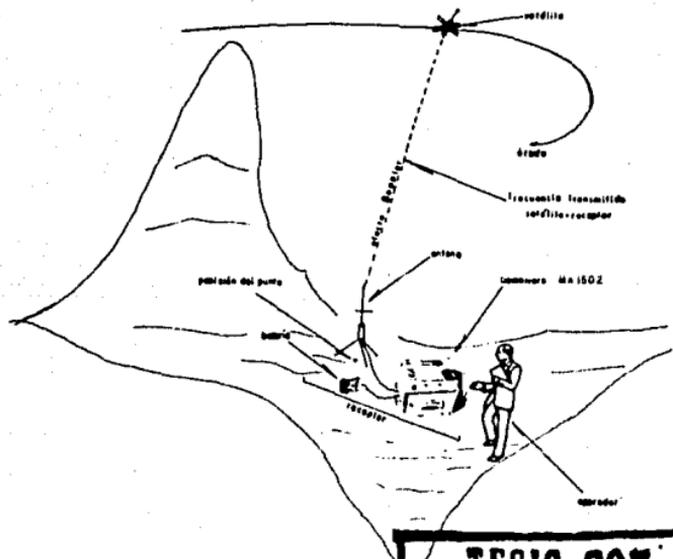


2
24



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

Introducción al Posicionamiento por Satélite



PATRICIA CARREON PIÑON

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria, 1990



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.

SUMARIO

	PAG.
PROLOGO	1
I. INTRODUCCION	2
I.1 Método Astronómico	2
I.2 Método para determinar latitud y longitud	4
I.3 Triangulación	5
I.5 Trilateración	7
I.5 Poligonación	7
I.6 Tabla de Precisión	8
I.7 Satélite Doppler	9
I.10 Transformación de Coordenadas	12
I.11 Tabla C.- Exactitud Posicional relativa requerida cm.	13
II. MEDICION DOPPLER (Modalidades de medición.)	14
II.1 Medición Seudo Distancia	15
Medición Comparación de fase Onda Portadora	15
II.3 Medición Interferométrica.	17
II.4 Medición Doppler	18
II.9 Doppler Instantaneo	23
II.10 Doppler Continuamente Integrado	24
II.11 Doppler Integrado	25
II.16 Efectos de la refracción Ionosférica	30
II.18 Efectos de la Refracción Troposférica	32
II.20 Modelo Matemático	34
III. SISTEMA TRANSIT	39
IV. GEOCEIVERS MX1502	47
IV.1 Unidad Receptora	48
IV.2 Unidad de Antena	49
IV.4 Descripción del Geocervers MX1502	52
IV.5 Técnicas para posicionamiento Doppler	53
IV.6 Posicionamiento por translocación	54
IV.7 Tabla CAPP	55
IV.8 Método de Translocación	56
IV.9 Posicionamiento por puntos independientes.	57
IV.10 Tabla CAP	58
IV.11 DETENAL.- Métodos utilizados	59
IV.12 Diferencias existentes entre los métodos <u>utili</u> zados.	60
IV.13 Diferencias obtenidas entre latitud y longitud	61
IV.13a Placa de Posicionamiento en la Facultad de -- Ingeniería	62
IV.14 Datos de la Placa de la Facultad de Ingeniería	63
IV.15 Translocación No Rigurosa.	64
IV.16 Multi-Estación	65
IV.17 Tabla PP	66
IV.17 Arco-Corto	66

S U M A R I O

	PAG.
IV.18 Arco Semi-Corto. Posicionamiento por Arco-Corto	67
IV.18 Arco Semi-Corto.	67
IV.20 Tabla CA	69
V. CONCLUSIONES	70
V.6 Registros para la posición de un punto	76
V.11 Técnica Doppler.	81
VI. BIBLIOGRAFIA	82
VII. GLOSARIO	84

FIGURAS, DIBUJOS, ECUACIONES, DIAGRAMAS
Y REGISTROS.

FIGURAS

Figura 1	3
Figura W	4
Figura II	5
Figura III	6
Figura IV	7
Figura V	9
Figura VI	10
Figura A	10
Figura B	11
Figura 1A	15
Figura 1B	17
Figura 1C	17
Figura VIII	20
Figura IX	22
Figura X	22
Figura XI	24
Figura XII	26
Figura XIII	26
Figura XIV	29
Figura 1C	32
Figura IIC	32
Figura ID	33
Figura IID	33
Figura XV	34
Figura XVI (Diagrama del Sistema Transit)	39
Figura XVII	40
Figura XVIII	41
Figura XVIII	42
Figura Ia	44
Figura IIb	44
Figura XIX	45
Figura XXa	49
Figura XXb	51
Figura XX (Posicionamiento por Translocación)	54
Figura XXII (Posicionamiento por puntos independientes)	57

SUMARIO

	PAG.
Figura WX	62
Figura XXIII (Posicionamiento por Translocación No Rigurosa).	64
Figura XXIX (Posicionamiento por Multi-Estación	65
Figura XXV (Posicionamiento por Arco-Corto	67
Figura XXVI (Arco-Semicorto)	68
Figura a'	72
Figura a''	72
Figura b'	73
Figura C'	74
 <u>DIBUJOS</u>	
Dibujo de Longitud	3
Dibujo. Medición comparación de Fase Onda Portadora	16
Dibujo. Cuenta Doppler	21
Dibujo XIX	46
 <u>ECUACIONES</u>	
Ecuación 1	19
Ecuación 2	27
Ecuación 3	27
Ecuación 4	27
Ecuación 5	27
Ecuación 6	28
Ecuación 7	28
Ecuación 8	29
Ecuación 8	30
Ecuación 9	35
Ecuación 8	35
Ecuación 10	36
Ecuación 11	36
Ecuación 12	36
 <u>DIAGRAMA</u>	
Diagrama del Sistema Transit	39
 <u>REGISTROS</u>	
Registros para la posición de un punto	76
Registros para la posición de un punto	77
Registros para la posición de un punto	78
Registros para la posición de un punto	79
Registros para la posición de un punto	80
 BIBLIOGRAFIA	 82
GLOSARIO	84

P R O L O G O

Elegí este tema como tesis que se titula Introducción al Posi cionamiento por Satélite Doppler, porque es uno de los levantamien tos geodésicos horizontales más rápidos y precisos que estan ope-- rando actualmente. La carrera de Ingeniero Topografo Geodesta que se imparte en la Facultad de Ingenieria de la Universidad Nacional Autónoma de México, alumnos desconocen el funcionamiento de este equipo, así como sus condiciones en las que se puede operar, sus - características y del como se posiciona un punto sobre la superfi-- cie terrestre, y que sistema es con el que opera el satélite, el - cual transmite las señales al aparato que se encuentra en la super-- ficie terrestre para posicionar el punto, además cuál es el aparato que capta o esta adaptado para captar las señales del Satélite Doppler.

Y como esta serie de preguntas hay otras que tal vez, se pue-- dan aclarar en esta tesis, por lo que se puede disipar algunas du-- das de la materia que nos ocupa y tener nociones del funcionamien-- to de este tipo de aparato ya que facilita el trabajo en levanta-- mientos geodésicos, en los cuales se requieren de esta clase de -- aparatos; este aparato toma datos precisos de la medida de la tie-- rra tomando en cuenta su curvatura. Además es un aparato fácil de usar y maniobrar calculadamente en el campo,

I. INTRODUCCION

Los levantamientos geodésicos horizontales son: un conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinados a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el Datum Norteamericano de 1927, en nuestro país.

Estos levantamientos se clasifican en:

- Astronómico
- Triangulación
- Trilateración
- Poligonación
- Satélite Doppler

I.1 Método Astronómico

Este procedimiento consiste en la observación de un astro para determinar la posición del punto de observación

Se basa este métodos en observar los ángulos horizontal y vertical al astro en cuestión, del cual conocemos sus coordenadas celestes (en el anuario) y mediante ciertas expresiones podemos conocer las coordenadas geográficas.

Antes de hacer esta determinación debemos elegir una línea base para referir los ángulos horizontales medidos al astro y en determinado momento saber si existieron errores en el manejo del instrumento y poder manejarlos, en su caso. (Figura I).

Para aplicar un cierto método, para conocer las coordenadas geográficas se debe determinar el norte astronómico y referir --

los ángulos horizontales observados de estos astros al mismo.

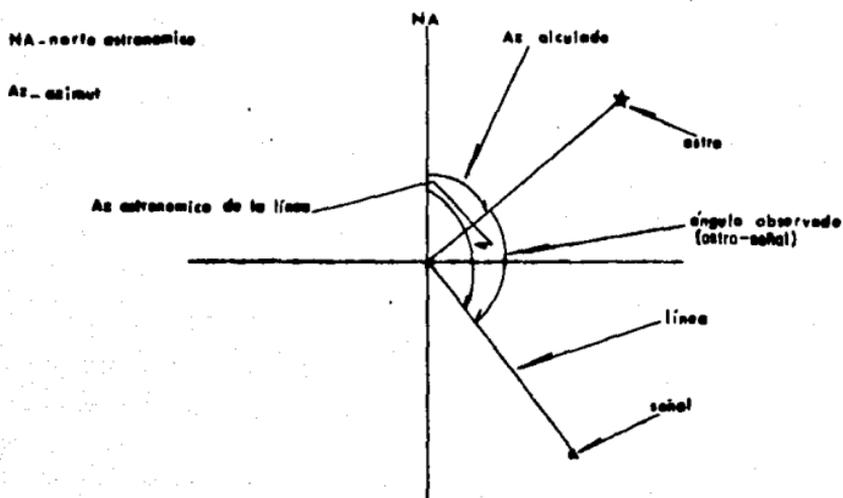
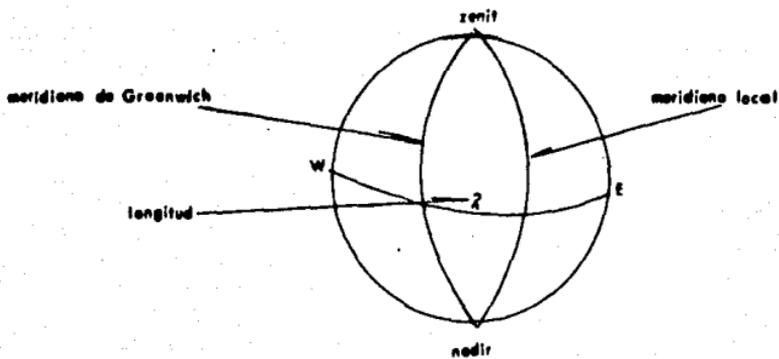
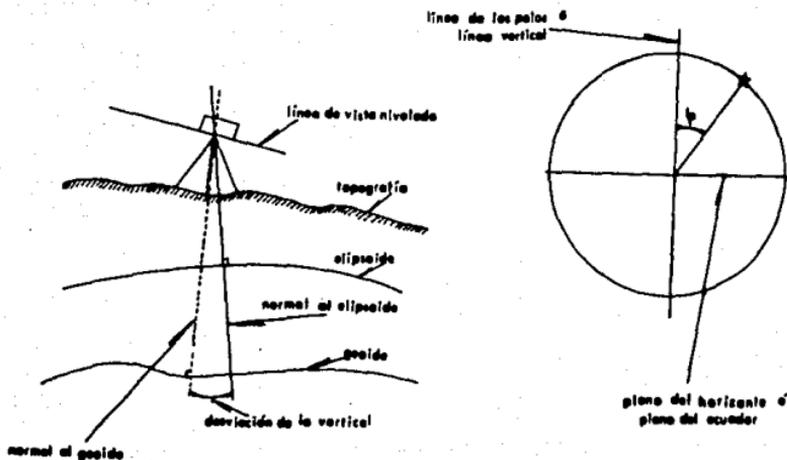


Figura 1

Las coordenadas que se deben obtener son latitud y longitud; la latitud, es el ángulo que forma la vertical del lugar con el plano del ecuador, Figura W y la longitud, ángulo que forma el meridiano local con el de Greenwich ó la diferencia de horas entre Greenwich y el lugar considerado.





. Figura W

Los métodos para la determinación de estas coordenadas son las siguientes, dependiendo del tipo, orden y clase del levantamiento.

I.2

Método para determinar latitud y longitud

A- Horrebow-Talcott ó Sterneck

B- Por alturas de la polar (método de Littrow)

B- Por distancias zenitales meridianas de un astro (la polar)

B- Observando dos estrellas

B- Por distancias zenitales de un astro en cualquier posición, - cuando se conoce la hora y la longitud del lugar.

B- Por distancias zenitales circunmeridianas de un astro

A- Mayer (pasos meridianos)

B- Observando distancias zenitales absolutas del sol (calculo en función del coseno y calculo logaritmico)

B- Observando dos estrellas.

Tipo de levantamiento	Orden y Clase	Método para determinar		P r e c i s i ó n	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Astronómico	Primero	A	A'	0",15	0",15Sec
	Segundo Clase I	A	A'	0",45	0",15Sec
	Segundo Clase II	B	B'	0",75	0",75Sec
	Tercero Clase I	B	B'	0",75	0",75Sec
	Tercero Clase II	B	B'	0,75	0,75Sec

Para conocer las coordenadas celestes de los astros, se deberán contar con catálogos respectivos, entre los que podemos -- contar.

