. Guerra Mundial, la invención del radar como una arma de guerra fué fundamental para la detección de objetos móviles como barcos, aviones, submarinos, etc.

El radar (Radio Dirección and Ranging), cuyo significado es "Determinación de la Distancia y Dirección de Objetos Mediante Ondas Electromagnéticas", es un instrumento que nos permite determinar la distancia, acimut y elevación con respecto al punto de observación, es por esto que, después de la Guerra, los geodestas se interesaron en el desarrollo de estos instrumentos, en que sus principios de funcionamiento podían ser aplicados para propósitos geodésicos y navegación. Así, durante los años --cuarentas, los instrumentos como el Decca y el Loran habían sido desarrollados para uso comercial en el campo de la navegación --remota, aunque para ese mismo tiempo ya existían el Shoran como sistema de aeronavegación al sistema componente de medición de líneas de longitud.

Cabe hacer la aclaración de que, el proceso del radar implica la medida de ángulos así como la de distancias. Ambas exigencias, aunque realizadas por el mismo equipo, son esencialmente diferentes y por lo tanto deben considerarse por separado.

2.3.1 Principios Básicos del Radar.

En el funcionamiento del radar el transmisor emite impulsos cortos que al incidir sobre el objeto, son reflejados como ecos débiles que capta el receptor, midiendo el tiempo transcurrido en el doble viaje y convirtiendolo en distancia mediante un artificio de base de tiempos, que actúa junto con un dispositivo de presentación visual (básicamente un tubo de rayos catódicos).

Se ha visto que para unas dimensiones dadas de antena, el alcance es mayor si la longitud de onda es pequeña, físicamente esto sucede así porque el haz es estrecho. Las ondas de radio son solamente una forma de la radiación electromagnética, las más largas, utilizadas en radio; tienen una longitud de varios kilómetros, y las más cortas, de unos pocos milímetros. En radar el interés se centra solamente en la banda que se extiende de los 10 a 15m., ocupada en las instalaciones más antiguas hasta los 8mm de las más recientes.

2.5.2 Principio de la Medida de la Distancia.

Si damos una palmada a una distancia mediana de una gran superficie vertical, se oirá el eco del sonido original después de un corto intervalo de tiempo, el mismo efecto se observa ---

cuando se toca la sirena de un buque en las proximidades de --
acantilados escarpados. Como el sonido recorre aproximadamente
1 kilómetro en tres segundos, si el eco se escucha después de
segundo y medio, cualquiera que sea lo que refleja el sonido -
debe estar a un cuarto de kilómetro de distancia, en segundo y
medio el sonido habrá recorrido medio kilómetro; un cuarto de
kilómetro hasta el acantilado y un cuarto de kilómetro a la --
vuelta. Tal principio es la base de la medida de distancias -
por radar, si bien en este se utilizan las ondas de radio en -
lugar de las ondas sonoras.

En radar se emite un corto impulso de radiación electro-
magnética que se propaga alejándose del punto de emisión. Una
pequeña parte de la energía es reflejada por cualquier objeto
que encuentra en su camino, esta energía reflejada, o eco del
radar, se capta mediante un receptor de gran sensibilidad.

Suponiendo que se ha medido el tiempo transcurrido entre
la emisión del impulso y la llegada del eco al receptor, y que
resulta ser de T segundos, si c es la velocidad de las ondas
de radio, la señal de ida y la del eco han recorrido entre las
dos una distancia Tc . Por tanto, la distancia al objeto es -
 $1/2 Tc$.

En la práctica, debido a la enorme velocidad de propaga-
ción de las ondas de radio, los intervalos son mucho más peque-

ños que un segundo. Para la unidad de tiempo es preferible utilizar el microsegundo ($1\mu \text{ seg} = 10^{-6} \text{ seg}$).

Así, por ejemplo, tomando como unidades el metro y el microsegundo, la distancia al objeto resulta ser de $1/2 \times 300T = 150 T$ metros. La determinación de la distancia es, por consiguiente, cuestión de medir con precisión el intervalo de tiempo T . Aun en distancias relativamente grandes, T es muy pequeño, así, si un objeto está a 150 km., T será solo $1000\mu \text{ seg}$, es decir, una milésima de segundo.

En la práctica, el fundamento de casi todas las medidas de tiempo en radar es el tubo de rayos catódicos, asociado con una base de tiempos. La Fig. 7 muestra la sucesión de hechos que se producen cuando un transmisor de radar emite impulsos - de $2\mu \text{ seg}$. de duración a razón de 500 veces por segundo.⁽²⁾

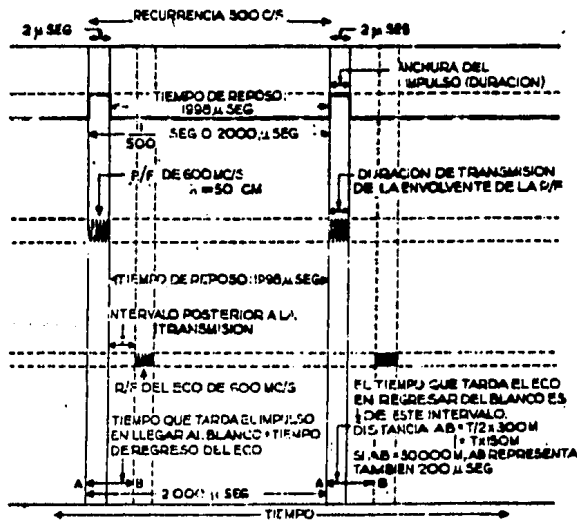


FIG. 7 RELACIONES ENTRE ANCHURA DEL IMPULSO, RECURRENCIA, ENVOLVENTE DE RF Y ECO, EN FUNCION DEL TIEMPO. 39

2.3.3 Instrumentos que Utilizan Ondas Medias o Largas.

Los instrumentos que utilizan ondas medias o largas, poseen cierto rango que difieren de las descritas anteriormente. El sistema que emplea es el de onda de transmisión continua con comparación de fase técnica para distancias o diferencia-distancia.

El equipo de onda larga emplea una de dos técnicas básicas de medición:

- i) El método de una frecuencia (o hiperbólico).
- ii) El método de dos frecuencias.

En el primero, dos aparatos transmiten señales de la misma frecuencia desde los extremos de una línea base. Un receptor de orientación múltiple situado en cada una de las estaciones de posición desconocida compara las diferencias de fase de las señales de llegada. Los lugares geométricos de los puntos con iguales diferencias de fase originan una familia de hipérbolas cuyos focos están en las estaciones de la línea base. La transmisión a la estación exploradora, o de orientación múltiple, procedente de una segunda línea base, proporciona otra serie de hipérbolas y sus intersecciones se convierten en puntos de posición conocida.

En el método de dos frecuencias, dos señales de diferentes frecuencias transmitidas desde una estación exploradora son recibidas y retransmitidas en la estación base. Los ángulos de fase con las señales retornadas se comparan en la estación de exploración y en los puntos base para establecer una serie de círculos concéntricos intersectantes que tienen sus centros en la localización base a fin de fijar puntos de posición conocida. En cualquiera de los dos procedimientos, se reduce la precisión al disminuir los ángulos de intersección entre las hipérbolas o las circunferencias.

La propagación de energía electromagnética en la longitud media o larga puede ser afectada por cambios de la velocidad, a la conductividad del terreno o por pasar las ondas propagadas por encima del agua; igualmente la refracción, desde la ionósfera, afecta severamente al sistema causando, como se dijo anteriormente, bajas sensibles en la precisión. Empero, estos defectos de onda son compensados por las bandas que siguen la curvatura de la Tierra en este caso, y gracias al importante poder de rendimiento caracterizado por estos sistemas se prolonga el significado de la distancia máxima medible. (3)

2.3.4 El Sistema de Navegación Decca.

Este sistema se proyectó originalmente para utilizarlo en la navegación aérea, con el que un avión con el equipo ade-

cuando pudiera determinar su posición con precisión. Este sistema se extendió rápidamente para incluir la navegación marina y un perfeccionamiento más reciente fue el invento de un registrador de ruta automático para usarse en los barcos o en los aviones. Actualmente el sistema se aplica a la topografía y a los levantamientos de mapas, es muy utilizado en zonas remotas.

La teoría de su operación necesita de algunos instrumentos, si dos estaciones separadas por la distancia S , generan ondas de radio continuas de igual frecuencia, sincronizadas rígidamente, el área que rodea las estaciones puede considerarse como cubierta por líneas de diferencia constante de fase, (Fig. 8). Las líneas, cuando se dibujan en un mapa, generalmente representan una diferencia de fase igual a cero y que pueden determinarse gráficamente o en forma analítica, en función de coordenadas. Se usan hojas con un rayado especial para hacer la conversión de las lecturas instrumentales a coordenadas geográficas. En dichas hojas se dibuja generalmente por métodos gráficos y algunas veces se supone que la Tierra es plana. Aún cuando los levantamientos se extiendan 160 km, la diferencia entre las líneas reales y las calculadas es pequeña, y es posible convertir éstas posiciones a las equivalentes a la proyección del mapa. Este método tiene sus desventajas, especialmente respecto a la precisión, pero es más rápido que cualquier otro método que emplee cálculos.

Los círculos se dibujan con el mayor cuidado, usando cada estación como centro por turno, y el intervalo radial es igual a un múltiplo cómodo de una longitud de onda, luego se enumeran los círculos a partir del centro. Las intersecciones de dos círculos cualesquiera indican las posiciones en las que las diferencias de fase son iguales a cero. De la figura, suponiendo que se coloca un aparato para medir la diferencia de fase en una intersección 'a' de dos círculos dibujados tomando como centros a la estación maestra y la esclava respectivamente. Si el medidor se mueve a lo largo de un círculo a la siguiente intersección b hará una revolución. Si ahora se mueve en uno de los otros círculos hacia c hará una revolución en la dirección opuesta; por lo tanto, c y a tienen la misma diferencia de fase. Así, si todas las diagonales de las áreas formadas por las intersecciones de los círculos se unen de manera que corten la base en ángulos rectos, las líneas así formadas son hipérbolas de igual diferencia de fase.

Sí A y B son las estaciones y si un medidor de diferencia de fases se moviera a lo largo de una de las hipérbolas de la hoja la lectura sería constante. El que estas curvas deben ser hipérbolas resulta evidente, porque la diferencia de fase ϕ en cualquier posición N, que dista r_A de A y r_B de B es:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (S + r_A - r_B)$$

en la que λ es la longitud de onda de la señal transmitida.

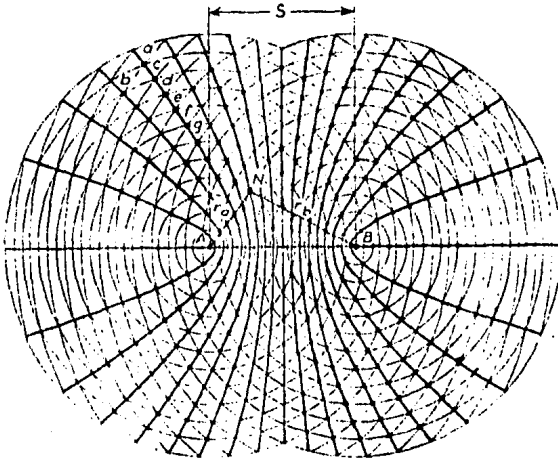


FIG. 8 TEORIA Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE COMPARACION DE FASE PARA ONDA CONTINUA. LOS CIRCULOS REPRESENTAN LAS ONDAS DE RADIO Y LAS HIPERBOLAS REPRESENTAN LINEAS DE DIFERENCIA DE FASE CONSTANTE.

2.3.5 Equipo.

El equipo básico en todos los tipos de trabajo consta, en cada estación, de una fuente de energía, un transmisor, una unidad de control y un mástil para antena. La estación receptora debe tener un mástil para antena, el receptor los decímetros (instrumentos comparadores de fase) y las hojas con el rayado de las coordenadas hiperbólicas.

El equipo topográfico incluye un dispositivo que permite determinar la fracción de carril (intervalos que en la práctica corresponden aproximadamente, en la línea que une a la estación esclava con la maestra, a la mitad de la longitud de onda de la señal emitida) con más precisión que en el sistema para la navegación. Además, los trabajos topográficos se hacen generalmente a la luz del día cuando las condiciones de operación son mejores, y las distancias rara vez exceden de 300 km. Los usos del equipo son variados. Pueden emplearse para la determinación de un número de estaciones en el terreno para usarse como sistema de apoyo en trabajos geodésicos o para la medida de -- distancias. El Almirantazgo usa este sistema y uno de sus perfeccionamientos es el "Lambda", que se usa para los levantamientos hidrográficos, para determinar la posición del barco cuando se hacen los sondeos. El equipo Decca es muy semejante en teoría al sistema de navegación, excepto en que las estaciones son gene

ralmente móviles, puede montarse en camiones junto con los mástiles seccionales de las antenas. Estos varían de 21 a 55m de altura y los alcances varían de 50 a 390km , lo que depende de la altura de la antena, de la potencia del transmisor y de la conductividad de la superficie sobre la que se transmiten las señales. Se utiliza una contraantena con las antenas, que está compuesta de 100 alambres igualmente separados radialmente del mástil. El peso total de los mayores equipos móviles, sin el generador, es de aproximadamente 3630 kg. La estación completa puede comenzar a funcionar dentro de las 3 horas después de llegar a un lugar si se emplean tres operarios expertos. -- Aunque éste puede parecer un procedimiento lento, debe recordarse que el área total de operación puede exceder de 52,000 km² -- sí solamente se emplean tres estaciones, y que éstas se puedan mover rápidamente de un lugar a otro.

2.3.6 El Sistema Decca de Dos Direcciones.

Este equipo topográfico se proyectó principalmente para levantamientos hidrográficos. Tiene la restricción de que solamente una posición se puede marcar a un tiempo, porque la estación maestra está montada en el barco. Las dos estaciones de la base en la costa, esclavas, completan el equipo. La ventaja del método es la mayor precisión y límites más amplios de operación, el rayado hiperbólico se reemplaza por coordenadas-

circulares que tienen como base las dos estaciones de la costa, (Fig. 9) y hay que instalar y mantener una estación menos.

El receptor y los decímetros se montan en un barco, que además tiene que equiparse con un mástil para antena relativamente alto.

El invento de este sistema "Lambda", tiene un radio de acción de 240 a 800 km., lo que depende del nivel de ruido regional. El error máximo en cualquier punto se dice que es de 11m. El equipo es, empero, susceptible de producir un error sistemático si las líneas de la trayectoria de la transmisión quedan en terreno diferente y, en consecuencia, las estaciones esclavas deben colocarse tan cerca de la costa como sea posible. Además, debido a la proximidad del receptor a la estación maestra, se produce otro error sistemático y por tanto tiene que efectuarse una calibración inicial colocando el barco a distancias conocidas de las estaciones esclavas. La principal característica de ese sistema, que difiere del Decca ordinario de dos direcciones, es que es posible hacer la identificación del carril sin tener que usar mucho equipo extra.

Como ya se vió anteriormente, todos estos sistemas están controlados por radio o radar y pueden dividirse en tres categorías:

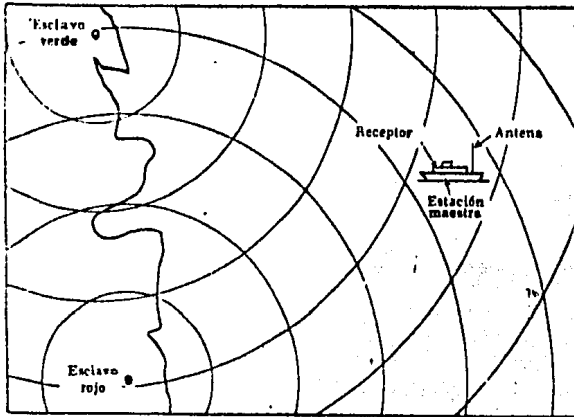


FIG. 9 EL DECCA DE "DOS DIRECCIONES" LOS DECOMETROS Y LA ESTACION MAESTRA ESTAN A BORDO EN EL BARCO.

Sistema de Alta Frecuencia (arriba de 100 Mcs).

Estos están restringidos a los levantamientos en los que se pueden hacer visuales, pero su alcance se extiende enormemente si se coloca el receptor en un avión. El alcance máximo registrado es de 880 km. El más importante de estos sistemas es el Hiram que es una modificación del Shoran. Este sistema es capaz de dar precisiones de 1 en 60,000 en distancias de varios cientos de kilómetros.

Sistema de Frecuencias Medias (de 1 a 100 Mcs).

Estos son tres sistemas americanos, el E.P.I., el Raydist

y el Lorac, los últimos dos se cree que son semejantes al Rana, inventado por un francés (M. Honore), que se ha utilizado para levantamientos topográficos. Sin embargo, se ha publicado poco sobre los resultados obtenidos con el uso del Lorac y Raydist.

El E.P.I. emplea un sistema de pulsos de 1.85 Mcs y las distancias se miden de un barco a dos estaciones de la costa. Se considera que es capaz de una elevada precisión, dentro de los 5m en las condiciones óptimas a distancias de decenas de kilómetros pero el equipo es muy pesado.

El Raydist es un sistema de comparación de fases de onda continua que trabaja en la región de 2 a 15 Mcs y que se puede utilizar para calcular las posiciones de las intersecciones de un sistema hiperbólico o como aparato para medir directamente distancias. El sistema probablemente es de un orden de precisión muy elevado, pero con una ambigüedad posiblemente mayor -- que el Decca.

El Lorac es también un sistema de comparación de fases de onda continua, pero el método para generar las coordenadas difiere en detalles del empleado en el Raydist. El equipo usado en ambos sistemas es relativamente ligero. El Raydist, tipo E. R., tiene estaciones para la costa que pesan solamente 181 kg.

Sistemas de Baja Frecuencia (de menos de 1 Mcs).

El único sistema del que se han publicado datos disponibles es el fabricado por Decca.

Para completar la serie de sistemas ya mencionados, la Decca Navigator Co., ha creado un tercer sistema, "Hi Fix". Este también es un sistema de comparación de fase de ondas continuas, pero que funciona a una frecuencia más elevada (de aproximadamente 2 Mcs). Se dice que tiene una precisión de $\pm 1\text{m}$. en condiciones óptimas al alcance máximo que es de aproximadamente 32 km., aunque puede aumentarse utilizando una potencia mayor en los transmisores. (4)

Estos instrumentos, debido a su baja precisión, son poco empleados en levantamientos topográficos y se utilizan con mayor frecuencia en levantamientos de tipo hidrográfico. A continuación se muestra el Equipo EDM (Tabla II.3).

TABLA II-3

INSTRUMENTOS EDM RADIOELECTRICOS DE ONDAS LARGAS

INSTRUMENTO	A P L I C A C I O N	ALCANCE (km)
Autotape	Levantamientos hidrográficos de precisión	100
Decca	Levantamientos y navegación de mediano alcance	500
Hi-Fix	Levantamientos hidrográficos de mediano alcance	200
Lambda	Levantamientos de grandes distancias	750
Loran-C	Navegación de muy largo alcance	2 000
Omega	Navegación de alcance mundial	8 000
Raydist	Levantamientos hidrográficos de mediano alcance	200

REFERENCIAS

- 1.- Ruiz Boullose R.
LASER
Editorial UNAM
México 1985.
- 2.- RSH Building, HE Pehiose
FUNDAMENTOS Y PRACTICAS DEL RADAR
Editorial Aguilar
México 1965.
- 3.- Brinker Russell, Wolf Paul R.
TOPOGRAFIA MODERNA
Editorial Harla
México.
- 4.- Sandover J.A.
TOPOGRAFIA GENERAL
Editorial CECSA
México 1965.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Brinker Russell, Wolf Paul R.
TOPOGRAFIA MODERNA
Editorial Harla.
México.
- 2.- Anderson James Mc Murry & Edward M. Mikhali
INTRODUCTION SURVEYING
Editorial Mc Graw Hill
México 1985.

- 3.- Blachut J. Teador, Chrzunowski Adam, Saastamoinen H, Jouko
CARTOGRAFIA Y LEVANTAMIENTOS URBANOS
Catálogo de Publicaciones de la Librería del Congreso
México 1979.
4. Laurilla Simo H.
ELECTRONIC SURVEYING NAVIGATION
N.Y.: J.Wiley C. 1976.
Editorial A. Wiley Interscience Publication ISB.
- 5.- Sandover J.A.
TOPOGRAFIA GENERAL
Editorial CECSA
México 1964.

3. CORRECCION A LOS E.D.M.

3.1 INFLUENCIA DE LOS FACTORES METEREOLÓGICOS.

En todos los instrumentos EDM, la distancia medida depende de la velocidad de las ondas (V) a través del medio por el cual se propagan y está en función de la velocidad en el vacío (Vo) y el índice de refracción (n) para el medio específico.

$$V = \frac{V_0}{n} \dots\dots\dots (12)$$

3.1.1 Refracción.

Cuando una onda electromagnética que viaja a través de un medio y pasa a otro medio con diferentes propiedades (diferente densidad) su dirección se modifica, es decir la onda electromagnética se desvía, a esta desviación se le llama refracción y se manifiesta por el cambio de la velocidad de la luz cuando pasa de un medio a otro. Cuando la luz pasa de un material menos denso con índice de refracción n_1 , a otro medio más denso con índice de refracción n_2 , la onda es desviada hacia la normal. La cantidad de desviación está dada por la Ley de Snell.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{Sen } \theta_1}{\text{Sen } \theta_2} \dots\dots\dots (13)$$

donde:

θ_1 = ángulo de incidencia con respecto a la normal.