- APFS (Lugares Aparentes de Estrellas Fundamentales) del -- año en que se hacen las observaciones.
- El Catálogo General Boss de 1. Época más reciente
- Catálogo de Estrellas SAO (Smithsonian Astrophysical Obser- vatory).
- Anuario del Observatorio Astronómico Nacional.

I.3 T r i a n g u l a c i ó n .

Consiste en medir los ángulos en los vértices y un lado de la figura formada que se llama base, con el fin de determinar las -- coordenadas de dichos vértices. (Figura II).

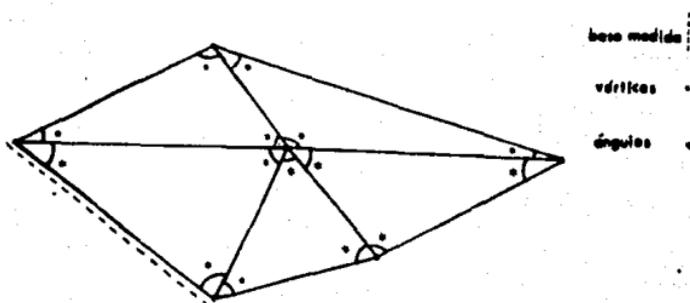


Figura II

La triangulación es formada por triángulos adyacentes (que tienen un lado común) encadenados según se necesite, ya medida una base y a partir de los azimutes y los ángulos se calculan los azimutes de los demás lados y las coordenadas de los vértices, pero cada triángulo tendrá cuando menos un lado común con el triángulo siguiente.

Las figuras que se usan con más frecuencia son simplemente triángulos ó polígonos con vértice central formados a su vez por triángulos, o cuadriláteros con diagonales. (Figura III).

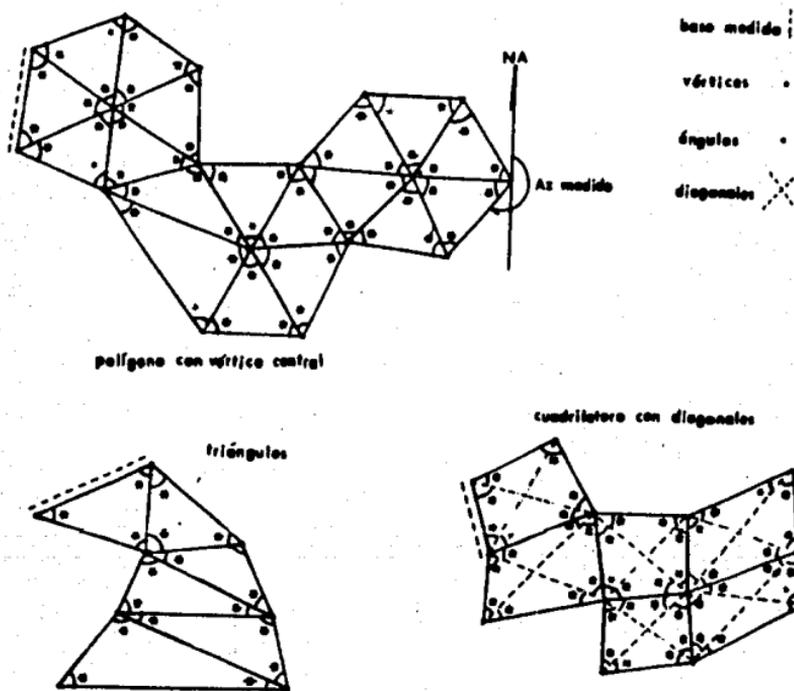


Figura III .

I.5

Trilateración

Consiste en medir directamente los lados para obtener los valores angulares, pero para efectos de control de dirección se debe de medir algunos ángulos, para así formar una cadena o cubriendo un área específica, para obtener las coordenadas de los vértices de los triángulos.

I.5

Poligonación

En este método se miden las distancias de cada línea, ya que son un conjunto de líneas conectadas por sus extremos en forma sucesiva, donde se observan todos los ángulos (Figura IV), con el propósito de determinar las coordenadas de cada punto.



Figura IV

Los métodos de triangulación y Poligonación se apoyan en el elipsoide de Clarke de 1866, para tomar en cuenta la curvatura de la Tierra.

En la siguiente tabla CPP se indica el número de posiciones por observar en cada serie, para cada orden y clase de levantamiento, el tipo de instrumento por emplear y la discrepancia máxima entre el promedio y cada uno de los valores obtenidos.

NOTA: • Para la poligonación el número de posiciones por observar en cada serie en el tercer orden, clase I, es de 8 series y para el tercer orden, clase II, es de 4 series, con un aparato Wild T2 respectivamente.

Cabe hacer notar que en algunos casos las observaciones se deben hacer exclusivamente por la noche

I.6

TABLA DE PRECISION

Orden de la Triangulación y Poligonación.	Número de posiciones por observar en cada serie.	Tipo de instrumento por emplear	Discrepancia max. entre el promedio y/u valores
PRIMERO	16 series	Wild T3 con aproximación de 0".2 en ambos círculos	+ 4" - 4"
SEGUNDO CLASE I	16 series	Wild T3 con aproximación de 0".2 en ambos círculos	+ 4" - 4"
SEGUNDO CLASE II	8 series	Wild T3 con aproximación de 0".2 en ambos círculos	+ 5" - 5"
	12 series	Wild T2 con aproximación de 1.0 en ambos círculos	+ 5" - 5"
TERCERO CLASE I	4 series	Wild T2 con aproximación de 1.0 en ambos círculos	+ 5" - 5"
	8 series *		
TERCERO CLASE II	2 series	Wild T2 con aproximación de 1.0 en ambos círculos	+ 5" - 5"
	4 series *		

I.7

Satélite Doppler

Las observaciones por satélite Doppler, para el posicionamiento de puntos sobre la superficie terrestre, es un método de levantamiento geodésico horizontal, de los más rápidos y precisos que existen actualmente y que puede operar en cualquier condición atmosférica, y a cualquier hora del día.

Este método para el posicionamiento de puntos por satélite Doppler consiste en emplear el efecto Doppler, tomando en cuenta la curvatura de la tierra. (Figura V).

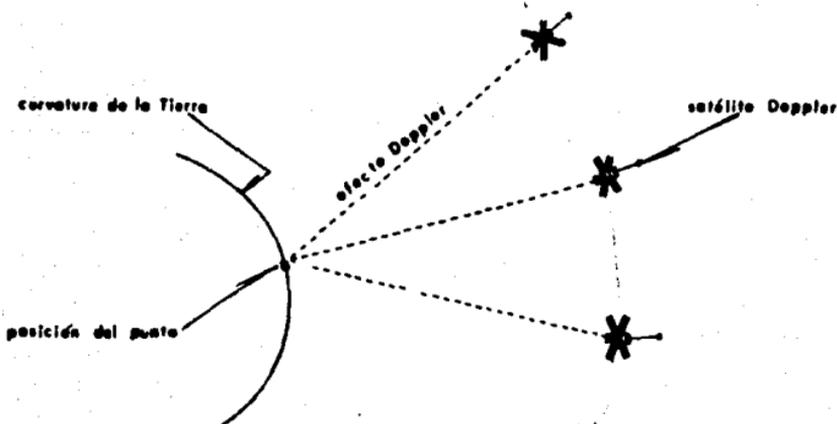


Figura V

El efecto Doppler fue descubierto en 1842, por el físico y matemático austriaco Christian Doppler (1803-1853), este efecto consiste en el cambio en la frecuencia observada en una señal -- constante debido al cambio en la velocidad de la señal con respecto al observador (Figura VI).



Figura VI

Este efecto se produce cuando un cuerpo que emite vibraciones se acerca o se aleja del observador, este recibe una vibración de frecuencia más alta o más baja que la real. Un ejemplo de este efecto lo encontramos en el silbido de un tren ya que es te cambia aparentemente a medida que el tren se acerca o se aleja del observador, Cuando el tren se acerca al observador la longitud de onda se hace más corto y el silbido del tren se escucha más grave (Figura A) y cuando el tren se aleja del observador la longitud de onda se hace más grande y el silbido del tren se escucha más suave (Figurs B).

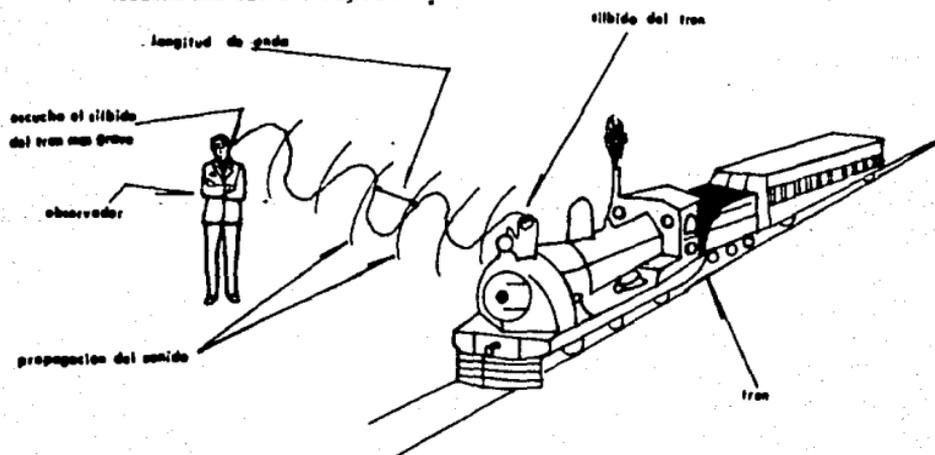


Figura A

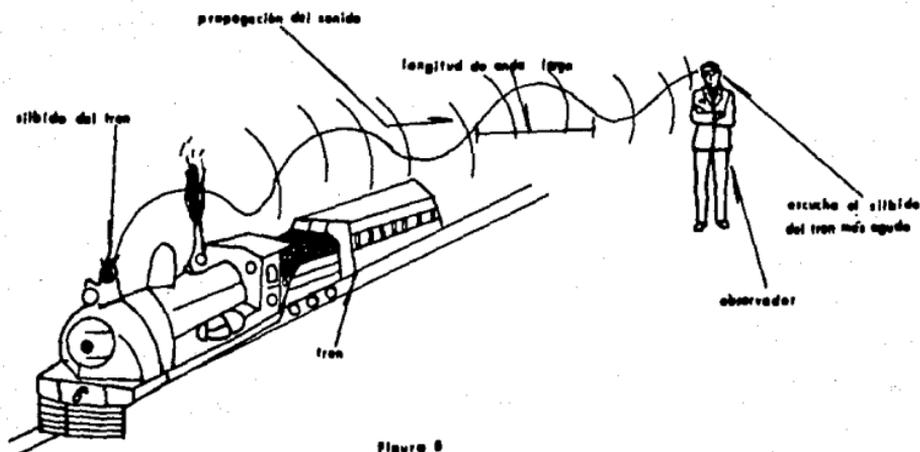


Figura 8

Lo que sucede con el posicionamiento Doppler es que para la ubicación del punto en la superficie terrestre se recolectan datos de varias pasadas de satélites con su efemérides (precisa o transmitida), para determinar la posición de dicho punto. Ya que las observaciones se hacen con referencia al sistema de coordenadas del satélite y estas al centro de la tierra.

Para este posicionamiento utilizando el método Doppler las observaciones dependerán de:

Número de pasos del satélite

Método utilizado para las observaciones

(estos métodos serán tratados más adelante
en el capítulo IV)

- I. Puntos independientes.
- II. Translocación.
- III. Translocación figurada
- IV. Arco corto
- V. Arco Semicorto

I.10 Transformación de Coordenadas

La obtención de coordenadas de los puntos objeto del levantamiento estarán referidas al Datum Norteamericano de 1927. Donde se seguira el siguiente proceso de transformación de coordenadas.

Coordenadas Doppler Geocéntricas calculadas en el sistema geodésico mundial -- (WGS 72) \rightarrow Coordenadas Cartesianas en el mismo Datum Norteamericano de 1927 \rightarrow Coordenadas Geodésicas en el mismo Datum

- El sistema geodésico mundial (WGS 72); es un Datum Mundial - Elipsoide de referencia 72) cuyos parámetros son:

Semieje mayor (a) = 6 378 135 metros
 Semieje menor (b) = 6 356 750.5 metros
 Achatamiento (f) = 1/298.26
 Excentricidad (e) = 0.08181881066

Que nos sirven para pasar de coordenadas del satélite que son geocéntricas a coordenadas Cartesianas y Geodésicas del punto.

Este WGS72 es lo mismo que se hace cuando observamos un astro y obtenemos coordenadas locales (o geográficas) azimut, altura para tenerlas en coordenadas geodésicas hacemos una transformación tomando en cuenta los parámetros del Datum Norteamericano de 1927 (elipsoide de Clarke 1866) que son:

Semieje mayor (a) = 6 378 206.4 metros
 Semieje menor (b) = 6 356 583.8 metros
 Achatamiento (f) = 1/294.9787
 Excentricidad (e) = 0.0822718

ya que este elipsoide son algunas medidas aproximadas de la Tierra, lo mismo sucede con el sistema geodésico mundial (WGS 72)

I.11 En la tabla C se dan algunas especificaciones para el posicionamiento de acuerdo a la calidad requerida y donde se determinara la distancia mínima entre las estaciones de la red en función del orden y clase del levantamiento y de la exactitud posicional relativa, el espaciamento entre estación se determinará con la expresión siguiente:

$$E = MP \times 10^5$$

E = espaciamento en Km

P = exactitud posicional

donde: relativa requerida en cm

M = valor del denominador

de la función representativa, en el orden de exactitud del levantamiento.