θ_2 = ángulo de refracción.

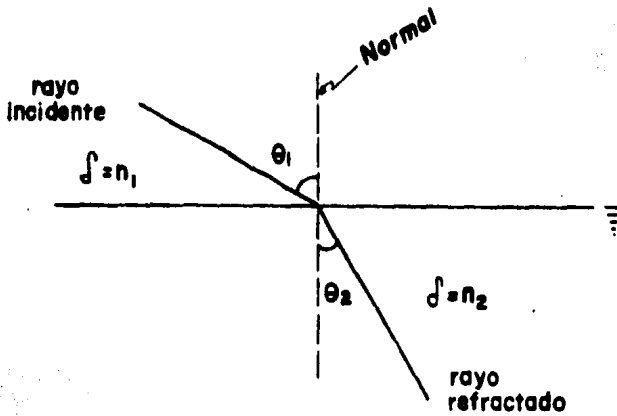


FIG. 10 FENOMENO DE REFRACCION

3.1.2 Índice de Refracción.

El índice de refracción en cualquier medio está en función de la temperatura, de la presión atmosférica, de la composición química del medio y de la presión parcial del vapor de agua (humedad) la cual a su vez depende de la temperatura y de la humedad relativa. Así, el conocimiento de las condiciones atmosféricas anteriores es necesario para determinar el índice de refracción y los efectos consecuentes sobre la velocidad de propagación de la onda en el medio.

Debido a la distancia y la influencia que tiene la atmósfera sobre el tipo de ondas utilizadas, esto es, mayor absorción de ondas luminosas para el tipo electroóptico y mayor influencia de la humedad en las microondas, se utilizan distintas expresiones para el cálculo del índice de refracción, según el equipo EDM a utilizar.

Para las ondas de luz visible y casi infrarroja es necesario calcular primeramente el índice de refracción a una atmósfera estándar; esto es, temperatura de 0°C, presión de 760 mmHg y 0.03% de bióxido de carbono y de acuerdo a la fórmula de Barrel y Sears, tenemos que el índice de refracción será:

$$n_g = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{\lambda^2} + \frac{0.068}{\lambda} \right) 10^{-6} \dots \dots \dots (14)$$

donde:

n_g : índice de refracción para la atmósfera estándar.

λ : longitud de onda de la radiación portadora y está dada en micrómetros.

Si la temperatura, la presión y la humedad difieren de las condiciones ideales, entonces el índice de refracción para las ondas de luz visible y casi infrarroja, se calcula por:

$$n_a = 1 + \frac{0.359474 (n_g - 1) p}{273.2 + t} - \frac{1.5026 e (10^{-5})}{273.2 + t} \dots (15)$$

donde:

n_a = índice de refracción en las anteriores condiciones.

p = presión atmosférica (mmHg)

t = temperatura del medio (°C)

e = presión del vapor (mmHg).

La humedad representada por la presión del vapor de agua en el segundo término de la ecuación (15) es muy pequeño, por lo que generalmente se ignora. Pero para medidas de alta precisión, se puede dar un valor aproximado de 0.5ppm para sustituirlo en el segundo término de la ecuación (15), siendo preferible su cálculo. {1}

El procedimiento para calcular la presión del vapor de agua (e) se realiza por medio de un psicómetro que consiste en un par de termómetros, uno de los cuales tiene el depósito de mercurio cubierto con una muselina (tela ligera y medio transparente) o gasa mojada en agua destilada que a modo de mecha humedece el depósito. En el momento de la medición se destapan los dos termómetros al aire a velocidad de 2 m/seg.

El termómetro húmedo (T_h), al enfriarse su depósito por

la evaporización del agua indicará una temperatura inferior a la del termómetro seco (T_s). La intensidad de evaporización y por lo tanto, el enfriamiento dependerá de la humedad existente. Si el medio ambiente está saturado ($h =$ humedad relativa en %) no habrá evaporización y ambos termómetros darán la misma temperatura. La diferencia de los dos termómetros se llama depresión del termómetro húmedo y es un índice del grado de saturación, esto es:

$$\Delta t = (T_s - T_h) \dots\dots\dots (16)$$

La expresión que nos determina el valor de e esta dada por:

$$e = E' - 6.6 \times 10^{-4} (1 + 1.5 \times 10^{-3} (T_h - 237.15)) P \cdot \Delta t \quad (17)$$

donde:

E' = presión de saturación del vapor de agua o punto de rocío a la temperatura húmeda (mmHg).

P = presión atmosférica en el momento de la medición - (mmHg).

Δt = índice del grado de saturación ($^{\circ}\text{C}$)

Los valores de E' están tabulados en las tablas meteorológicas, en base a la fórmula (15.1) ó (15.2).

Ejemplo:

Un EDM electroóptico de luz infrarroja tiene una $\lambda = 0.91\mu\text{m}$, teniendo una frecuencia modulada de 24.5MHz. Las condiciones atmosféricas en el instante de la medición fueron de: temperatura de 27°C, presión atmosférica de 755.1 mmHg. y una presión de vapor de 3.8mmHg. Determinar la modulación de la onda del rayo bajo estas condiciones.

Solución:

De la ecuación (14):

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{(0.91)^2} + \frac{0.068}{(0.91)^4}) 10^{-6} = 1.0002936$$

De la ecuación (15):

$$n_a = 1 + \frac{(0.359474)(1.0002936-1)(755.1)}{273.2 + 27.0} - \frac{(1.5026)(3.8)(10^{-5})}{273.2 + 27.0}$$
$$= 1.00026356$$

La velocidad de la luz infrarroja en la atmósfera está dada por la ecuación (12), donde $n = n_a$, entonces:

$$V_a = \frac{299792.5}{1.00026356} = 299713.5 \text{ km/seg.}$$

Entonces de la ecuación (1):

$$= \frac{299713.5}{(24.5)10^6} = 0.012233204 \text{ km.} = 12.233204\text{m.}$$

Cabe aclarar que las microondas son más sensibles que las ondas luminosas a la humedad y el índice de refracción de la atmósfera, para las microondas se calcula de acuerdo a la fórmula de Essen y Froome:

$$nr = 1 + \left(\frac{103.49 (p-e)}{273.2+t} + \frac{86.26}{273.2+t} \left(1 + \frac{5748}{273.2+t} \right) e \right) 10^{-6} \quad (18)$$

donde:

nr = índice de refracción atmosférica en las condiciones "t"

p = presión atmosférica (mmHg).

e = presión del vapor (mmHg).

t = temperatura (°C).

La velocidad de las microondas en el aire está dada por la ecuación (12), donde $n = nr$.

Ejemplo:

La frecuencia modulada para una transmisión por microondas es de 10Mhz a una temperatura de 15.4°C, la presión atmosférica es de 645 mmHg y una presión de vapor de 3.8 mmHg. Calcular la longitud de onda modulada bajo estas condiciones.

Solución:

De la ecuación (18) tenemos:

$$nr = 1 + \left(\frac{103.49 (645 - 3.8)}{273.2 + 15.4} + \frac{86.26}{273.2 + 15.4} \right) \left(1 + \frac{5748}{273.2 + 15.4} \right) 3.8 \cdot 10^{-6}$$

$$nr = 1.00025369$$

De la ecuación (12) tenemos:

$$V = \frac{299792.5}{1.00025369} = 299716.5 \text{ km/seg.}$$

Y por la ecuación (1):

$$= \frac{19716.5}{(10)(10^{-6})} = 0.02997925 \text{ km.} = 29.97925 \text{ m.}$$

Los ejemplos anteriores nos indican que al variar las condiciones atmosféricas, la velocidad de la onda modulada se altera, resultando un cambio correspondiente en la modulación de la longitud de onda y en consecuencia en la medición unitaria básica del instrumento EDM.

El cálculo a partir de las ecuaciones (15) y (18) es necesario solamente en mediciones de distancias de precisión, en el trabajo de campo, pueden utilizarse los monogramas para las correcciones del índice de refracción que habitualmente son su

ministrados por los fabricantes junto con el instrumento EDM ya que los cálculos son laboriosos.

Los monogramas se preparan sobre la base de las ecuaciones (15) o (18) y el valor aceptado de calibración del índice de refracción. Los monogramas dan correcciones de la distancia medida menos precisa, alrededor de dos partes por millon (2ppm) - que las que se obtienen de cálculos rigurosos.

Algunos instrumentos EDM especialmente los de sistema -- electroóptico, tienen sistemas de corrección automáticos propios que requieren solamente que el observador introduzca en el instrumento los resultados de las mediciones meteorológicas.

Debe recordarse, sin embargo, que un sistema completamente automatizado de correcciones da resultados precisos solamente cuando las correcciones atmosféricas a lo largo de la línea medida son las mismas que en la estación del instrumento. En estos casos siempre son necesarios los cálculos manuales o correcciones adicionales ya que la condición anterior raramente se cumple.

3.2 CORRECCION DE CERO.^{2}

Los centros eléctricos de los instrumentos EDM no coinciden generalmente, con el centro de la estación sobre la cual se

instala el instrumento, centro geométrico. La distancia interna recorrida por las ondas electromagnéticas en los instrumentos - es generalmente más larga que la distancia directa entre el pun to de llegada de la señal y el centro de la estación. Esta dife rencia puede ser bastante grande y, por ejemplo, en algunos mo- delos de Telurómetro o Geodímetro es de alrededor de 30cm. Los constructores de instrumentos EDM proveen siempre información - sobre el valor de la corrección de cero que debe añadirse a la distancia medida para compensar esa diferencia. La mayoría de los nuevos instrumentos están calibrados de tal manera que la - corrección de cero es igual a cero. Se ha constatado, sin em- bargo, que el valor de la corrección de cero puede cambiar con el uso prolongado del instrumento. El cambio es generalmente - pequeño en los instrumentos electroópticos (unos pocos milíme- tros como máximo), pero puede llegar a ser del orden de varios centímetros en los instrumentos a microonda. Por lo tanto, la corrección de cero debería controlarse frecuentemente midiendo varias distancias sobre una base de calibración. Se recomiendan distancias entre 50 y 500m. para la calibración de los instrumen- tos eletroópticos, y entre 200 y 1000m. para instrumentos a mi- croondas. Si no se dispone de distancias conocidas, el valor de la corrección de cero puede determinarse mediante el método de - las distancias subdivididas.

El método requiere una línea recta en un área plana con unos puntos marcados digamos puntos A, B, C y D, como se mues--

tra en la figura (11), Se miden la distancia total AD y las parciales AB, BC, CD, AC y BD con el instrumento por calibrar.

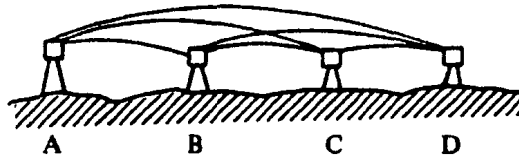


FIG. 11 DETERMINACION DE LA CORRECCION DE CERO UTILIZANDO EL METODO DE LAS DISTANCIAS SUBDIVIDIDAS.

Considerando que la corrección de cero Z_0 es la misma (constante) para cada distancia medida, su valor puede ser calculado comparando la distancia total y la suma de las distancias parciales, lo cual significa:

$$AD - (AB + AC + CD) = 2Z_0$$

Sí las distancias en la Fig. (11) fueron medidas para todas las combinaciones, el valor de Z_0 podría también calcularse por las comparaciones:

$$AC - (AB + BC) = Z_0$$

$$BD - (BC + CD) = Z_0$$

En la práctica es recomendable usar la línea con un mínimo de cuatro subdivisiones medidas en todas sus combinaciones y que el valor de Z_0 sea calculado usando el método de compensación por mínimos cuadrados. Por supuesto, las distancias medidas deberían corregirse mediante el índice de refracción, pendiente, etc., antes de calcular Z_0 .

Algunos instrumentos EDM presentan una relación entre el valor de Z_0 y el valor de la diferencia de fase U , mostrando un cambio cíclico cuando cambia la distancia sobre el rango de la media longitud de onda de medición. El cambio cíclico puede descubrirse midiendo una distancia conocida y variando la distancia de medición en tramos, por ejemplo, iguales a $1/20$ de la media longitud de onda.

Si las mediciones repetidas de diferentes distancias muestran una relación pronunciada entre los valores Z_0 y U deben aplicarse diferentes correcciones del cero para diferentes valores de U en las mediciones de campo, utilizando un ábaco o una tabla adecuada. En la mayoría de los casos, sin embargo, los cambios de Z_0 están dentro de la precisión de sus determinaciones y un valor promedio de Z_0 debería aplicarse como una corrección constante independiente del valor de U usado en cada medición.

REFERENCIAS

- 1.- Anderson James Mc Myrry & Edward M. Mikali
INTRODUCTION SURVEYING
Editorial Mc Graw Hill
México 1985.
- 2.- Blachut J. Teodor, Chrzanowski Adam, Saastamoinen H. Jouko
CARTOGRAFIA Y LEVANTAMIENTOS URBANOS
Catálogo de Publicaciones de la Librería del Congreso
México 1979.

4. ANALISIS DE LA PRECISION DE EDM. (1)

4.1 ECUACION DE ERROR.

Si las ecuaciones (6) y (10) se introducen en (11) la distancia reducida S_0 puede expresarse en la forma:

$$S_0 = U_1 \frac{n_1}{n_2} + m \frac{c}{2nf} + Z_0 + \Delta S \dots\dots\dots (19)$$

La varianza $\sigma_{S_0}^2$ de la distancia S_0 puede obtenerse por derivación parcial de la ecuación (19), y aplicando las reglas fundamentales de propagación de error se obtiene:

$$\sigma_{S_0}^2 = \sigma_U^2 + \left(\frac{m}{2nf}\right)^2 \sigma_c^2 + \left(\frac{m}{2nf^2}\right)^2 \sigma_f^2 + \left(\frac{m}{2n^2f}\right)^2 \sigma_n^2 + \sigma_{Z_0}^2 + \sigma_{\Delta S}^2 \dots\dots\dots (20)$$

La ecuación (20) puede simplificarse por una aproximación $2S = m\lambda = mc/(nf)$, y el resultado es:

$$\sigma_{S_0}^2 = \sigma_U^2 + S^2 \left\{ \left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)^2 \right\} \sigma_{Z_0}^2 + \sigma_{\Delta S}^2 \dots\dots\dots (21)$$

En las ecuaciones anteriores, σ_U representa la desviación estándar de todo el valor de U_1 (n_1/n_2). Dado que U_1 corresponde generalmente a una distancia muy corta, la influencia de los errores en n_1 y n_2 sobre la precisión de U_2 puede despreciarse.

La precisión de EDM es generalmente dada en la bibliografía especializada según fórmula general.

$$\sigma_S = \pm a \pm bS \dots\dots\dots (22)$$

o en una forma más rigurosa:

$$\sigma_S^2 = a^2 + b^2S^2 \dots\dots\dots (23)$$

La ecuación (21) puede reducirse a la forma (23) sustituyendo:

$$\sigma_U^2 + \sigma_{Z_0}^2 = a^2 \dots\dots\dots (24)$$

$$\left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)^2 = b^2 \dots\dots\dots (25)$$

donde:

- σ_c es el error de la velocidad de propagación en el vacío.
- σ_f es el error de la frecuencia de modulación.
- σ_n es el error del índice de refracción.
- σ_u es el error de la diferencia de fase.
- σ_{Z_0} es el error de la corrección de calibración (error de cero).

El error $\sigma_{\Delta S}$ de las reducciones geométricas no está incluido en las expresiones (22) y (23).

Se ve claramente ahora, porque las precisiones de los instrumentos EDM, como se muestran en las tablas (II-1), (II-2) y (II-3), consisten de dos números; el primer número representa el valor de "a" y el segundo, el valor de "b" en ppm.

Las ecuaciones (24) y (25) muestran todas las fuentes de error en EDM.

4.2 ERROR DE VELOCIDAD.

El valor de "c", (ec. 1) fué aceptado con una desviación estándar de $\sigma_c = 0.4$ km/s. Resultados recientes confirman el valor de "c" y dan la desviación estándar $\sigma_c \leq 0.1$ km/s. Esto corresponde a un error relativo de 0.3 ppm. El error es despreciable para las aplicaciones en levantamientos del EDM. Su influencia es de una naturaleza constante, introduciendo un cambio de escala en la determinación absoluta de distancias.

4.3 ERROR DE MODULACION DE LA FRECUENCIA.

La frecuencia de las oscilaciones se mide en unidades de 1 hertz (Hz) y :

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo}$$

$$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

$$10^6 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}$$

$$10^9 \text{ Hz} = 1 \text{ GHz}$$

Para alcanzar, por ejemplo, una longitud de onda modulada de 10m., deben producirse oscilaciones de la señal con una frecuencia de alrededor de 30 MHz (Ec. 3):

La frecuencia de modulación puede ser calibrada con una precisión de alrededor de 0.1 ppm y puede ser estabilizada durante el uso del instrumento EDM dentro de unos pocos Hz, si el circuito de oscilación que incluye cristales de cuarzo, se mantiene a una temperatura constante. Si no se controla la temperatura, habrá una deriva de la frecuencia produciéndose errores de hasta 10 ppm o más. La mayoría de los instrumentos EDM tienen un calentador interior con un termostato y requieren un periodo de calentamiento. Aún con la fuente de calor, la frecuencia puede variar por envejecimiento de los cristales de control.

Algunos instrumentos a microonda muestran una variación de alrededor de 50 Hz por año que, por ejemplo, para una frecuencia de modulación de 10 MHz, produciría un error de 5 ppm. Es por tanto recomendable que la frecuencia sea controlada al menos una vez al año o bien cada mes, si el instrumento se va a usar en condiciones meteorológicas adversas. Los métodos de estabilización de frecuencia y de calibración pueden diferir de un modelo de instrumento EDM a otro. Los usuarios de instrumentos EDM deberían consultar con el fabricante sobre los requerimientos para la calibración de frecuencia de sus instrumentos.

4.4 ERRORES DE INDICE DE REFRACCION.

La influencia de los errores σ_p , σ_t y σ_e en mediciones de la presión barométrica p , temperatura t y presión de vapor de agua "e" puede calcularse aplicando la ley de propagación de errores a las ecuaciones (15) y (18) obteniendo para mediciones electroópticas de distancias.

$$\sigma_{na}^2 = \left[\frac{0.359474 (ng - 1)p}{(273.20 + t)^2} \right]^2 \sigma_t^2 + \left[\frac{0.359474 (ng - 1)}{273.20 + t} \right]^2 \sigma_p^2 \dots (26)$$

Por ejemplo, para $\sigma_t = 1^\circ\text{C}$ y $\sigma_p = 4.7 \text{ mmHg}$, σ_n/n varía entre 1.2 ppm a 1.8 ppm para variaciones de temperatura desde -30°C a $+30^\circ\text{C}$ y para "p" variando desde 735.0 mmHg a 802.6 mmHg. En condiciones normales, un error de 1°C produce un error de 1 ppm en "n" y 0.75006 mmHg (= 1 mbar) produce un error de 0.3 ppm. Como se dijo anteriormente, la influencia de la presión del vapor de agua puede despreciarse en mediciones electroópticas, si los instrumentos se calibran en condiciones típicas de humedad.

La propagación de errores en mediciones a microondas da:

$$\begin{aligned} \sigma_{nr}^2 = & \left(\frac{103.490}{273.2 + t} \cdot 10^{-6} \right)^2 \sigma_p^2 + \left(- \frac{103.49 p}{(273.2 + t)^2} \cdot 10^{-6} + \right. \\ & \left. + \frac{17.225 e}{(273.2 + t)^2} \cdot 10^{-6} - \frac{0.98658 e}{(273.2 + t)^3} \right)^2 \sigma_t^2 + \\ & \left. + \left(\frac{0.495959}{(273.2 + t)^2} - \frac{17.225}{273.2 + t} \cdot 10^{-6} \right)^2 \sigma_e^2 \dots \dots \dots (27) \end{aligned}$$

Esta fórmula conduce a las siguientes conclusiones: un error de 1°C en T ($T = 273.2^\circ\text{C} + t$) producirá un error σ_n/n que varía desde 0.8 a 2 ppm para valores extremos de p, T y e, con un valor de $\sigma_n/n = 1.2$ ppm en las condiciones atmosféricas normales; un error de 0.75006 mmHg en p producirá un error $\sigma_n/n = 0.3$ ppm dentro del rango de temperaturas que va de -30°C a $+30^\circ\text{C}$.

La influencia de los errores en la determinación de "e" es muy crítica en mediciones a microonda. Por ejemplo, para $t = 0^\circ\text{C}$ es $\sigma_n/n = 5\sigma_e$ en ppm y para $t = 30^\circ\text{C}$ el error $\sigma_n/n = 4\sigma_e$ en ppm.