EXACTITUD POSICIONAL RELATIVA REQUERIDA (cm).

	100	70	60
Orden del Levantamiento	espaciamento	Mínimo Entre	Estaciones (km)
Primero	100	70	60
Segundo Clase I	50	35	30
Segundo Clase II	20	14	12
Tercero Clase I	10	7	6
Tercero Clase II	5	4	3

TABLA C

Espaciamento Entre Estación Doppler con 95 % de Nivel de Confianza.

II.

MEDICION DOPPLER:

La medición Doppler es uno de los métodos de medición más rápidos y precisos para el posicionamiento de puntos sobre la superficie terrestre del sistema de posicionamiento geodésico (o global). Este sistema de posicionamiento geodésico (GPS) es un sistema que se diseñó para el uso de la navegación y que ha resultado bastante bueno como medio para realizar levantamientos de precisión. Cuando se termine en el año de 1992, este sistema contará con 18 satélites NAVSTAR orbitando la Tierra a una altitud aproximada de 20 000 Km con períodos orbitales de unas 12 Hrs. y que estarán distribuidos de tal manera que siempre habrá por lo menos cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la Tierra y facilitará considerablemente el posicionamiento más rápido y preciso de las estaciones terrestres de levantamiento.

Pero debido a problemas que ha habido en el programa espacial americano para poner en órbita a los satélites como son:

- Financiamiento para el presupuesto de investigación y desarrollo de dichos satélites.
- Pedidos para la producción de satélites que no ha sido aprobado, por el Congreso de los Estados Unidos, por lo que a habido un retraso en el lanzamiento de los mismos.

En el posicionamiento geodésico se consideran otras tres modalidades de medición que son: I. Seudo-distancia, II. Comparación de fase y III. Interferometría. En este capítulo se hablara de cada una de ellas muy brevemente, ya que se hablara más ampliamente de la medición Doppler que es una medición que en este caso, es el de interés.

II.1 Medición Seudo-Distancia: esta medición se hace entre la estación de levantamiento y diversos satélites. Las distancias se determinan a partir del retraso en la transmisión de las radio señales desde cada satélite al receptor de la estación, estos retrasos se ven afectados por la diferencia o error sistemático (fallas que pueda tener en su sistema el satélite) del reloj del receptor con respecto a los relojes del satélite, es decir la diferencia de tiempo que es multiplicada por la velocidad de propagación de la señal (velocidad de la luz), que da como resultado una distancia, que viene siendo la distancia entre la antena del receptor y el satélite. Figura 1A.

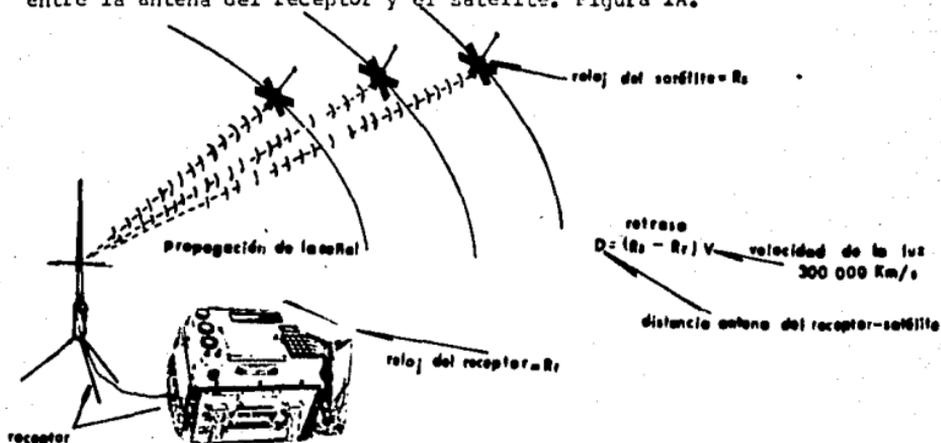
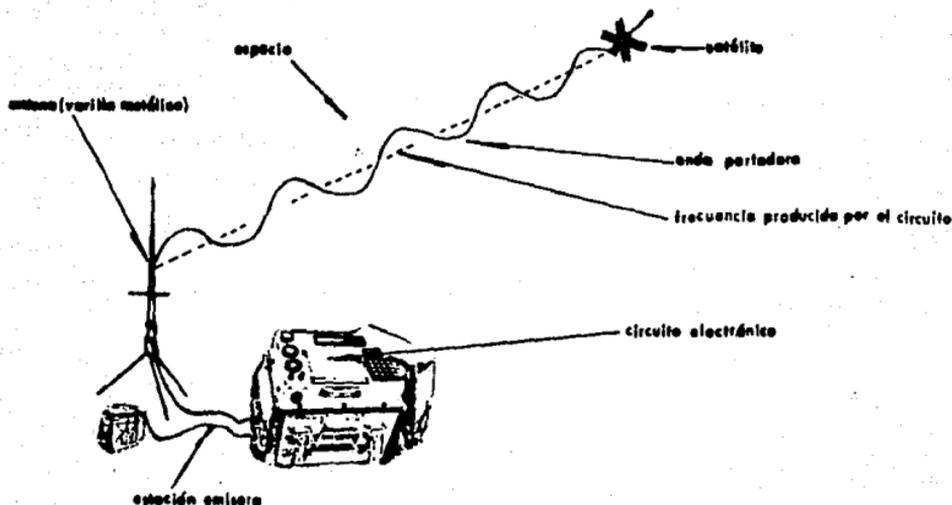


Figura 1A

II.1 Medición Comparación de Fase: en esta modalidad se mide el ciclo básico de la onda portadora y donde es necesario conocer los códigos C/A y P, los cuales nos permitirán identificar cada satélite de manera única y permitirnos la medida de tiempo de viaje de la señal entre el satélite y el receptor en Tierra. Figura 1B

Onda portadora: es la que se propaga de la estación emisora al satélite la cual contiene un circuito -- electrónico que esta conectado a una antena (varilla, metálica), la cual transforma -- las oscilaciones eléctricas de alta frecuencia producidas por dicho circuito en radiaciones electromagnéticas de la misma frecuencia, que se propaga a través del espacio.



Códigos: **C/A** = empleado por el satélite, accesible para todos los usuarios y modulada en la banda de 1022 Mhz (longitud de onda 300 mts.) se repite cada milisegundo.

P = secuencia generada por un algoritmo que se repite cada 267 horas con una frecuencia de 10,23 Mhz (longitud de onda de 30 mts.), este código es accesible para los altos mandos militares.

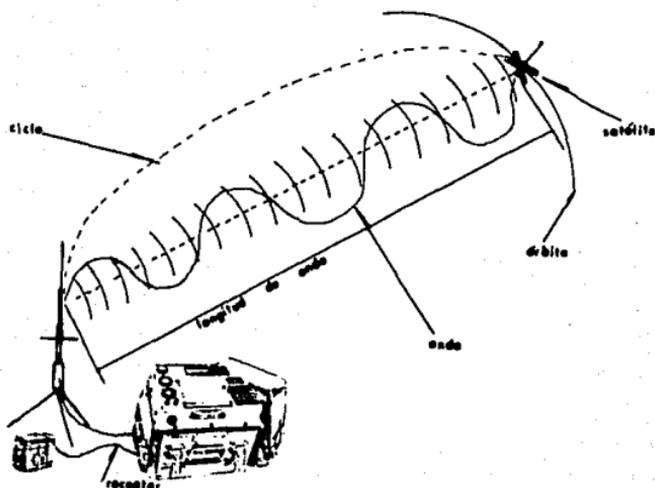


Figura 1B

II.3 Medición Interferométrica esta consiste en determinar un vector entre dos estaciones terrestres midiendo con relojes extremadamente precisos y sincronizados casi a la perfección, el tiempo requerido para que una emisión radio-eléctrica normal pase entre ellas. Luego se cambian las mediciones para obtener todas las componentes de la posición relativa y la hora. Figura 1C

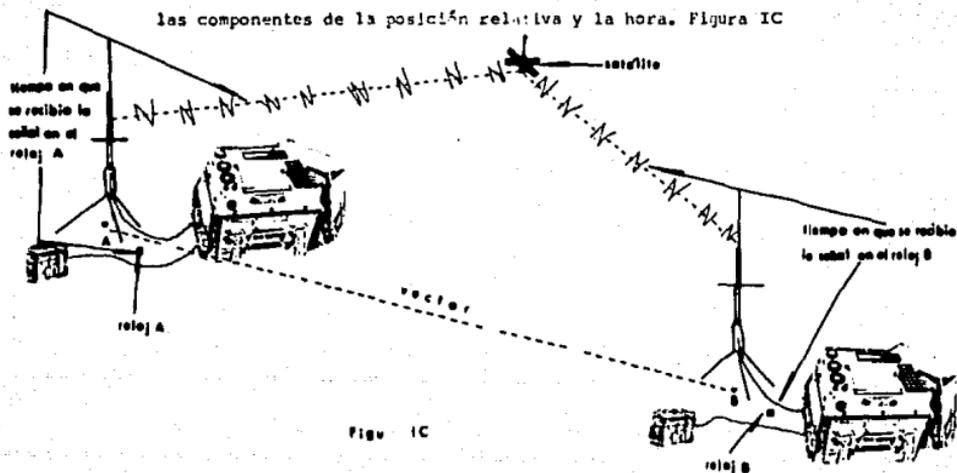


Figura 1C

II.4

Medición Doppler

La medición Doppler Δf , es la diferencia entre la frecuencia transmitida f_T de 400 Mhz y la frecuencia recibida f_R , es decir:

$$f_T - f_R = \Delta f$$

$$\Delta f = f_T \frac{v}{c} \dots \text{Ec.1}$$

donde:

f_T = Frecuencia transmitida

f_R = frecuencia recibida

v = velocidad relativa entre la fuente y el observador

c = velocidad de la luz en el vacío = 300000 Km/s

En los satélites Transit tres frecuencias están involucradas en la medición Doppler que son:

f_S = frecuencia transmitida por el satélite

f_R = frecuencia recibida por el georeceptor

f_O = frecuencia de referencia, generada por el propio receptor.

En la ecuación 1 podemos reemplazar la frecuencia transmitida f_T , por la frecuencia de referencia f_0 ; y la velocidad V , por la velocidad radial r , del satélite con respecto al observador - quedando la Ec.1 en:

$$f_0 - f_R = \Delta f$$

$$\Delta f = f_0 \frac{r}{c} \dots \text{Ec.2}$$

ya que:

$$f_T = f_0 \text{ y } V = r$$

Donde la velocidad radial r ; es la derivada de la distancia satélite - estación con respecto al tiempo transcurrido, tomada como positiva cuando la distancia crece.

En la práctica el mensaje completo del satélite se realiza alrededor de 2 m, porque es el tiempo necesario para tomar una medida Doppler cuando el satélite da una pasada completa sobre su órbita. Este mensaje consta de 25 líneas, estas líneas se pueden transmitir en un tiempo de 4.6×10^{-5} ó 2m.

La medición Doppler se realiza cada 5 líneas, en intervalos de 23° y consta de dos partes:

- I. Un número constante de diferencias de frecuencia.

$$\Delta f = f_0 - f_R$$

- II. Un número de ciclos Doppler

Este número de ciclos Doppler es una medida geométrica de la diferencia en distancia entre el observador y el satélite, definida en forma precisa para el mensaje -- transmitido por el satélite. Esta tiene significado físico como se ilustra en la figura VIII.

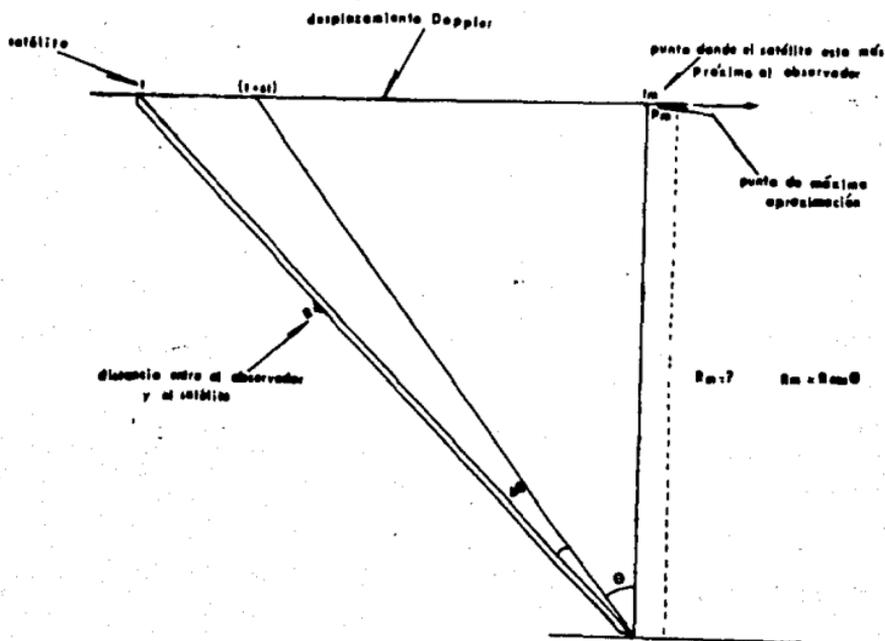
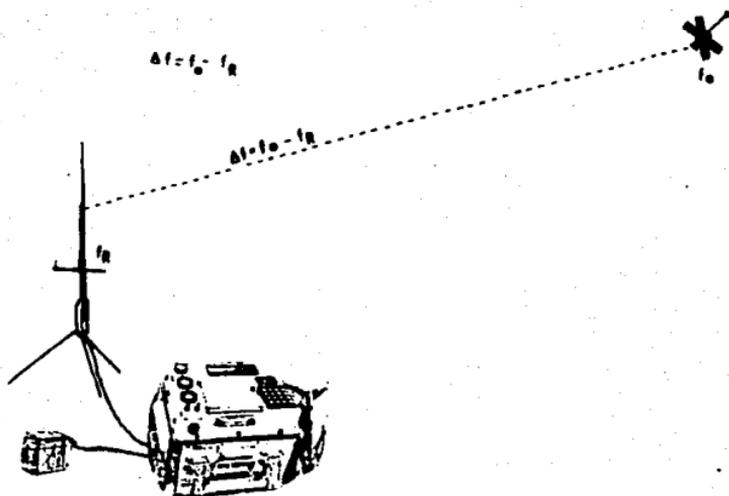


figura VIII

El ángulo θ nos permite calcular la distancia ($R_m = R \cos \theta$) entre una posición cualquiera del satélite y el punto donde el satélite estará más próximo al observador, el desplazamiento Doppler se expresa en términos de θ : a medida que θ decrece, el desplazamiento Doppler decrece hasta cero.

Es decir a medida que el satélite se aleja, la frecuencia disminuye y el desplazamiento se incrementa hasta que el transmisor está fuera de rango.

Básicamente la medición Doppler consiste en integrar con relación al tiempo la frecuencia Doppler:



Para obtener la llamada cuenta Doppler: N (Figura IX Y X).

$$N = \int_{t_1}^{t_2} \Delta f \, dt$$

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_0 - f_R) \, dt$$

$$N = \int_{t_1}^{t_2} f_0 \, dt - \int_{t_1}^{t_2} f_R \, dt \dots \text{ Ec. 3}$$

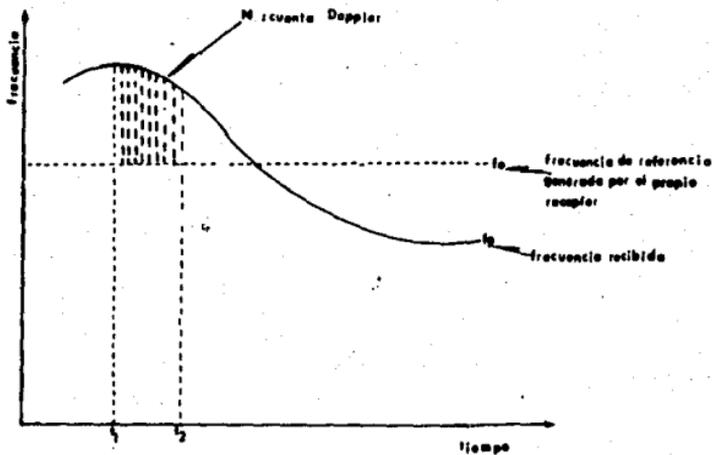


figura IX

posición del satélite
en un tiempo determinado

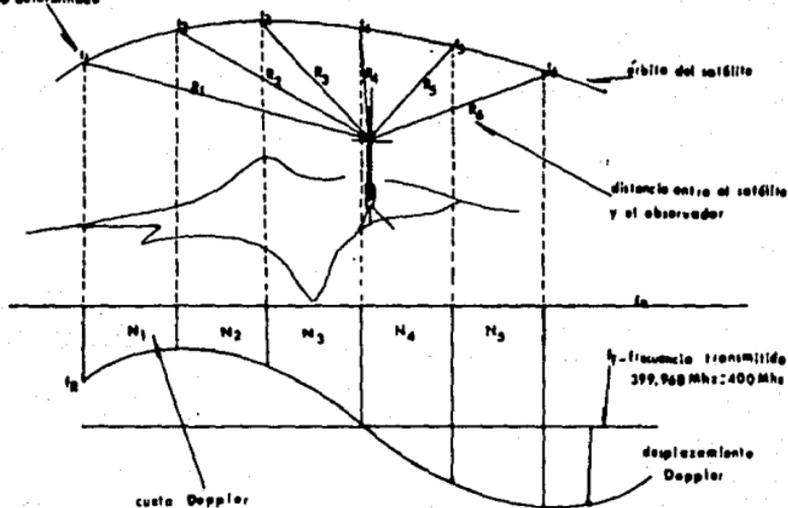


figura X

$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/c}^{t_2 + R_2/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_2 - t_1) + \frac{f_0}{c} (R_2 - R_1)$$

$$N_2 = \int_{t_2 + R_2/c}^{t_3 + R_3/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_3 - t_2) + \frac{f_0}{c} (R_3 - R_2)$$

$$N_3 = \int_{t_3 + R_3/c}^{t_4 + R_4/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_4 - t_3) + \frac{f_0}{c} (R_4 - R_3)$$

$$N_4 = \int_{t_4 + R_4/c}^{t_5 + R_5/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_5 - t_4) + \frac{f_0}{c} (R_5 - R_4)$$

$$N_5 = \int_{t_5 + R_5/c}^{t_6 + R_6/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_6 - t_5) + \frac{f_0}{c} (R_6 - R_5)$$

En la práctica se toman como límites de integración las señales horarias, y la cuenta Doppler N siempre en un número entero, para no tener problemas con los números fraccionarios al sustituir los límites de integración en la resolución de la integral y además porque es más fácil trabajar con un número entero.

Para hacer la medición Doppler existen tres procedimientos - que son:

II.9 Doppler instantáneo: Es un sistema utilizado por los receptores militares, donde señales horarias generadas en el receptor son utilizadas como límites de integración en:

$$f_o - f_R = \Delta f = f_o \frac{v}{c}$$

y tomando intervalos, suficientemente cortos puede considerarse que el valor de la diferencia de frecuencia en el centro del intervalo es:

$$\Delta f = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (f_o - f_R) dt}{\Delta t}$$

pero:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_o - f_R) dt$$

$$\therefore \Delta f = \frac{N}{\Delta t}$$

II.10 Doppler continuamente integrado: En esta medición se suman las cuentas Doppler de la siguiente manera. (Figura XI).

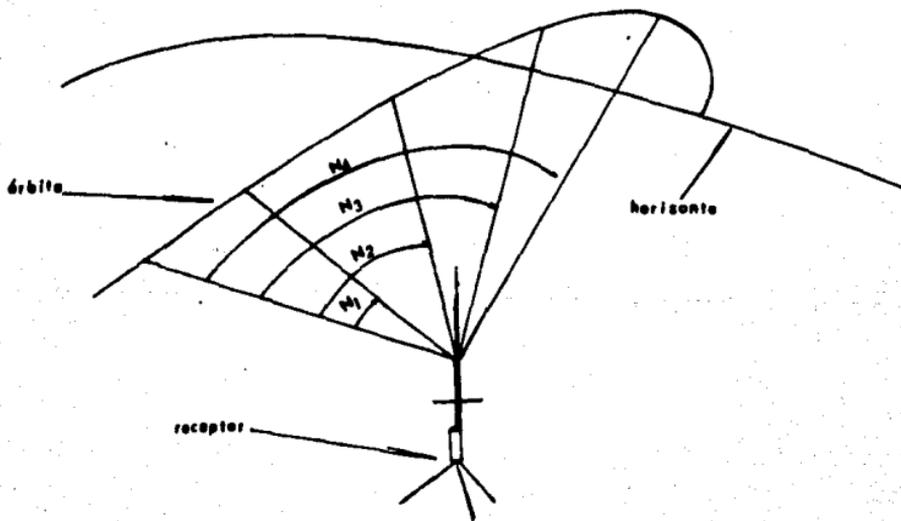


Figura XI

$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/c}^{t_2 + R_2/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_2 - t_1) + \frac{f_0}{c} (R_2 - R_1)$$

$$N_2 = \int_{t_2 + R_2/c}^{t_3 + R_3/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_3 - t_2) + \frac{f_0}{c} (R_3 - R_2)$$

$$N_3 = \int_{t_3 + R_3/c}^{t_4 + R_4/c} (f_0 - f_R) dt = (f_0 - f_R)(t_4 - t_3) + \frac{f_0}{c} (R_4 - R_3)$$

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

⋮

$$\therefore \text{Doppler continuamente integrado} = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n$$

II-11 Doppler integrado: Este sistema de medición es el que nos interesa para fines geodésicos, por lo tanto es el que describiremos. Sus límites de integración son las señales horarias emitidas por el satélite que como se ha mencionado anteriormente tiene un intervalo de 2 m. (Figura XII, XIII).

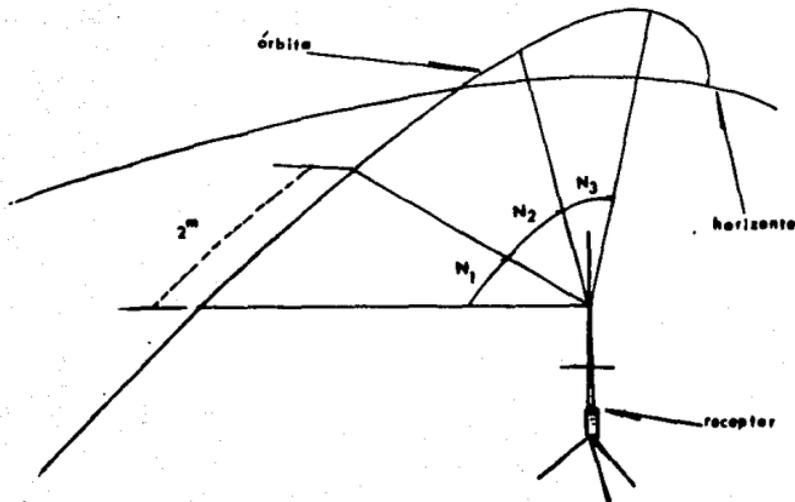


figura XII

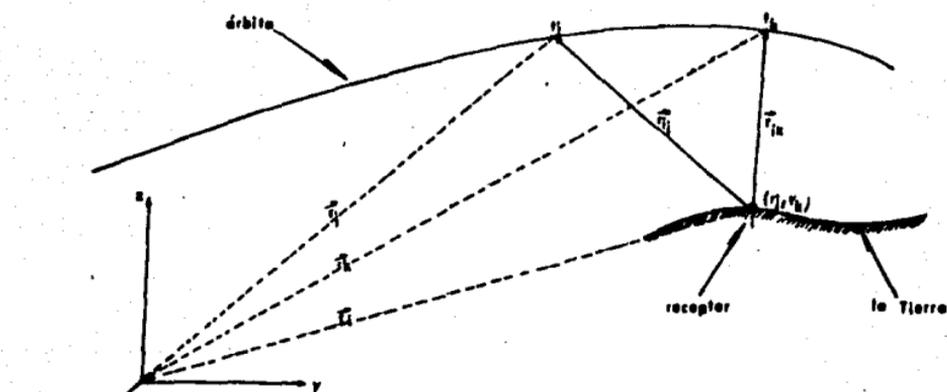


figura XIII

En la figura XIII se observa que una señal horaria transmitida por el satélite en una época t_j , será recibida en la Tierra en la época r_j esto lo podemos expresar con la siguiente ecuación :

$$r_j = t_j + \Delta t_j \dots \text{Ec. 1}^{\circ}$$

Lo mismo sucede, para una señal horaria transmitida por el satélite en una época t_k , que será recibida en la tierra en la época o en el instante r_k , cuya ecuación podemos expresar:

$$r_k = t_k + \Delta t_k \dots \text{Ec. 2}^{\circ}$$

Donde tenemos que:

r_j = vector posición del satélite en la época t_j

r_i = vector de posición del receptor

r_{ij} = distancia receptor - satélite en el instante j

r_{ik} = distancia receptor - satélite en el instante k

Aplicando la ecuación 3 (Ec. 3) entre dos posiciones consecutivas

vas j y k del satélite, tenemos:

$$N = \int_{t_j}^{t_k} \Delta f dt = \int_{r_j}^{r_k} (f_0 - f_R) dt \dots \text{Ec. 3}$$

$$N_{ijk} = \int_{r_j}^{r_k} \Delta f dr = \int_{r_j}^{r_k} (f_0 - f_R) dr$$

$$N_{ijk} = \int_{r_j}^{r_k} f_0 dr - \int_{r_j}^{r_k} f_R dr \dots \text{Ec. 4}$$

Donde:

r_j, r_R = son los instantes en que se recibieron las dos se
ñales horarias consecutivas.