El valor de σ_e puede calcularse aplicando la regla de propagación de errores a la ecuación (17) en su forma reducida, obteniéndose:

$$\sigma_e^2 = \sigma_E^2 + (0.933 \sigma_{\Delta t})^2 \dots\dots\dots (28)$$

En la práctica, las condiciones meteorológicas son medidas solamente en ambos extremos de la distancia medida, o a veces en un solo extremo. En muchos casos, particularmente en mediciones en terreno accidentado, la temperatura media a lo largo de la línea medida puede diferir en varios grados centígrados del promedio de los valores observados en los extremos de la línea. Los levantamientos en áreas urbanas, donde la radiación

calórica de las áreas pavimentadas y de los edificios puede cambiar drásticamente desde un punto a otro, requieren especial atención y cuidado en la determinación de los datos meteorológicos. Una repetición de las mediciones en diferentes condiciones atmosféricas (diferentes valores de n) con, por ejemplo, una serie de mediciones durante el día y otra serie durante la noche pueden -- mejorar la precisión. La medición de las condiciones meteorológicas en puntos intermedios a lo largo de la distancia medida mejorará también los resultados, si se busca una precisión alta como, por ejemplo, en las redes de control de primer orden para una ciudad.

Los termómetros, barómetros y psicómetros deben ser de buena calidad y deben controlarse y calibrarse frecuentemente.

4.5 ERROR EN LA DETERMINACION DE LA DIFERENCIA DE FASE.

Hay muchas formas posibles de determinar la diferencia de fase utilizando el método de punto nulo o el método digital. Todos dan una resolución de $1/1000$ de la longitud de onda medidora o mejor aún.

Las mediciones de fase se repiten generalmente varias ve--

ces durante la determinación de la distancia, y el error de la base se disminuye tomando el promedio de los resultados.

Las mediciones de fase en los instrumentos a microondas -- pueden resultar seriamente afectadas por la reflexión en el -- suelo de una parte de la señal que se desplaza entre dos estaciones terminales.

La abertura α del cono de radiación de las microondas -- puede calcularse aproximadamente de:

$$\text{Sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{\lambda}{D}$$

Donde λ es la longitud de onda portadora y D es el diámetro del reflector.

Por ejemplo, para $\lambda = 3$ cm y $D = 36$ cm, como es el caso en algunos modelos de Telurómetro, la abertura es de alrededor de 9° . Por lo tanto, a menos que la distancia se mida a través de un valle profundo, una porción de la señal puede reflejarse en el suelo y puede interferir con la señal medidora directa en la estación remota. La interferencia puede producir una deriva sistemática de la fase, o aún la anulación de la señal directa, haciendo imposible la medición de la distancia. Esto último, puede ocurrir si las mediciones se realizan sobre cuerpos reflectantes extensos tales como aguas tranquilas, áreas pavimen-

tadas o techos planos de metal, los cuales pueden producir reflejos de tipo de espejo en los que la señal reflejada es casi tan fuerte como la señal directa y puede diferir en la fase de 180° . Muchos factores afectan la potencia y la diferencia de fase entre las señales directa y reflejada. Dos factores particularmente, el ángulo de incidencia de la señal reflejada y la frecuencia de la portadora del instrumento a microondas, pueden ser controlados hasta cierto punto por los observadores durante la medición de la distancia. El ángulo de incidencia puede ser cambiado, de acuerdo con la altura del instrumento sobre la marca de la estación. En muchos casos, una diferencia de solamente unos pocos decímetros puede producir un cambio grande en la fase y potencia de la señal reflejada. El mismo efecto puede lograrse cambiando la longitud de onda de la portadora alternando la llamada sintonía de la cavidad. Para reducir la influencia de las reflexiones en el suelo se recomienda repetir de 10 a 20 veces las mediciones de fase cambiando la sintonía de la cavidad (de la longitud de la onda portadora) en medidas cada vez iguales. Si las mediciones repetidas dan una distribución poco satisfactoria de los resultados, todo el procedimiento debe repetirse usando diferentes alturas de los instrumentos. Para evaluar si la distribución de los resultados es satisfactoria, se calcula el resultado promedio de todas las sintonías, y se diagraman los resultados de las desviaciones individuales. Así se obtiene una típica curva de reflexión múltiple del terreno.

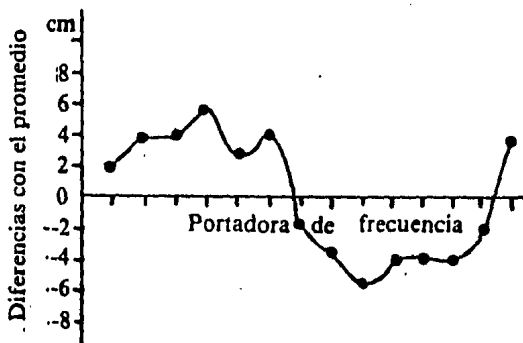


FIG. 12 CURVA TIPICA DE REFLEXION DEL TERRENO DE UNA MEDICION "PERFECTA"

Si la reflexión del terreno se acerca al ciclo completo - de una curva sinusoidal y el máximo alejamiento de los resultados no excede en 5 veces la longitud de onda de la portadora - (15 cm. para instrumentos con $\lambda = 3$ cm), puede decirse que las reflexiones sobre el terreno tienen muy poca o ninguna influencia y la distancia promedio es casi perfecta. Si la curva de reflexión muestra grandes irregularidades y particularmente -- saltos repentinos a ciertas sintonías (Fig. 12), pudiera darse el caso de que las mediciones estén afectadas por fuertes reflexiones y que la distancia promedio tenga probablemente gran error sistemático.

En tales casos las mediciones deberían repetirse con diferentes alturas de los instrumentos, o debería intentarse inclinar el instrumento levemente hacia arriba para cambiar los parámetros de reflexión. Si aún cambiando las condiciones de reflexión en el terreno, la curva muestra todavía irregularidades sistemáticas, la medición de distancia pudiera estar afectada por reflexiones internas. Esto puede ser el caso cuando el reflector parabólico está deformado, causando una reflexión hacia atrás de la señal transmitida.

La influencia de las reflexiones del terreno sobre la desviación estándar de la distancia medida no excede un valor de 1.5 a 3 cm. para instrumentos con $\lambda = 3$ cm, si las mediciones son repetidas en 20 sintonías diferentes y la curva de reflexión tiene una forma satisfactoria. En condiciones extremadamente malas, fuertes reflexiones pueden afectar la distancia medida con errores del orden de 10 cm. o más (Fig. 13).

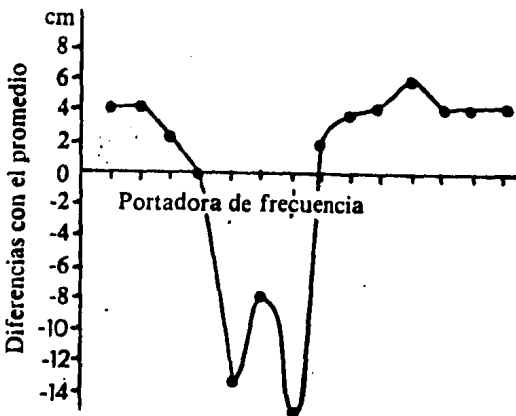


FIG. 13 CURVA INDICANDO UNA FUERTE REFLEXION.

4.6 ERROR TOTAL.

El error total de EDM puede ser expresado en la forma:

$$\sigma_s^2 = a^2 + b^2 S^2 + \sigma_{\Delta S}^2$$

Valores de los parámetros a y b para diferentes instrumentos EDM se indican en las tablas (II-1), (II-2) y (II-3). Debe notarse que es muy difícil aunque no imposible, alcanzar las precisiones mencionadas.

En los instrumentos electroópticos, los valores mencionados para el parámetro "a" son completamente razonables si los instrumentos son frecuentemente controlados para la corrección del Z_0 . El parámetro b depende principalmente del conocimiento del índice de refracción del aire y de la estabilidad de la modulación de frecuencia. Los termómetros y barómetros deben ser cuidadosamente controlados y calibrados. La experiencia demuestra que el valor de 2 ppm asignado al parámetro b para algunos instrumentos es generalmente demasiado pequeño, en aplicaciones de rutina de los instrumentos electroópticos aún cuando todos los procedimientos de campo se llevan a cabo conforme a las especificaciones. Un valor de $b = 4$ ppm es más realista, a menos que se repitan varias veces las mediciones en diferentes condiciones atmosféricas, con un instrumento cuidadosamente ca-

librado y se tome el valor promedio como el resultado final de la distancia medida.

Los instrumentos a microonda que son vulnerables a las reflexiones sobre el terreno y están afectados por la inseguridad en la determinación de la humedad relativa del aire pueden dar lugar a desviaciones mucho más grandes que los valores mencionados en los parámetros a y b . Al evaluar los resultados del levantamiento, su utilización requiere más habilidad y experiencia que en el caso de los instrumentos electroópticos. Los instrumentos a microondas de 3 cm, pueden dar un valor de " a " entre 2 y 3 cm, si la corrección Z_0 es controlada con frecuencia, separadamente para cada par de instrumentos y si las reflexiones sobre el suelo son minimizadas con procedimientos de campo adecuados y una hábil interpretación de las curvas de reflexión. El valor de " b " aunque indicado por los fabricantes del orden de 3 ppm es en realidad mucho mayor. La experiencia prueba que un valor de $b = 6$ ppm para levantamientos de rutina parece acorde con la realidad, a menos que los levantamientos sean repetidos varias veces en condiciones diferentes.

REFERENCIA

- 1.- Blachut J. Teodor, Chrzanowski Adam, Saastamoinen H. Jouko
CARTOGRAFIA Y LEVANTAMIENTOS URBANOS
Catálogo de Publicaciones de la Librería del Congreso
México 1979.

5. NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS. (1)

5.1 GENERALIDADES.

Considerando que para poder establecer una base en la planeación y apoyo de las actividades de programas nacionales de mediano plazo y regionales, es necesario contar con una información geográfica adecuada. Por tal razón se hace necesario uniformar la información geodésica, con el objeto de incrementar y mantener la Red Geodésica Nacional; y que asimismo sirvan de apoyo a los trabajos cartográficos, además que al dar uniformidad y comparabilidad a los levantamientos geodésicos que son realizados por diferentes organismos públicos y privados, se contribuye a evitar trabajos innecesarios y costosos, obteniendo por otra parte, información geográfica, confiable y oportuna, de utilidad general y que apoye a la vez la toma de decisiones en los distintos niveles del gobierno.

Por lo anterior la Dirección General de Geografía, procedió a la elaboración de un documento para reglamentar las condiciones mínimas que deberán observarse en todos los levantamientos geodésicos realizados en el territorio nacional. Dicho documento recibe el nombre de Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos y aparece en el Diario Oficial con fecha 10. de abril de 1985.

5.2 ANALISIS A LAS NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS.*

Para que un levantamiento sea considerado geodésico deberá tomar en cuenta los efectos de curvatura terrestre y ejecutarse con instrumental y procedimientos que permitan una precisión interna compatible con las especificaciones de precisión que este documento consigna, de modo que cada punto del levantamiento quede inequívocamente determinado por los parámetros que le corresponden, de acuerdo con el tipo de levantamiento y con respecto a un determinado sistema de referencia, como se especifica en los siguientes puntos.