Resolviendo la primera integral de la Ec. 4 considerando f_0 constan
tante y sustituyendo la Ec. 1' y Ec.2' tenemos:

$$N_{ijk} = \int_{r_j}^{r_k} f_0 dr - \int_{r_j}^{r_k} f_R dr \dots \text{Ec. 4} ; r_j = t_j + \Delta t_j \dots \text{Ec. 1}' ; r_R = t_k + \Delta t_k \dots \text{Ec. 2}'$$

$$\therefore \int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 (r_k - r_j) = f_0 [t_k + \Delta t_k - (t_j + \Delta t_j)] = f_0 (t_k + \Delta t_k - t_j - \Delta t_j)$$

$$\int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 (t_k + \Delta t_k - t_j - \Delta t_j) \dots \text{Ec. 5}$$

$$\text{pero: } \Delta t_k = \frac{r_k}{c}$$

$$\Delta t_j = \frac{r_j}{c}$$

$$\therefore \int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 \left(t_k + \frac{r_k}{c} - t_j - \frac{r_j}{c} \right)$$

$$\int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 t_k + f_0 \frac{r_k}{c} - f_0 t_j - f_0 \frac{r_j}{c}$$

$$\int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 t_k - f_0 t_j + f_0 \frac{r_k}{c} - f_0 \frac{r_j}{c}$$

$$\int_{r_j}^{r_k} f_0 dr = f_0 (t_k - t_j) + \frac{f_0}{c} (r_k - r_j) \dots \text{Ec. 6}$$

Resolviendo la segunda integral consideremos, que el número de ciclos recibidos entre la época r_j y r_k :

$$\int_{r_j}^{r_k} f_R dr$$

es igual al número de ciclos emitidos entre los instantes t_j y t_k , cambiando los intervalos de integración así:

$$\int_{t_j}^{t_k} f_S dt$$

$$\therefore \int_{r_j}^{r_k} f_R dr = \int_{t_j}^{t_k} f_S dt = f_S (t_k - t_j) \dots \text{Ec. 7}$$

• El número de ciclos son las frecuencias transmitidas por el satélite que son recibidas por el receptor. (Figura XIV)

f_1, f_2, f_3, f_n : Frecuencias transmitidas por el satélite y captadas por el receptor.

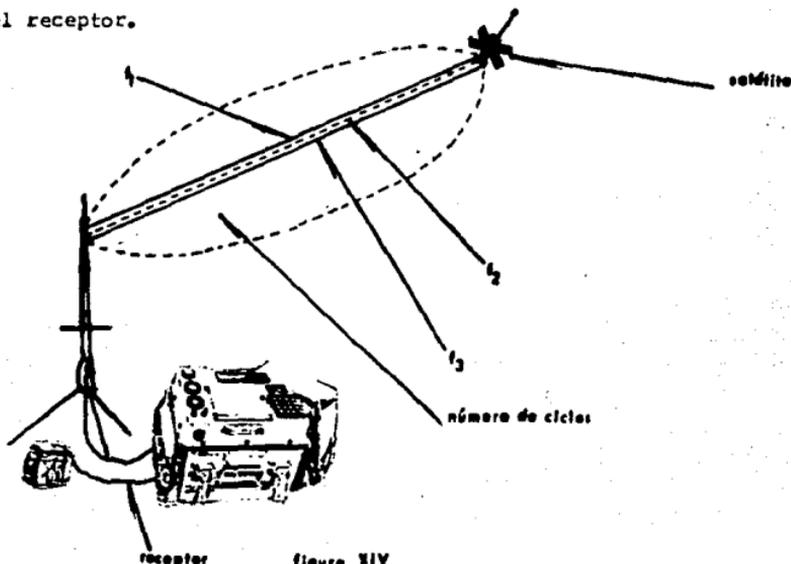


figura XIV

La ecuación siete (Ec.7) que es la ecuación de observación - la cuenta Doppler, aún sin corrección por refracción ionosférica; Finalmente la ecuación cuatro (Ec.4) nos queda de la siguiente manera:

$$N_{ijk} = (f_o - f_s)(t_k - t_j) + \frac{f_o}{c} (r_{ik} - r_{ij}) \dots \text{Ec.8}$$

Donde:

N_{ijk} , es medido por el receptor

$(f_o - f_s) = \Delta f$, incógnita

$(t_k - t_j)$, conocido = 120°

f_o , conocido frecuencia de referencia.

$$r_{ik} = [(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2 + (z_k - z_i)^2]^{1/2}$$

$$r_{ij} = [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2]^{1/2}$$

$(x_j, y_j, z_j), (x_k, y_k, z_k)$, coordenadas del satélite en la época j y k conocidas.

Entonces las incógnitas son cuatro que son:

I. Las tres coordenadas (x_i, y_i, z_i) de la estación y

II. La diferencia de frecuencia Δf

Para resolver esta ecuación necesitamos un mínimo de cuatro ecuaciones de observación para resolver las incógnitas (ya -- que se sabe que cuando se tienen 4 incógnitas necesitamos por lo menos 4 ecuaciones para resolver el sistema); que se obtienen fácilmente durante una pasada; pues como ya sabemos, el satélite du ra 18m sobre del horizonte, dando lugar a una máxima de nueve -- cuentas Doppler.

La ecuación ocho (Ec. 8)

$$N_{ijk} = (f_0 - f_s)(t_k - t_j) + \frac{f_0}{c} (r_{ik} - r_{ij}) \dots \text{Ec. 8}$$

Debe ser corregida por:

II.16 . Los efectos de la refracción ionosférica; esta depende de la medida del tiempo de propagación t que requiere la señal para ir y regresar a lo largo de una distancia D y -- utilizando dos frecuencias que en los receptores comercia les son 400 y 120 Mhz.

$$D = \frac{c}{2} t \dots a$$

Donde: \bar{c} = velocidad de la onda

$$\bar{c} = \frac{c_0}{\bar{n}} = \text{velocidad en el vacío} = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1} \cdot 1.2 \text{ ms}^{-1}$$

índice de refracción.

Como en la medición del tiempo para la luz y las microondas presentan dificultades al cruzar por la ionosfera, estas se modulan en las frecuencias ya indicadas.

$$t = \frac{r + \Delta\phi/2\pi}{f} \dots b$$

donde: r = número de periodos completos en el tiempo, se determina aplicando las frecuencias de modulación.

$\Delta\phi$ = diferencia de fase medida

f = frecuencia modulada (400 y 120 KHz).

sustituyendo b en a tenemos la corrección por refracción -- ionosférica.

$$D = \frac{\bar{c}}{2} \left(\frac{r + \Delta\phi/2\pi}{f} \right)$$

$$D = \frac{\bar{c}}{2f} \left(r + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \dots c$$

La ionosfera: Es una región de la atmósfera situada entre los 80 y los 1 500 Km de altura. En la cual se reflejan las ondas de radio, lo que permite que se puedan captar a gran distancia. La ionosfera refleja hacia la Tierra las ondas de la radio, de la misma manera que un espejo refleja la luz, si no fuera por la ionosfera no sería posible escuchar una transmisión de radio más allá del horizonte visible desde la antena transmisora. Esta limitación subsiste actualmente en la televisión. En esta capa sólo se encuentra una parte mínima del aire de la atmósfera. (Figuras IC y IIC).

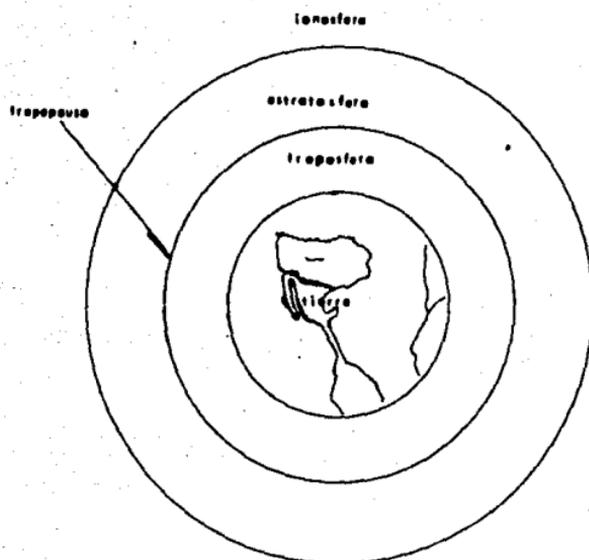


figura IC

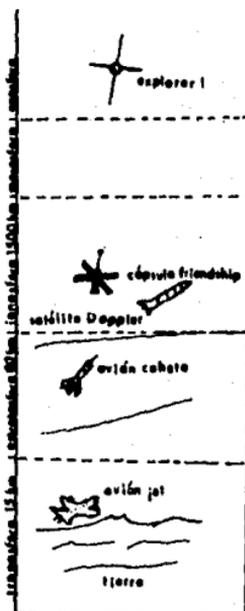


figura IIC

II.18 Los efectos de la refracción troposférica; no depende de la frecuencia y su corrección se efectúa con base a un modelo matemático. (Figura XV). La troposfera; tiene un espesor de aproximadamente 15 km en el ecuador y unos 10 km en los polos. Es la que está en contacto con el hombre porque en ella se producen todos los fenómenos atmosféricos, es la zona de los cambios de tiempo (movimiento intenso del aire, vientos y corrientes) y se forman las nubes y se producen las tormentas. Casi todo el vapor de agua de la atmósfera está en la troposfera. En ella se encuentran cerca de las 3/4 partes del aire de la atmósfera. (Figura ID y IID).

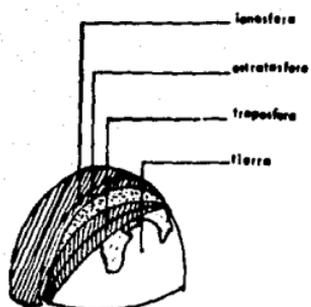


figura ID

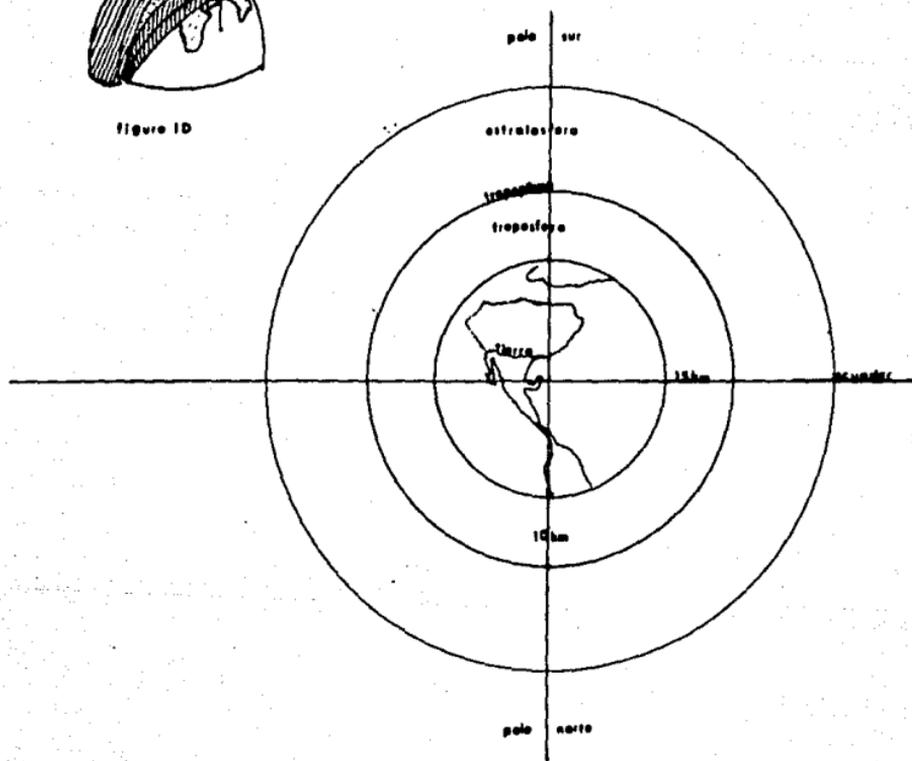


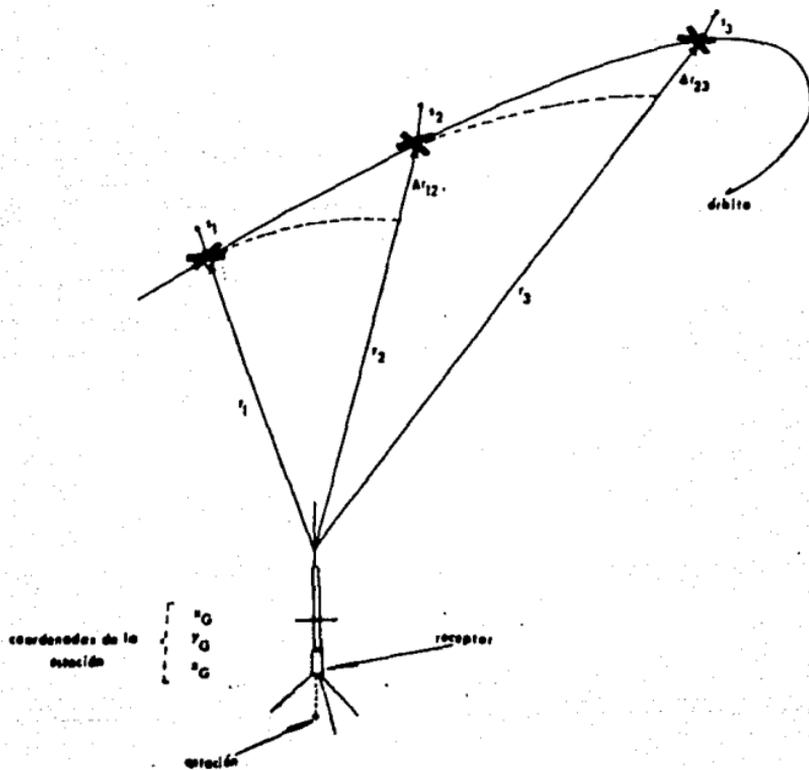
figura IID

FIGURA XV

II.20

MODELO MATEMÁTICO

Considerando la pasada de un satélite como se muestra en la figura.



Donde: $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$; son las posiciones del satélite en las épocas en que son enviadas las señales de tiempo (t^m).

$\left. \begin{array}{l} X_1, Y_1, Z_1 \\ X_2, Y_2, Z_2 \\ \dots\dots\dots \\ X_i, Y_i, Z_i \end{array} \right\}$ son las coordenadas cartesianas del satélite en sus respectivas posiciones; obtenidas de los efemerides.

$\Delta r_{12}, \Delta r_{23}, \dots, \Delta r_{jk}$; son las diferencias entre las sucesivas distancias de la estación al satélite.

El modelo matemático fue estudiado en la ec. 1 $f_T - f_R = \Delta f = f_T v/c$, cuando se dedujo la ecuación de observación de la cuenta Doppler - ec. 8 $N_{ijk} = (f_o - f_s)(t_k - t_j) + f_o/c (r_{ik} - r_{ij})$, pero a continuación lo explicaremos de una manera diferente.

Considerando las sucesivas posiciones del satélite tenemos -- que:

$$\Delta r_{12} = r_2 - r_1$$

$$\Delta r_{23} = r_3 - r_2$$

$$\vdots$$

$$\Delta r_{jk} = r_k - r_j \dots \text{Ec. 9}$$

donde: $i: 1, 2, 3, 4, \dots, n$
 $j: i+1$

Pero sabemos que:

$$\Delta r_{jk} = r_k - r_j = [(x_k - x_o)^2 + (y_k - y_o)^2 + (z_k - z_o)^2]^{1/2} - [(x_j - x_o)^2 + (y_j - y_o)^2 + (z_j - z_o)^2]^{1/2}$$

los subíndices j, k indican dos posiciones sucesivas del satélite.

De la ecuación ocho (Ec. 8)

$$N_{ijk} = (f_o - f_s)(t_k - t_j) + \frac{f_o}{c} \overbrace{(r_{ik} - r_{ij})}^{\Delta r_{jk}} \dots \text{Ec. 8}$$

Despejamos r_{jk} de la Ec. 8 tenemos:

$$N_{ijk} = (f_o - f_s)(t_k - t_j) + \frac{f_o}{c} \Delta r_{jk}$$

Sacando factor común denominador nos queda

$$N_{ijk} = \frac{c(f_o - f_s)(t_k - t_j) + f_o \Delta r_{jk}}{c}$$

$$N_{ijkc} = c[(f_0 - f_s)(t_k - t_j)] + f_0 \Delta v_{jk}$$

$$N_{ijkc} - c[(f_0 - f_s)(t_k - t_j)] = f_0 \Delta v_{jk}$$

$$\frac{N_{ijkc} - c[(f_0 - f_s)(t_k - t_j)]}{f_0} = \Delta v_{jk}$$

$$\frac{c[N_{ijkc} - (f_0 - f_s)(t_k - t_j)]}{f_0} = \Delta v_{jk}$$

Finalmente tendríamos que:

$$\Delta v_{jk} = \frac{c[N_{ijkc} - (f_0 - f_s)(t_k - t_j)]}{f_0} \dots \text{Ec.10}$$

Uniendo las ecuaciones ocho, nueve y diez (Ec.8, Ec.9 y Ec.10),

tenemos el llamado: modelo matemático.

$$F_i = v_k - v_j - \Delta v_{jk} = 0 \dots \text{Ec.11}$$

donde: $v_k = [(x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2 + (z_k - z_0)^2]^{1/2} \dots a$

$$v_j = [(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + (z_j - z_0)^2]^{1/2} \dots b$$

$$\Delta v_{jk} = \frac{c[N_{ijkc} - (f_0 - f_s)(t_k - t_j)]}{f_0} \dots c$$

sustituyendo a, b y c en la ecuación once (Ec.11) tenemos que:

$$F_i = [(x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2 + (z_k - z_0)^2]^{1/2} - [(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + (z_j - z_0)^2]^{1/2} - \frac{c[N_{ijkc} - (f_0 - f_s)(t_k - t_j)]}{f_0} = 0 \dots \text{Ec.12}$$

Como el satélite permanece 18m encima del horizonte, y cada -- cuenta Doppler dura 2^m, podemos tener un máximo de 9 ecuaciones como la Ec. 11 ó Ec. 12

Donde las incógnitas son:

x_0, y_0, z_0 : coordenadas de la estación.

Δf : cambio de frecuencia que se considera constante en -- cada pasada.

El sistema de ecuaciones que se obtiene es resuelto por el método de los mínimos cuadrados:

Fórmulas para ajuste por mínimos cuadrados

$$\hat{x} = (A'PA)^{-1} A'PF$$

$$\left. \begin{aligned} V &= A\hat{X} - F \\ \hat{F} &= FIV = A\hat{X} \end{aligned} \right\} \text{residuos observados ajustados.}$$

Donde:

\hat{X} , matriz de parámetros ajustados

A, matriz de los coeficientes de los parámetros

P, matriz de los pesos (unitaria)

F, matriz de las observaciones

V, matriz de los residuos

\hat{F} , matriz de las observaciones ajustadas

Sistema de ecuaciones

$$F_i = r_j - r_k - \Delta r_{jk} = 0$$

$$ax + by + cz = m$$

$$dx + ey + fz = n$$

$$gx + hy + iz = r$$

Donde:

$$A = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} m \\ n \\ r \end{bmatrix}; \quad \hat{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}; \quad P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \hat{F} = \begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \hat{F}_3 \end{bmatrix}$$

A^t ; matriz transpuesta

$$(A^t P A)^{-1}; \text{ matriz inversa} = \frac{1}{\det(A^t P A)} \text{adj}(A^t P A)$$

det.—determinante

adj.—adjunta

Solución al sistema de ecuaciones

$$A^t P = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix}; \quad A^t P = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix}$$

$$A^t P A = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2 + d^2 + g^2 & ab + de + gh & ac + df + gi \\ ba + ed + hg & b^2 + e^2 + h^2 & bc + ef + hi \\ ca + fd + gi & cb + fe + ih & c^2 + f^2 + i^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & s & t \\ uv & w & \\ x & y & z \end{bmatrix}$$

$$\det A^*PA = \begin{vmatrix} r & s & t \\ u & v & w \\ x & y & z \end{vmatrix} = rzv + uyt + xsw - xvt - ryw - ust = W^*$$

$$\text{adj}(A^*PA) = \begin{vmatrix} (-1)^{11} \begin{vmatrix} v & w \\ y & z \end{vmatrix} & (-1)^{12} \begin{vmatrix} u & w \\ x & z \end{vmatrix} & (-1)^{13} \begin{vmatrix} u & v \\ x & y \end{vmatrix} \\ (-1)^{21} \begin{vmatrix} s & t \\ y & z \end{vmatrix} & (-1)^{22} \begin{vmatrix} r & t \\ x & z \end{vmatrix} & (-1)^{23} \begin{vmatrix} r & s \\ x & y \end{vmatrix} \\ (-1)^{31} \begin{vmatrix} s & t \\ u & w \end{vmatrix} & (-1)^{32} \begin{vmatrix} r & t \\ u & v \end{vmatrix} & (-1)^{33} \begin{vmatrix} r & s \\ u & v \end{vmatrix} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} vz-yw & -(uz-xw) & uy-xv \\ -(sz-ty) & vz-xt & -(ry-m) \\ su-ut & -(rv-ut) & rv-us \end{vmatrix}$$

$$\text{adj}(A^*PA) = \begin{vmatrix} j & -k & l \\ m & n & -\bar{n} \\ o & -p & q \end{vmatrix} = jnq + mpl + ok\bar{n} + lno - \bar{n}pj - qkm = W''$$

$$\therefore (A^*PA)^{-1} = \frac{1}{W^*} W'' = W^{*''}$$

$$A^*PF = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ n \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} am+dn+gr \\ bm+en+hr \\ cm+fn+ir \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v^* \\ v^{*n} \\ v^{*r} \end{bmatrix}$$

$$\hat{X} = (A^*PA)^{-1} A^*PF$$

$$\hat{X} = W^{*''} \begin{bmatrix} v^* \\ v^{*n} \\ v^{*r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^{*''11} v^* \\ W^{*''12} v^{*n} \\ W^{*''13} v^{*r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

$$V = A\hat{X} - F = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m \\ n \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a\alpha + b\beta + c\gamma \\ d\alpha + e\beta + f\gamma \\ g\alpha + h\beta + i\gamma \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m \\ n \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n \\ n \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha - n \\ \beta - n \\ \gamma - r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha'' \\ \beta'' \\ \gamma'' \end{bmatrix}$$

$$\hat{F} = F + V = A\hat{X} = \begin{bmatrix} m \\ n \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha'' \\ \beta'' \\ \gamma'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m + \alpha'' \\ n + \beta'' \\ r + \gamma'' \end{bmatrix}$$

residuos observados
ajustados.

Y así es como ajusta el subálite los residuos observados para los efectos de la refracción troposférica.

Se manejan las frecuencias de 150 y 400 Mhz porque son las frecuencias que capta el receptor (Geocivers 1502) al pasar la señal por la ionósfera, ya que sin estas frecuencias y con la ayuda de la antena alargada que contiene el satélite no podría ser posible que el receptor captara las señales transmitidas por el satélite. Las características de estos satélites es que cuentan con cuatro paneles de celdas solares que cargan las baterías internas, una antena alargada que apunta en dirección a la Tierra transmitiendo las señales electromagnéticas. Se utiliza este tipo de antena alargada porque las ondas electromagnéticas se propagan en línea recta, es decir, cuando su frecuencia es mayor, más rectilíneo es el haz de dichas ondas. Si por el contrario la frecuencia es baja más se aproximaría el haz a la superficie curva de la tierra, es decir, que el radio de curvatura del haz se aproxima al radio terrestre, y es lo que se quiere, ya que no se estaría midiendo la distancia, sin embargo, si el haz es recto la distancia se puede medir con este tipo de satélite. (Figura XVII Y XVIII).