La Red Geodésica Nacional la podemos definir como el conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos más o menos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura geográficas, así como el campo gravimétrico asociado con relación a un sistema de referencia dado.

Para efectos prácticos, se consideran tres tipos de redes geodésicas: La Red Geodésica Horizontal, la Red Geodésica Verti

* En el presente trabajo se hace énfasis únicamente en los Levantamientos Geodésicos Horizontales en lo concerniente a Medidas de Distancias.

cal y la Red Geodésica Gravimétrica. Cabe hacer mención que todo levantamiento geodésico deberá formar parte de la Red Geodésica Nacional dentro de la modalidad que corresponde de acuerdo con las normas de precisión que se establecen en las Normas Técnicas.

Un levantamiento geodésico es un trabajo que requiere de un conjunto de actividades armonizadas y precisas, por tal razón se debe de seguir una secuencia operativa que en el orden indicado contemple las siguientes etapas:

- a) Diseño y preanálisis.
- b) Reconocimiento y monumentación.
- c) Observaciones y cálculos de campo.
- d) Cálculos de gabinete (y ajuste en su caso).
- e) Evaluación.
- f) Memoria de los trabajos.

Podemos definir un levantamiento geodésico horizontal como el conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinados a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el terreno convenientemente elegidos y demarcados, con referencia al Dátun Norteamericano de 1927, cuyos datos se dan a --continuación:

Elipsoide

Clarke de 1866

Semieje mayor	6378 206.4 m.
Semieje menor	6356 583.8 m
Vértice del origen	Rancho Meade's, Kansas, EUA
Longitud del origen	98°32'30.506''W
Latitud del origen	39°13'26.686''N
Desviación de la vertical en el meridiano	-1.02''
En el primer vertical	-1.79''
Altura geoidal en el origen	0.00m
Azimut del origen a la esta- ción Waldo (desde el Sur)	75°28'09.64''

Para la medición de distancias se utilizan instrumentos -- EDM que utilicen radiación electromagnética, del tipo electroóptico o de microondas, ya que el empleo de cintas o alambres invar nos llevaría a realizar trabajos tomando mayor tiempo, incrementando así los costos, sin embargo los dispositivos de medición directa quedan restringidos a levantamientos con propósitos de investigación, líneas de calibración para distanciómetros electrónicos y medidas de distancia menores de 150 metros.

La selección del tipo de distanciómetro electrónico que se utilice deberá hacerse en consideración a su capacidad y características, así como en función de las precisiones requeridas - por el orden del levantamiento.

Los ordenes a los que se hacen mención los trataremos más adelante.

Los distanciómetros que se emplean para la elaboración de cualquier trabajo deberán cumplir con las normas y condiciones que a continuación se dan:

- a) El distanciómetro deberá estar previamente calibrado - por lo menos con respecto a una distancia conocida con la mayor precisión, la calibración deberá hacerse por lo menos cada seis meses o cuando se sospeche que ha - ocurrido algún cambio en el instrumento.
- b) Los distanciómetros deberán tener una precisión comprendida dentro de 0.2 a 2.0cm. para la parte constante del error más una parte variable comprendida dentro de 2 a 5 ppm de distancia medida, en centímetros.
- c) La operación, cuidado y manejo de los distanciómetros - se deberá hacer siempre de acuerdo con lo especificado por el fabricante. Antes de realizar cualquier medición, se deberán hacer las pruebas de funcionamiento recomendadas por el mismo las que al no ser satisfactorias, --causarán el retiro del instrumento del proyecto a ejecutar.

d) Solamente para efectos de comprobación específica de -- las medidas se permitirá el desplazamiento longitudinal del instrumento en la dirección de la línea, en cantidades de 20 a 40 cm. para lo cual deberá medirse y registrarse dicho desplazamiento.

Toda medida que se haga en un punto deberá estar necesariamente vinculada a una medida en sentido contrario efectuada en el otro extremo de la línea cuando se usan instrumentos de función intercambiable, y es recomendable hacer por lo menos dos grupos de medidas con una diferencia mínima de cuatro horas entre grupo y grupo. Con instrumentos electroópticos o infrarrojos, las distancias deberán ser medidas el número de veces que sea necesario para garantizar la precisión requerida.

Asociadas con toda medida de distancia deberán hacerse determinaciones complementarias de las condiciones ambientales -- prevalencientes durante la medida; en cada extremo, al principio y final de la medida, a la sombra y al mismo nivel del instrumento, midiendo la temperatura, presión atmosférica y humedad relativa con termómetros, barómetros y psicrómetros precisos y calibrados, todo con el propósito de aplicar las correcciones requeridas por factores meteorológicos. (Cap. III y IV).

De las medidas que se hagan se deberá llevar un registro completo y ordenado en formularios diseñados para ello en los -

que se hagan las anotaciones pertinentes.

Con propósito de clasificación de los levantamientos geodésicos horizontales se establecen los siguientes órdenes y clases de precisión, asociados con los valores de esta última que es posible obtener entre puntos adyacentes ligados directamente con un nivel de confianza del 95% y en tanto se observan las normas del caso (Tabla V-1):

ORDEN	CLASE	PRECISION
Primero	Unica	1:100,000
Segundo	I	1: 50,000
	II	1: 20,000
Tercero	I	1: 10,000
	II	1: 5,000

TABLA V-1. ESPECIFICACION DE PRECISIONES PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS HORIZONTALES.

Primer Orden.- Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de la red geodésica horizontal primaria, al estudio del movimiento de la corteza terrestre, al establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos de ingeniería importantes con fines de in-

vestigación científica, y en general a todo trabajo que requiera de una precisión no menor que una parte en 100,000.

Segundo Orden, Clase I.- Deberá tener aplicación en la densificación de la red geodésica horizontal primaria y de la correspondiente en áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados de zonas de alto desarrollo y valor del suelo, en la conformación del marco básico de una mayor densificación de la red, en el levantamiento y trazo de límites administrativos y en general, para todo proyecto que requiera de una precisión no menor que una parte en 50,000. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica horizontal primaria y ajustarse junto con ella.

Segundo Orden, Clase II.- Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos horizontales en áreas que no tienen un alto índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo, en levantamientos para apoyo cartográfico y de procesos fotogramétricos, en el establecimiento de control geodésico a lo largo de la costa, rios navegables y entre vías de comunicación importantes, en fraccionamientos y parcelamientos, en áreas de alto valor del suelo, en construcciones y en todo trabajo que requiera de una precisión no menor que una parte en 20,000.

Tercer Orden, Clase I y II.- Se deberá destinar al control geodésico horizontal de áreas de valor medio o bajo del suelo, a proyectos locales de desarrollo, levantamientos topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería y en general, para todo tipo de trabajo que requieren precisiones de una o dos partes en --- 10,000, según las necesidades.

Cuando tengan que medirse bases geodésicas, los procedimientos deberán ajustarse estrictamente a los especificados para tal caso en la medida de distancias utilizando distanciómetros electrónicos, de modo que se aseguren las precisiones requeridas para cada orden y clase de la triangulación, de acuerdo con lo que se especifica en la Tabla V-2.

Primer Orden	Segundo Orden		Tercer Orden	
	Clase I	Clase II	Clase I	Clase II
PRECISION 1:1,000,000	1:900,000	1:800,000	1:500,000	1:250,000

TABLA V-2 ESPECIFICACION DE PRECISION PARA MEDIDAS DE BASES GEODESICAS.

En las trilateraciones la precisión en la medida de distancias no deberá rebasar los valores indicados en la Tabla V-3, - aplicables a medidas corregidas por cada fuente conocida de --- error sistemático.

ORDEN DE LA TRILATERACION	PRECISION
Primero	1:1,000,000
Segundo, Clase I	1: 750,000
Segundo, Clase II	1: 450,000
Tercero, Clase I	1: 250,000
Tercero, Clase II	1: 150,000

TABLA V-3 ESPECIFICACIONES DE PRECISIONES PARA MEDIDAS DE DISTANCIAS EN TRILATERACION.

La precisión en la medida de distancias en poligonal no deberá exceder los valores indicados en la Tabla V-4, aplicables a medidas corregidas por factores metereológicos.

ORDEN DE LA POLIGONAL	PRECISION
Primero	1:600,000
Segundo, Clase I	1:300,000
Segundo, Clase II	1:120,000
Tercero, Clase I	1: 60,000
Tercero, Clase II	1: 30,000

TABLA V-4 ESPECIFICACIONES PARA MEDIDA DE DISTANCIAS EN POLIGONALES.

5.3 ELEMENTOS ESTADISTICOS.

Al hacer varias observaciones de una cantidad (medición de distancias, por ejemplo), se obtienen en general valores diferentes a causa de errores accidentales.

Suponiendo que se hagan (n) medidas, tendremos que el valor más probable estará dado por (M):

$$M = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ son los valores obtenidos de diferentes medidas y "n" es el número de medidas.

El error total estará dado por la expresión:

$$E_T^2 = e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2 \dots\dots\dots (30)$$

donde:

$$e_1 = M - a_1, e_2 = M - a_2, \dots e_n = M - a_n$$

Por lo que el error medio cuadrático, es el que se puede sustituir en todas las (e) dando la misma suma, esto es:

$$E_T^2 = n E_m^2$$

De donde:

$$E_m^2 = \frac{E_T^2}{n} = \frac{\{\Sigma e^2\}}{n}$$

En forma general:

$$E_m = \sqrt{\frac{\Sigma e^2}{n-1}} \dots \dots \dots (31)$$

Y el error medio del promedio:

$$E_o = \frac{E_m}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$$E_o = \sqrt{\frac{\Sigma e^2}{n(n-1)}} \dots \dots \dots (32)$$

El error probable de una serie de observaciones, según la teoría de los errores es:

$$E_p = \frac{2}{3} E_o$$

Finalmente, obtenemos el valor de la precisión lograda en la serie de medidas.

$$\text{Precisión} = P = \frac{E_p \text{ (error probable)}}{M \text{ (valor más probable)}}$$

La precisión se acostumbra darla como una función cuyo número de unidades medidas; para lo cual la ecuación nos quedará:

$$P = \frac{1}{\frac{M}{E_p}} \dots\dots\dots (33)$$

Es decir que habrá una unidad de error por cada cierto número de unidades medidas.

En los instrumentos EDM la precisión teórica está dada por la ecuación:

$$E_T^2 = \sigma^2 = a^2 + b^2 s^2 \dots\dots\dots (34)$$

Donde:

σ = Precisión.

s = Distancia medida.

a y b = Parámetros instrumentales.