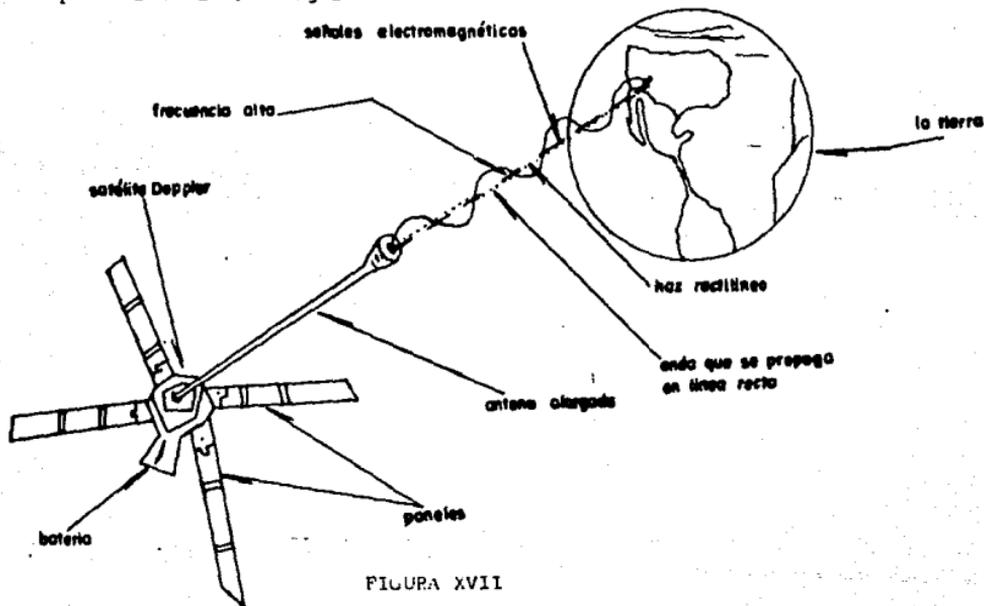


FIGURA XVII

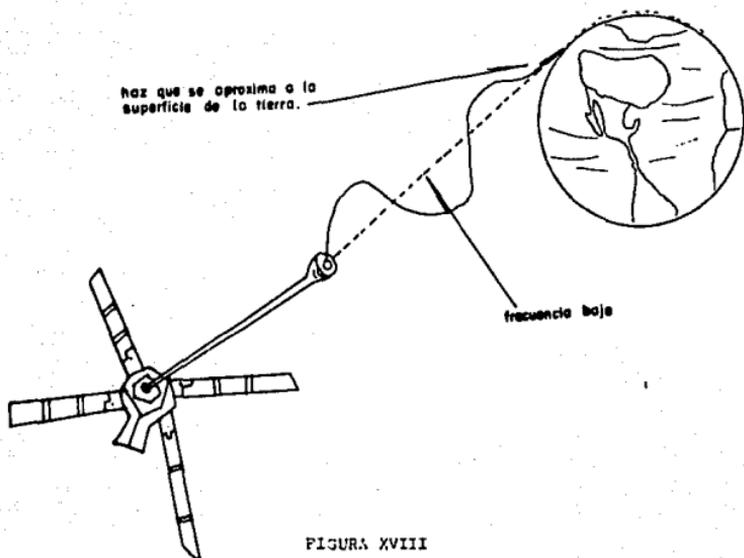
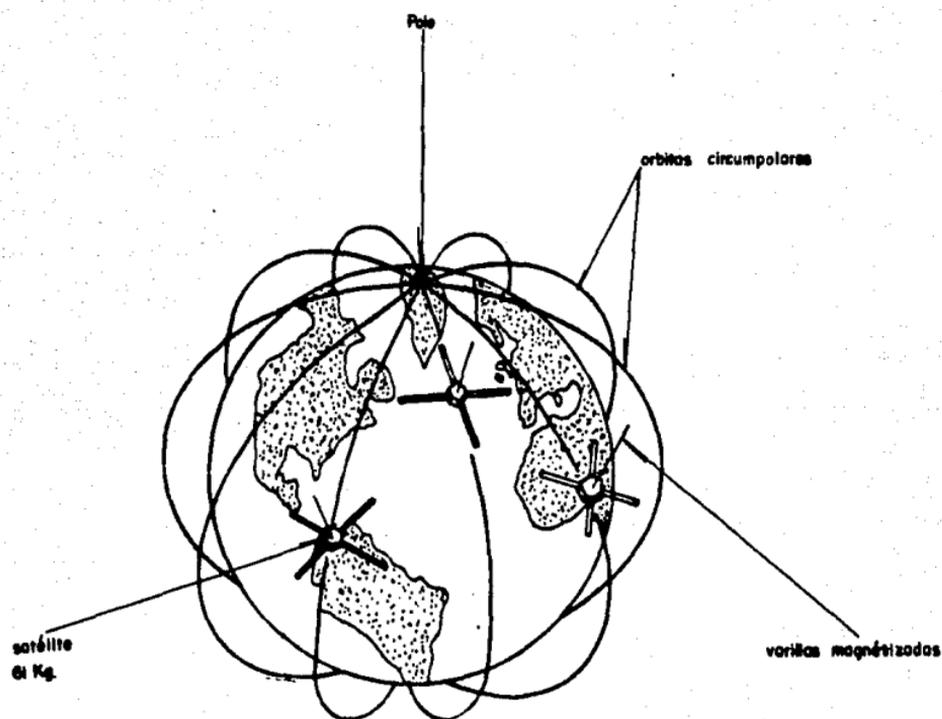


FIGURA XVIII

La antena se mantiene estable y alineada en dirección de la Tierra por medio de varillas magnetizadas. El peso de estos satélites es de 61 kgs. y siguen órbitas circumpolares, dando una vuelta, completa cada 107 m a una altura aproximada de 1100 kms. (Figura XVIII) Los satélites siguen órbitas de posición conocida según un sistema de coordenadas dado, éstas órbitas son actualizadas cada 12^h dependiendo de la latitud del observador y pueden sintonizarse en un tiempo que varía de 35 m a 100 m. Este se mantiene fuera del campo gravitatorio gracias a la velocidad circular que es más o menos 7.9 km/s a bajas altitudes, ya que es la velocidad requerida para que un vehículo (satélites) puedan permanecer fuera de la Tierra. (Figura XVIII).

**Figura XVIII**

El mensaje del satélite captado por el receptor en una estación terrestre permite conocer para una época específica la posición del satélite en un sistema de coordenadas cartesianas.

Una buena exactitud en la posición de la estación terrestre depende del modo de observación, si sólo se posiciona una estación, se requerirían unos 40 pasos de satélite para contar con coordenadas cartesianas (x_A, y_A, z_A) con un error en cada eje de 1.5 mts. Para lograr ésto, la medición Doppler y el mensaje del satélite son procesados en una computadora lo cual lo primero que hace es eliminar los errores en los parámetros (a_z, b_y, c_z) parámetro (valor numérico) orbitales recibidos del satélite. Luego calcula la posición del satélite al principio y al final de cada medición Doppler; la computadora también recibe como dato una posición preliminar en coordenadas geodésicas $(x_A, y_A, z_A) \Rightarrow$ (latitud, longitud, altura) sobre el elipsoide para la estación terrestre.

Pero existe un problema para determinar la altura ya que necesitamos conocer las alturas geoidales para poder comparar la información vertical en el datum del satélite como en el local, para poder determinar la altura. Puesto que el Datum del satélite esta referido a sus datos orbitales ó efemérides (precisas o pronosticadas), esta altura que es elipsoidal puede ser convertida en elevación si se conoce la altura geoidal para dicha posición. En cambio para el Datum local la altura esta referida a la elevación sobre el Nivel Medio del Mar y no ha alturas geoidales, pero estas elevaciones pueden convertirse en alturas elipsoidales si se conoce la altura geoidal. (Figuras Iay Iib.)

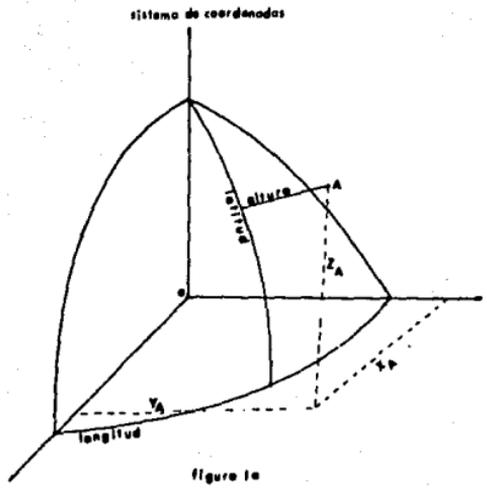


figura 1a

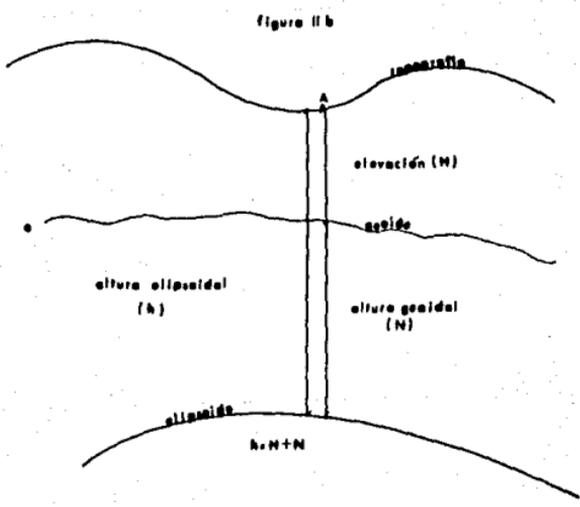


figura 11 b

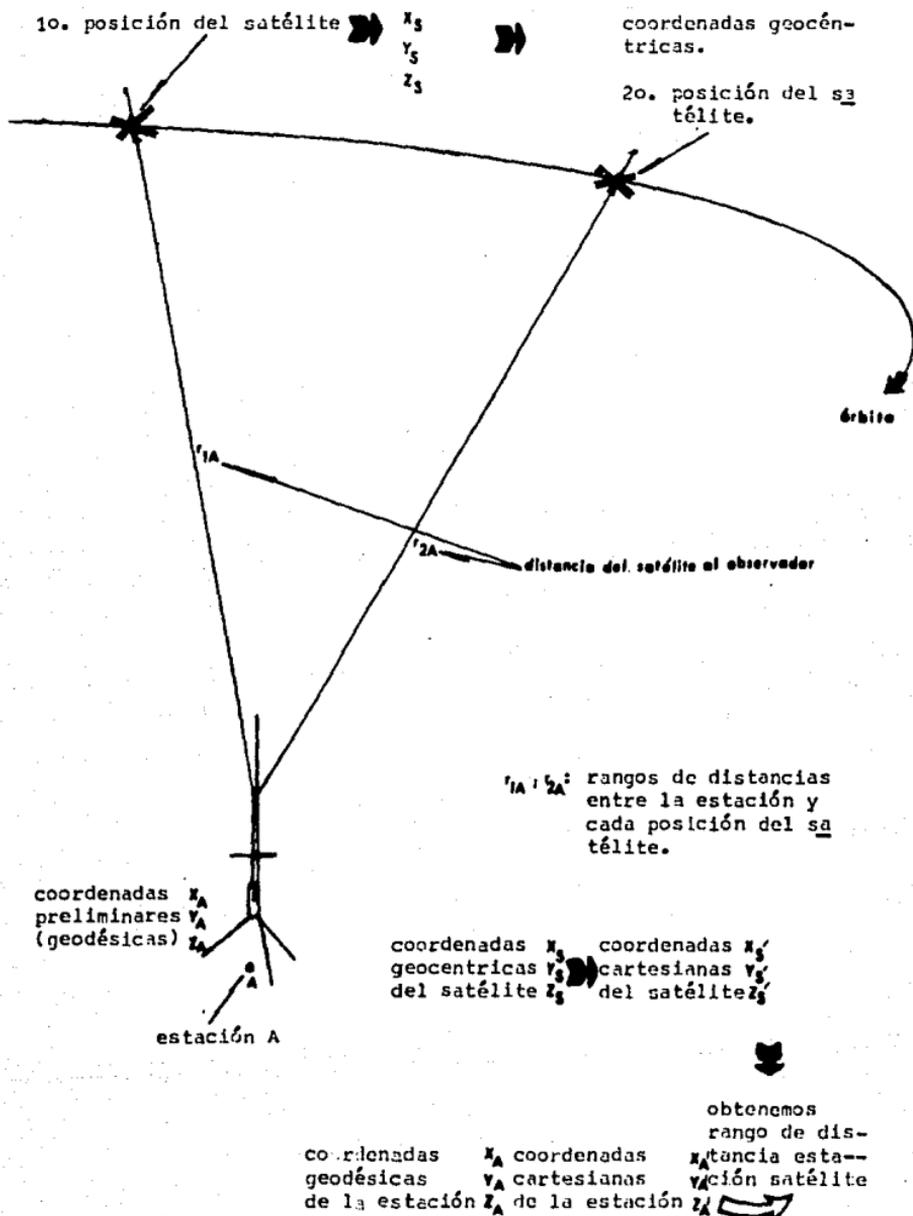


FIGURA XIX

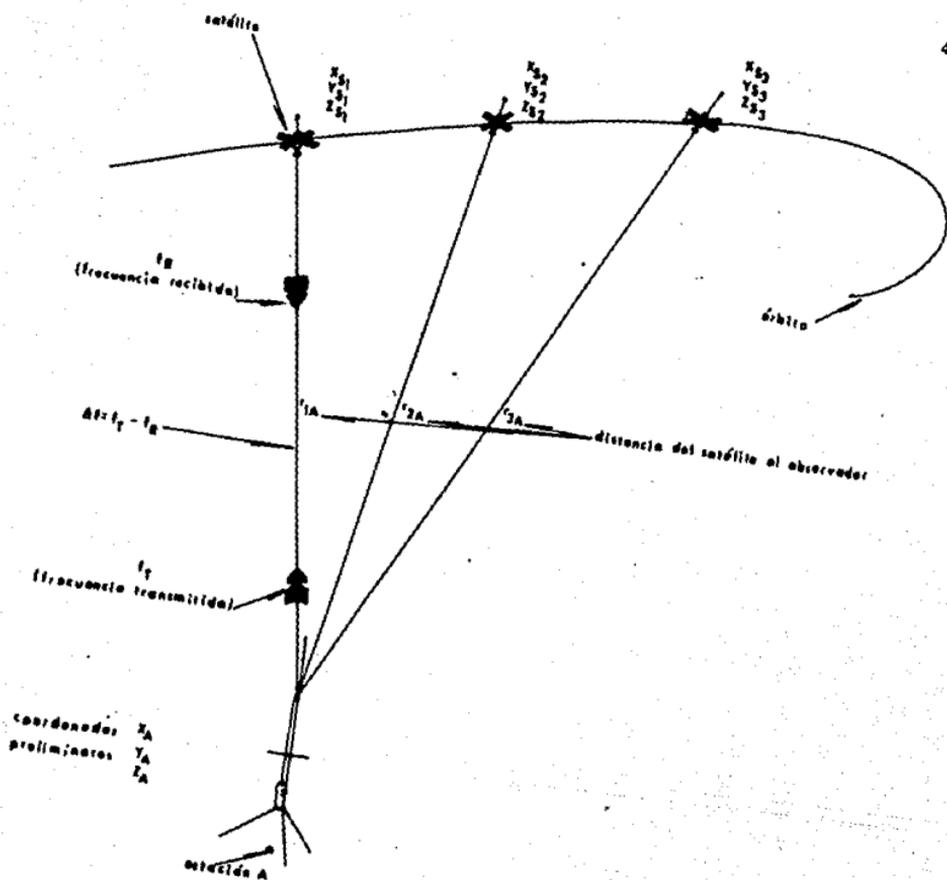


FIGURA XIX

IV.

GEOCEIVERS MX1502

Se habla de este instrumento portátil en este capítulo porque es uno de los aparatos que capta las señales de los satélites del sistema transit; por su precisión que tiene al aplicar cualquiera de las técnicas que existen para el posicionamiento de un punto en la superficie terrestre, estas técnicas pueden ser translocación, puntos independientes, translocación rigurosa, multi-estación, arco corto y arco semicorto, que se mencionan cada una más adelante; por encontrarse actualmente en el mercado y porque en México lo están, operando empresas muy fuertes como son Pemex, la Comisión Federal de Electricidad, etc.