Proporcionados por el fabricante o determinados a partir de factores meteorológicos.

Como se puede observar, es difícil alcanzar las precisiones de las tablas anteriores, con una sola observación; por lo

cual se tendrán que realizar n observaciones de acuerdo a la precisión requerida, por lo que la ecuación (34) quedaría:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (35)$$

De donde:

σ_0 = Desviación estándar del promedio.

σ = Precisión.

n = Número de observaciones.

Y de (35):

$$n = \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^2 \dots\dots\dots (36)$$

Que es el modelo matemático fundamental para el desarrollo de las tablas del Capítulo 6.

REFERENCIA

- 1.- NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODESICOS
Diario Oficial del 10. de Abril de 1985.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Alonso Lerch Federico
APUNTES DE LA MATERIA DE TEORIA DE LOS ERRORES.

6. GENERACION DE TABLAS DE DISEÑO.

A continuación se presentan tres programas de cómputo electrónico; escritos dos para calculadora programable (H.P. y T.I) y uno en BASIC, para la generación de tablas de diseño.

En los tres los datos de entrada son:

- i) parámetro a
- ii) parámetro b
- iii) precisión
- iv) distancia o distancia máxima
- v) incremento en la distancia para el caso del programa escrito en Basic.

y los datos de salida son el número de mediciones a realizar para alcanzar la precisión requerida.

6.1 PROGRAMAS PARA CALCULADORAS PROGRAMABLES.

Los programas para calculadoras programables (H.P. y T.I) están diseñados, dadas las características de éstas, para determinar únicamente, un solo valor del número de mediciones a realizar de acuerdo a los datos requeridos.

6.1.1 Programa para H.P. (34 c)

La calculadora se pondrá en modalidad de f fix 0

INGRESOS		PANTALLA		INGRESOS		PANTALLA	
f CLEAR	PRGM	000-		RCL 0	019-	24	0
h LBL A		001-	25 13 11	h 1/X	020-	25	2
RCL 3		002-	24 3	+	021-		71
RCL 4		003-	24 4	g X ²	022-	15	3
X		004-	61	1	023-		1
STO 6		005-	26 6	-	024-		41
ENTER		006-	31	g X>0	025-	15	51
RCL 2		007-	24 2	GTO 7	026-	22	7
RCL 5		008-	24 5	RCL 7	027-	24	7
X		009-	61	g X ²	028-	15	3
X		010-	61	GTO 1	029-	22	1
g X ²		011-	15 3	h LBL 7	030-	25 13	7
ENTER		012-	31	1	031-		1
RCL 1		013-	24 1	+	032-		51
g X ²		014-	15 3	h RTN	033-	25	12
+		015-	51	h LBL 1	034-	25 13	1
f √X		016-	14 3	h RTN	035-	25	12
RCL 6		017-	24 6				
+		018-	71				

REGISTROS

R ₀ Precisión NTLG	R ₁ a en cm	R ₂ b en ppm	R ₃ S en m
R ₄ k = 100	R ₅ Q = 1x10 ⁻⁵	R ₆	R ₇ 1

PASO	INSTRUCCIONES	INGRESO DATOS/UNIDADES	TECLAS	SALIDA DATOS/UNIDADES
1	Ingresar el Programa.			
2	Comenzar			
3	Almacenar Precisión requere- rida en base a las NTLG	p.r.	STO 0	
4	Almacenar Parámetro a	"a" (cm)	STO 1	
5	Almacenar Parámetro b	"b" (ppm)	STO 2	
6	Almacenar la distancia S que se requiere medir.	S (m)	STO 3	
7	Almacenar un valor cons- tante.	100	STO 4	
8	Almacenar un valor cons- tante.	1×10^{-5}	STO 5	
9	Almacenar un valor cons- tante.	1	STO 7	
10	Pasa la distancia de m a cm		A	
11	Pasa el parámetro b a 1×10^{-5}			
12	Se obtiene el valor de - la desviación estándar.			
13	Se obtiene el valor de n			n
14	Con los mismos valores - de 4, 5, 7, 8, 9 cambian- do únicamente el dato en 6, se obtiene otro valor de n		A	

Ejemplos: Calcular el número de veces que debe de hacerse una medición, para obtener una precisión de $1/30,000$, siendo las características técnicas del instrumento utilizado: $a = 5\text{cm}$ y $b = 5\text{ppm}$ siendo la distancia $S = 550\text{ m}$

Ingresos	Pantalla	
f CLEAR REG		
STO 0	30,000	P.r.
STO 1	5	a
STO 2	3	b
STO 3	550	S
STO 4	100	K
STO 5	1×10^{-5}	Q
STO 7	1	
A	10	Valor de n

Para $S = 40\text{ m}$

Ingresos	Pantalla	
STO 3	40	
A	1408	Valor de n

Para $S = 1540\text{ m}$

Ingresos	Pantalla	
STO 3	1540	
A	3	Valor de n

Para S = 4170 m

Ingresos	Pantalla	
STO 3	4170	
A	2	Valor de n

6.1.2 Programa para T.I. (57).

La calculadora se pondrá en modalidad programa.

INGRESOS	PANTALLA	INGRESOS	PANTALLA
LRN	00 00	+	24 45
STO 0	00 32 0	RCL 4	25 33 4
R/S	01 81	=	26 85
STO 1	02 32 1	+	27 45
R/S	03 81	RCL 0	28 33 0
STO 2	04 32 2	1/x	29 25
R/S	05 81	=	30 85
STO 3	06 32 3	X ²	31 23
X	07 55	STO 3	32 32 3
RCL 5	08 33 5	2nd INV INT	33 -49
=	09 85	STO 7	34 32 7
STO 4	10 32 4	RCL 3	35 33 7
X	11 55	2nd FIX 0	36 48 0
(12 43	=	37 85
RCL 2	13 33 2	2nd x = t	38 66
+	14 45	GTO 9	39 51 9
RCL 6	15 33 6	R/S	40 81
)	16 44	RST	41 71
=	17 85	2nd LbL 9	42 86 9
X ²	18 23	01	43 01
+	19 75	85	44 =
RCL 1	20 33 1	81	45 R/S
X ²	21 23	71	46 RST
=	22 85	LRN	
√x	23 24		

PASO	INSTRUCCIONES	INGRESO DATOS/UNIDADES	TECLAS	SALIDA DATOS/UNIDADES
1	Ingresar al programa			
2	Comenzar			
3	Almacenar Precisión requerida en base a las NTPLG	P.r.	STO 0	
4	Almacenar parámetro a	"a" (cm)	STO 1	
5	Almacenar parámetro b	"b" (ppm)	STO 2	
6	Almacenar la distan- cia S que se requiere medir	S (m)	STO 3	
7	Almacenar un valor -- constante	100	STO 5	
8	Almacenar un valor -- constante	1×10^{-5}	STO 6	
9	Correr el programa		R/S	
10	Se obtiene el valor de n			n
11	Con los mismos valores de 3, 4, 5; cambiando únicamente el dato en 6, se obtiene otro va- lor de n			

Ejemplos: Calcular el número de veces que debe de hacerse una medición, para obtener una precisión de $1/30,000$, siendo las características del instrumento utilizado: $a = 1.5 \text{ cm}$ y $b = 5 \text{ ppm}$, - siendo la distancia $S = 550 \text{ m}$.

Ingresos	Pantalla	P.r.
STO ϕ	30,000	
STO 1	1.5	a
STO 2	5	b
STO 3	550	S
STO 5	100	k
STO 6	1×10^{-5}	Q

Para $S = 50 \text{ m}$

Ingresos	Pantalla	
STO 3	50	
n	83	Valor de n

Para $S = 1550$

Ingresos	Pantalla	
STO 3	250	
n	5	Valor de n

Para $S = 10,000\text{m}$

Ingresos	Pantalla	
STO 3	10,000	
n	2	Valor de n

350	FOR	(E) (1) (1)	
355	FOR	(E) (1) (1)	
360	FOR	(E) (1) (1)	
365	FOR	(E) (1) (1)	
370	FOR	(E) (1) (1)	
375	FOR	(E) (1) (1)	
380	FOR	(E) (1) (1)	
385	FOR	(E) (1) (1)	
390	FOR	(E) (1) (1)	
395	FOR	(E) (1) (1)	
400	FOR	(E) (1) (1)	
405	FOR	(E) (1) (1)	
410	FOR	(E) (1) (1)	
415	FOR	(E) (1) (1)	
420	FOR	(E) (1) (1)	
425	FOR	(E) (1) (1)	
430	FOR	(E) (1) (1)	
435	FOR	(E) (1) (1)	
440	FOR	(E) (1) (1)	
445	FOR	(E) (1) (1)	
450	FOR	(E) (1) (1)	
455	FOR	(E) (1) (1)	
460	FOR	(E) (1) (1)	
465	FOR	(E) (1) (1)	
470	FOR	(E) (1) (1)	
475	FOR	(E) (1) (1)	
480	FOR	(E) (1) (1)	
485	FOR	(E) (1) (1)	
490	FOR	(E) (1) (1)	
495	FOR	(E) (1) (1)	
500	FOR	(E) (1) (1)	
505	FOR	(E) (1) (1)	
510	FOR	(E) (1) (1)	
515	FOR	(E) (1) (1)	
520	FOR	(E) (1) (1)	
525	FOR	(E) (1) (1)	
530	FOR	(E) (1) (1)	
535	FOR	(E) (1) (1)	
540	FOR	(E) (1) (1)	
545	FOR	(E) (1) (1)	
550	FOR	(E) (1) (1)	
555	FOR	(E) (1) (1)	
560	FOR	(E) (1) (1)	
565	FOR	(E) (1) (1)	
570	FOR	(E) (1) (1)	
575	FOR	(E) (1) (1)	
580	FOR	(E) (1) (1)	
585	FOR	(E) (1) (1)	
590	FOR	(E) (1) (1)	
595	FOR	(E) (1) (1)	
600	FOR	(E) (1) (1)	
605	FOR	(E) (1) (1)	
610	FOR	(E) (1) (1)	
615	FOR	(E) (1) (1)	
620	FOR	(E) (1) (1)	
625	FOR	(E) (1) (1)	
630	FOR	(E) (1) (1)	
635	FOR	(E) (1) (1)	
640	FOR	(E) (1) (1)	
645	FOR	(E) (1) (1)	
650	FOR	(E) (1) (1)	
655	FOR	(E) (1) (1)	
660	FOR	(E) (1) (1)	
665	FOR	(E) (1) (1)	
670	FOR	(E) (1) (1)	
675	FOR	(E) (1) (1)	
680	FOR	(E) (1) (1)	
685	FOR	(E) (1) (1)	
690	FOR	(E) (1) (1)	
695	FOR	(E) (1) (1)	
700	FOR	(E) (1) (1)	
705	FOR	(E) (1) (1)	
710	FOR	(E) (1) (1)	
715	FOR	(E) (1) (1)	
720	FOR	(E) (1) (1)	
725	FOR	(E) (1) (1)	
730	FOR	(E) (1) (1)	
735	FOR	(E) (1) (1)	
740	FOR	(E) (1) (1)	
745	FOR	(E) (1) (1)	
750	FOR	(E) (1) (1)	
755	FOR	(E) (1) (1)	
760	FOR	(E) (1) (1)	
765	FOR	(E) (1) (1)	
770	FOR	(E) (1) (1)	
775	FOR	(E) (1) (1)	
780	FOR	(E) (1) (1)	
785	FOR	(E) (1) (1)	
790	FOR	(E) (1) (1)	
795	FOR	(E) (1) (1)	
800	FOR	(E) (1) (1)	
805	FOR	(E) (1) (1)	
810	FOR	(E) (1) (1)	
815	FOR	(E) (1) (1)	
820	FOR	(E) (1) (1)	
825	FOR	(E) (1) (1)	
830	FOR	(E) (1) (1)	
835	FOR	(E) (1) (1)	
840	FOR	(E) (1) (1)	
845	FOR	(E) (1) (1)	
850	FOR	(E) (1) (1)	
855	FOR	(E) (1) (1)	
860	FOR	(E) (1) (1)	
865	FOR	(E) (1) (1)	
870	FOR	(E) (1) (1)	
875	FOR	(E) (1) (1)	
880	FOR	(E) (1) (1)	
885	FOR	(E) (1) (1)	
890	FOR	(E) (1) (1)	
895	FOR	(E) (1) (1)	
900	FOR	(E) (1) (1)	
905	FOR	(E) (1) (1)	
910	FOR	(E) (1) (1)	
915	FOR	(E) (1) (1)	
920	FOR	(E) (1) (1)	
925	FOR	(E) (1) (1)	
930	FOR	(E) (1) (1)	
935	FOR	(E) (1) (1)	
940	FOR	(E) (1) (1)	
945	FOR	(E) (1) (1)	
950	FOR	(E) (1) (1)	
955	FOR	(E) (1) (1)	
960	FOR	(E) (1) (1)	
965	FOR	(E) (1) (1)	
970	FOR	(E) (1) (1)	
975	FOR	(E) (1) (1)	
980	FOR	(E) (1) (1)	
985	FOR	(E) (1) (1)	
990	FOR	(E) (1) (1)	
995	FOR	(E) (1) (1)	
1000	FOR	(E) (1) (1)	

1 *****
 2 *****
 3 *****
 4 *****
 5 *****
 6 *****
 7 *****
 8 *****
 9 *****
 10 *****
 11 *****
 12 *****
 13 *****
 14 *****
 15 *****
 16 *****
 17 *****
 18 *****
 19 *****
 20 *****
 21 *****
 22 *****
 23 *****
 24 *****
 25 *****
 26 *****
 27 *****
 28 *****
 29 *****
 30 *****
 31 *****
 32 *****
 33 *****
 34 *****
 35 *****
 36 *****
 37 *****
 38 *****
 39 *****
 40 *****
 41 *****
 42 *****
 43 *****
 44 *****
 45 *****
 46 *****
 47 *****
 48 *****
 49 *****
 50 *****
 51 *****
 52 *****
 53 *****
 54 *****
 55 *****
 56 *****
 57 *****
 58 *****
 59 *****
 60 *****
 61 *****
 62 *****
 63 *****
 64 *****
 65 *****
 66 *****
 67 *****
 68 *****
 69 *****
 70 *****
 71 *****
 72 *****
 73 *****
 74 *****
 75 *****
 76 *****
 77 *****
 78 *****
 79 *****
 80 *****
 81 *****
 82 *****
 83 *****
 84 *****
 85 *****
 86 *****
 87 *****
 88 *****
 89 *****
 90 *****
 91 *****
 92 *****
 93 *****
 94 *****
 95 *****
 96 *****
 97 *****
 98 *****
 99 *****
 100 *****

EL PARADIZO A EST: 5 CH EL PARADIZO D EST: 5 PPM
 PRECISION RECURSIVA
 I: 5000

	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
01
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

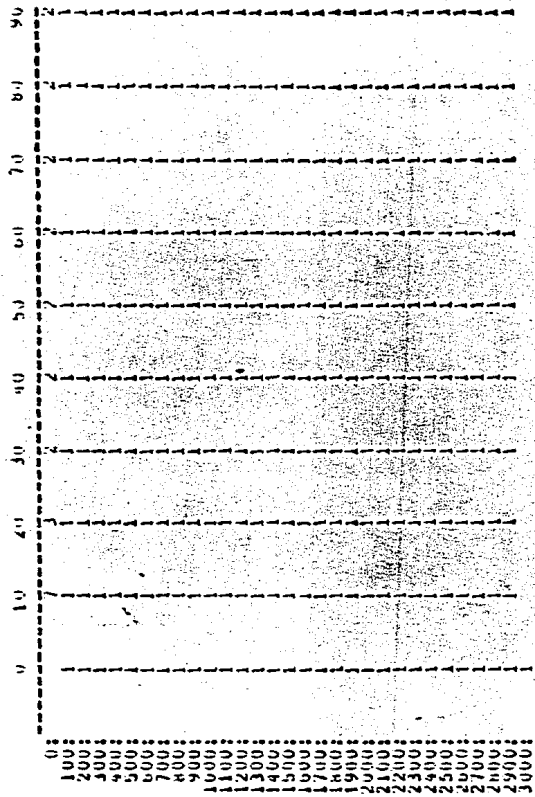
EL PARAFRETO A ES: 1 CM
 PRECISION INFERIOR A
 1 00000
 EL PARAFRETO B ES: 2 PPM

	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225
01	2	57	145	25	37	27	17	11	10	2
2501	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7501	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12501	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17501	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

EL PARALELO A EST 1 CM EL PARALELO B EST 2 PPH
 PRECISION RECORRIDA
 1: 12000

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
00	1496	366	1000	900	582	106	300	231	184	
100	150	125	31	79	70	92	58	50	45	
200	20	36	33	31	29	27	26	24	23	
300	22	24	20	14	19	17	15	19	15	
400	22	11	14	11	13	13	12	12	12	
500	12	11	11	11	11	11	10	10	10	
600	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
700	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
800	0	6	8	8	8	8	8	8	8	
900	0	7	7	7	7	7	7	7	7	
1000	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
1100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
1200	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
1300	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
1400	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1500	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1600	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1700	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1800	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
1900	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
2000	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

СЛ ПАРАМЕТРО А СС: 02 СА СЛ ПАРАМЕТРО В СС: 1 РРМ
 ПРЕЦИЗИЈА: РЕДУКЦИЈА
 1: 120000



6.2.2 Recomendaciones al Usuario.

La manera de introducirse al programa, una vez que éste se ha modificado en computadora, se ejecuta el programa (RUN), enseguida aparecerán las siguientes preguntas:

¿El valor de a es?

Este valor deberá darse en centímetros.

(Se oprime la tecla Enter/Return).

¿El valor de b es?

Este valor será dado en ppm (partes por millón) de igual forma que lo indica el fabricante.

(Enter/Return).

¿Precisión Requerida?

El valor de la precisión requerida se dará exclusivamente el número del denominador de la expresión.

(Enter/Return).

¿Distancia Máxima medible?

Este es el valor de la distancia, que se dará en metros, y será la máxima que se necesita ocupar.

(Enter/Return).

¿El incremento de la distancia es?

Este valor será el incremento que tendrá la distancia dada en metros.

(Enter/Return).

Estos valores que darán la pauta para la generación de la tabla al ser introducidos comenzarán a enlistar la tabla de diseño, mostrando primero los datos introducidos, enseguida el tipo de levantamiento, el orden y la clase, una vez hecho esto, comenzará a mostrar los incrementos y las distancias, así como el número de mediciones que se deberán de hacer (n).

La forma de hacer las lecturas está de acuerdo a la relación renglón-columna, en donde su intersección nos determinará la distancia total, y el valor de "n".

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente trabajo se efectuó en base a una investigación bibliográfica realizada sobre los instrumentos EDM, cuyo fin fué el de recabar información general acerca de sus características y funcionamiento, así como el estudio de la parte relacionada con la medida de distancias dada en los Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, para así, diseñar el proceso de medición de distancias electromagnéticas, y que estas cumplan las especificaciones de precisión que se establecen en las normas mencionadas. Obteniéndose así las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1.- El uso de programas de computadora para la generación de tablas de diseño para la medición de distancias, tiene la ventaja de que se pueden determinar adecuadamente el número de veces que se tiene que medir una línea para alcanzar una precisión dada.
- 2.- Las tablas de diseño para la medición de distancias, nos son de utilidad para poder determinar el costo de operación aprox., de un instrumento EDM, dadas las características del trabajo.
- 3.- Cuando más corta es la señal portadora, mayor es la precisión del EDM. Por lo tanto, los instrumentos de microondas

son generalmente menos precisos que los instrumentos electroópticos.

- 4.- Los instrumentos de microondas pueden utilizarse sobre largas distancias en condiciones atmosféricas desfavorables, esto es debido a que mientras más grande es la longitud de onda, mejor es la penetración a través de la bruma y la -- niebla.
- 5.- Los instrumentos electroópticos son recomendables para medir distancias cortas que su rango de acción es aproximada mente de 10 a 5,000m. Algunos instrumentos en base a láser pueden alcanzar rangos de acción hasta de 60,000m.
- 6.- La ventaja de los instrumentos electroópticos sobre los de microondas estriba en su mayor maniobrabilidad y menores - costos de operación, y tienen en su contra su menor rango de acción y falta de comunicación entre las estaciones que se van midiendo.
- 7.- En la medición de distancias, los instrumentos utilizados deberán manejarse con toda precaución, no sólo por su costo elevado, sino también para conservarlos en buen estado si se quiere obtener con ellos los resultados esperados.

- 8.- En todo proyecto de ingeniería el uso de instrumentos EDM está determinado siempre por el factor económico y por la precisión que se especifique en dicho proyecto.
- 9.- Debido a los diferentes parámetros que ocupa cada instrumento es indispensable tomar todos los datos de campo necesarios (presión, temperatura, humedad) a fin de obtener -- con estos datos, la corrección por refracción y así calibrar la distancia medida a las condiciones reales.
- 10.- Dada la importancia de las NTLG, es necesario difundir su uso para uniformizar y mejorar la calidad de los trabajos topográficos y geodésicos que se realicen.
- 11.- Se recomienda establecer en el país una base de calibración para los instrumentos de medición electrónica de distancias, ya que actualmente no existe ésta y es de suma importancia para el uso correcto y comprobación de éste tipo de instrumentos.