La Magnavox que es una compañía de U.S.A. sacó al mercado este tipo de instrumento ya que está interesado en el desarrollo del sistema Doppler, desde 1967, comenzando en 1976 el desarrollo de un nuevo sistema topográfico por satélite, elaborando también equipos como el Geocivers MX1502 para que pudiera captar las señales de los satélites, entregando las primeras unidades a principios de 1978. Durante todo este tiempo la Magnavox ha estado a la vanguardia de la tecnología, creando equipos receptores y de procesamiento de datos compatibles con los satélites, cada vez más compactos y de capacidad, precisión y confiabilidad creciente. El Geocivers MX1502 ha ganado reputación por la exactitud y la confiabilidad debido a que un gran porcentaje de estas unidades siguen aún funcionando. Existen otros instrumentos portátiles que están diseñados al igual que el Geocivers MX1502 para recibir las

frecuencias de los satélites del sistema transit como son el:

CMA (COMPAÑIA CANADIENSE MACORNL, MONTREAL)

JMR (INC. INST. JMR, CHATSWORTH, CAL)

GEOS 1

GEOS 2

GEOS 3

El Geocivers MX 1502 ofrece una larga lista de destacadas características: es compacto; durable; confiable; fácil de usar y de mantener; alcance de 1000km entre dos instrumentos; no se afecta con las condiciones climáticas de día ya que opera sin inconvenientes a temperaturas entre -20°C y 50°C dentro de estos límites, no necesita otra protección que la normal contra rayos solares extremadamente intensos; compensación troposférica automática sin sensores externos; precisión interna incrementada; siete transformaciones de datum comunes normales para conversión entre el dato satelital y los datos locales; está diseñado con gran resistencia a los daños por vibraciones, estas vibraciones pueden ser debido al transporte terrestre o marítimo; golpes; humedad; puede resistir una caída de 60 cm sobre concreto sin que se dañen sus componentes operativos; está completamente integrado y aunque robusto ligero.

El Geocivers MX1502 consiste básicamente de:

IV.1 La unidad receptora que contiene:

- a. Una cadena receptora electrónica
- b. Un microprocesador
- c. Una cinta grabadora
- d. Un panel (tablero)
- e. Un oscilador de cristal.

Figura XX a

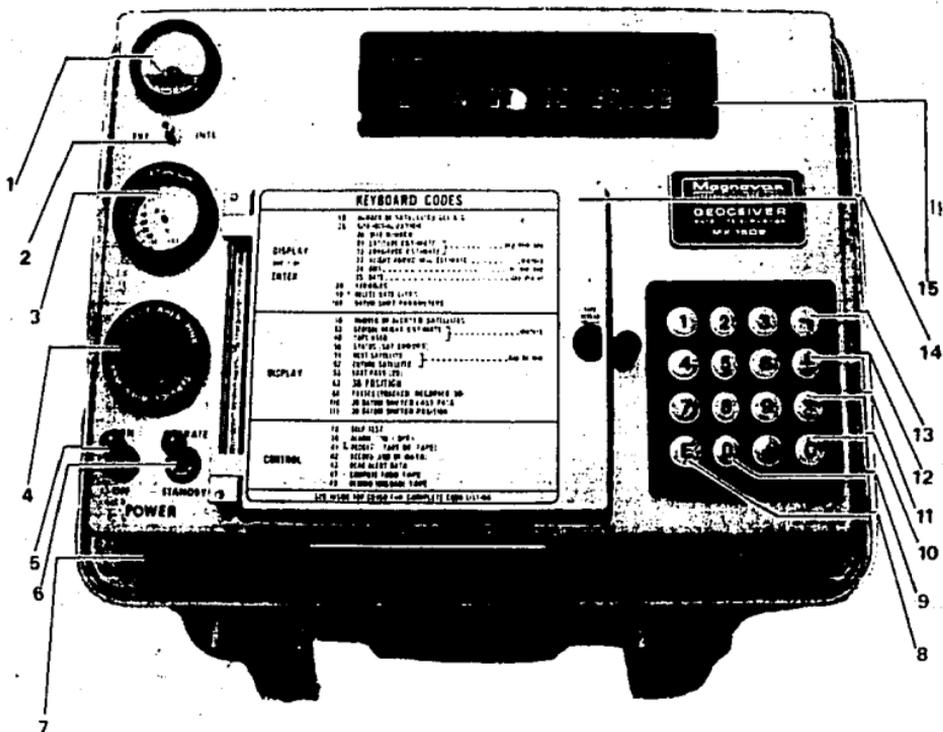
IV2 La unidad de antena:

- a. La antena/preamplificador de solo 7.7 kg. incluyendo tripo de y estuche.

Figura XX b

Figura XX a

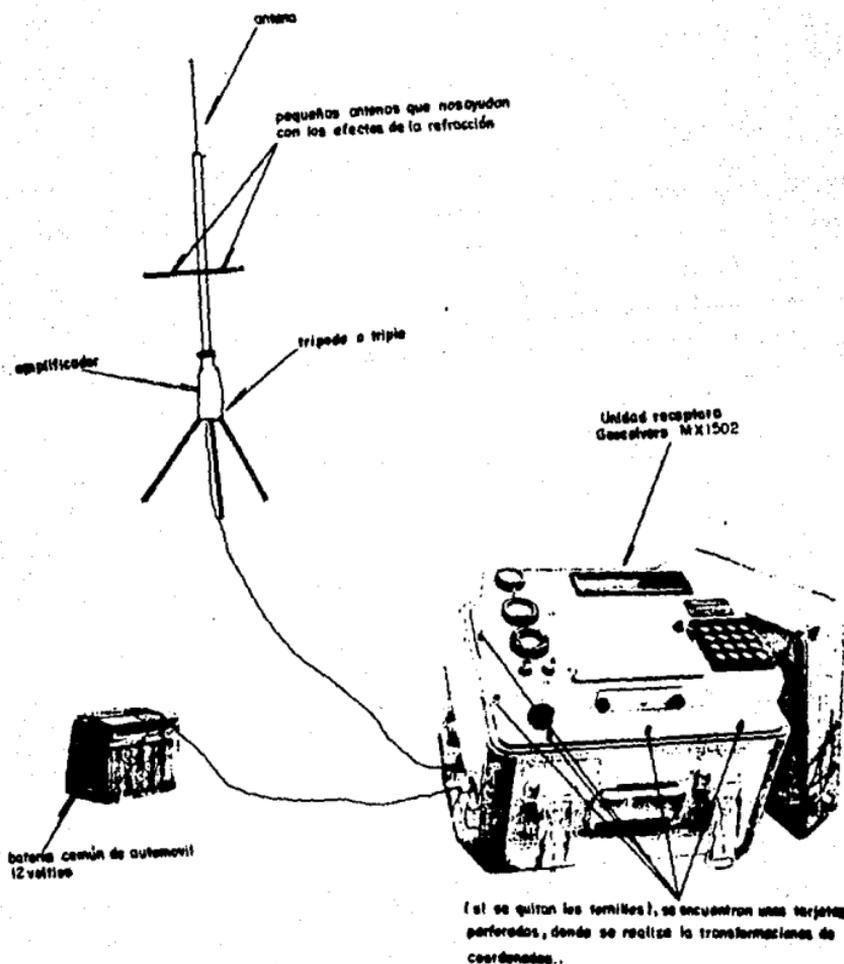
Geocelvers MX1502
Unidad Receptora.



- 1 Indica el voltaje
2 Conecta la batería interna, o externa, al medidor
3 Indica la temperatura interna
4 Desecante que absorbe la humedad interna
5 Interruptor de energía de la batería externa
6 Interruptor Operar/Esperar
7 Fusible
8 Entra el código, o los datos mostrados
9 Teclado del 0 al 9, para entrar códigos y datos
10 Tecla de borrado

- 11 Tecla para cambio de signo
- 12 Tecla de espaciar
- 13 Tecla para retroceder espacios.
- 14 Transporte de la cinta en cassette
- 15 Pantalla alfanumérica de 16 digitos.

Figura XX b
Unidad de Antena



IV.4 El Geocivers MX1502 grababa información del sistema Doppler sobre la cinta de papel, ahora graba datos computados y los propios del instrumento, al mismo tiempo que la información básica del satélite Doppler en un cassette de cinta magnética, que es extremadamente confiable. Los datos del posicionamiento son entregados en 2Dy 3D (2^a dimensión) que son datos computados automáticamente después de cada pasada válida de un satélite usable. Para algunas aplicaciones topográficas, la posición de un punto es automáticamente calculada en el campo, puede ser de suficiente exactitud de tal forma que ya no sea necesario ningún procedimiento posterior. Aunque si este no es el caso los resultados calculados son bastante valiosos, en la verificación del sitio correcto y -- una adecuada operación del equipo. A menudo a sido el caso en -- años pasados, que los datos regresados a la oficina para reduc- ción han sido encontrados erróneos y que el sitio de estudio (topográfico) ha tenido que ser reocupado. Cualquier topografo se da rá cuenta de la inconveniencia y costoso que resultan las observa ciones redundantes(cuando hay equivocaciones) y el valor de la -- confianza de buenos datos proveidos por sistema. Este aparato si- gue las señales automáticamente de fase modulada de 150 Mhz y 400 Mhz del satélite permitiendole al procesador que efectúe las co- rrecciones a medida que éste se mueve continuamente trasmitiendo información digital sobre su posición actual en función del tiem- po. Durante una pasada aceptable, el satélite se mantiene sobre -- el horizonte por unos 15 m o 18 m , dando una línea de base de -- aproximadamente 7000 km de largo. Con el efecto Doppler y los da- tos de posición el Geocivers MX1502 se calcula la posición de un punto de referencia en su antena relativa a la trayectoria del sa télite.

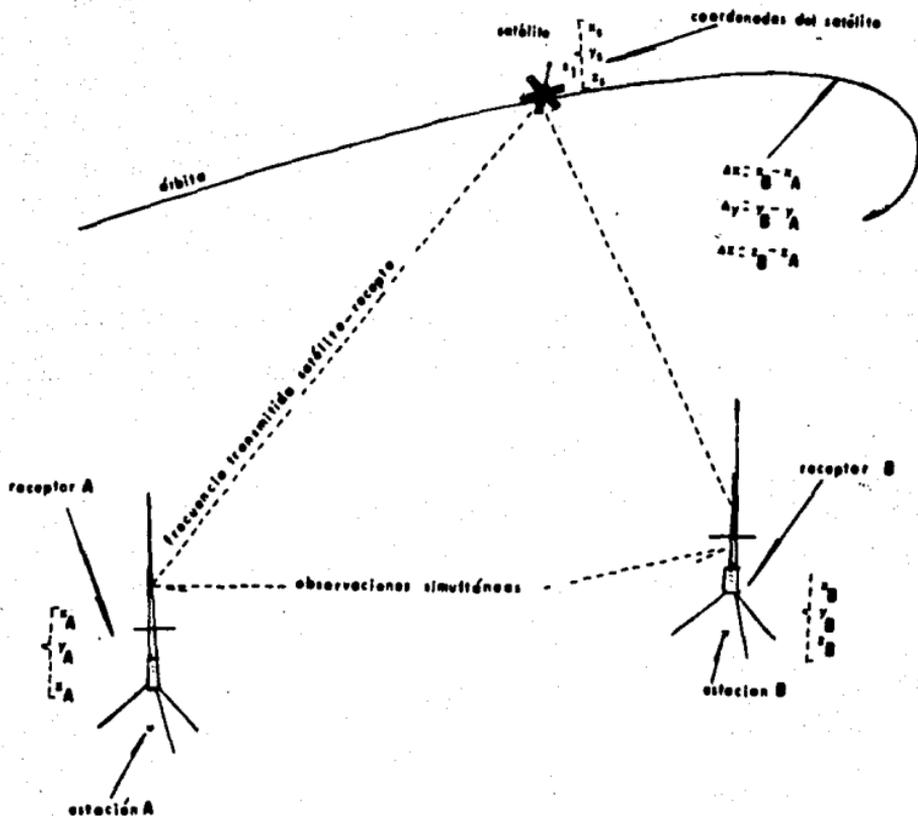


FIGURA XX

IV. 6 Posicionamiento por Translocación

Desde las dos estaciones se observan simultáneamente un conjunto de pasadas de satélite y solamente la porción de órbita que es común a las dos estaciones es utilizada para el cálculo de las diferencias de coordenadas, $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$, entre los dos puntos.

Los errores que puede tener el receptor son:

1. El ruido del oscilador; este ruido es el conjunto de sonidos (sensación engendrada en el receptor por las ondas) diversos, sin ninguna armonía. con el sistema del receptor.

2. Los retardos en los circuitos de tiempo.

Y son significativos los errores cuando la separación entre estaciones es pequeña.

La técnica de translocación aplicada con posición del satélite (efemérides pronosticada u operacional), esta efemérides pronosticadas u operacionales (observaciones aproximadas de la posición del satélite), quiere decir la posición que tendrá el satélite (X_s, Y_s, Z_s) en la órbita, cuyos calculos son hechos por las estaciones rastreadoras ya mencionadas, esto produce una precisión relativa de las estaciones de ± 0.50 mts, y cuando se utilizan las posiciones del satélite efemérides precisas ("posición exacta de la posición del satélite en su órbita"), pero después de haber pronosticado o supuesto la posición del satélite en su órbita, con estas efemérides precisas se obtienen mejores precisiones de ± 0.30 a ± 0.40 mts.

En la tabla CAPP se indica el número de receptores que se pueden utilizar para el posicionamiento de un punto, el número de pasadas útiles del satélite, posición del satélite (efemérides) y la precisión obtenida al utilizar el método de translocación.

IV.7

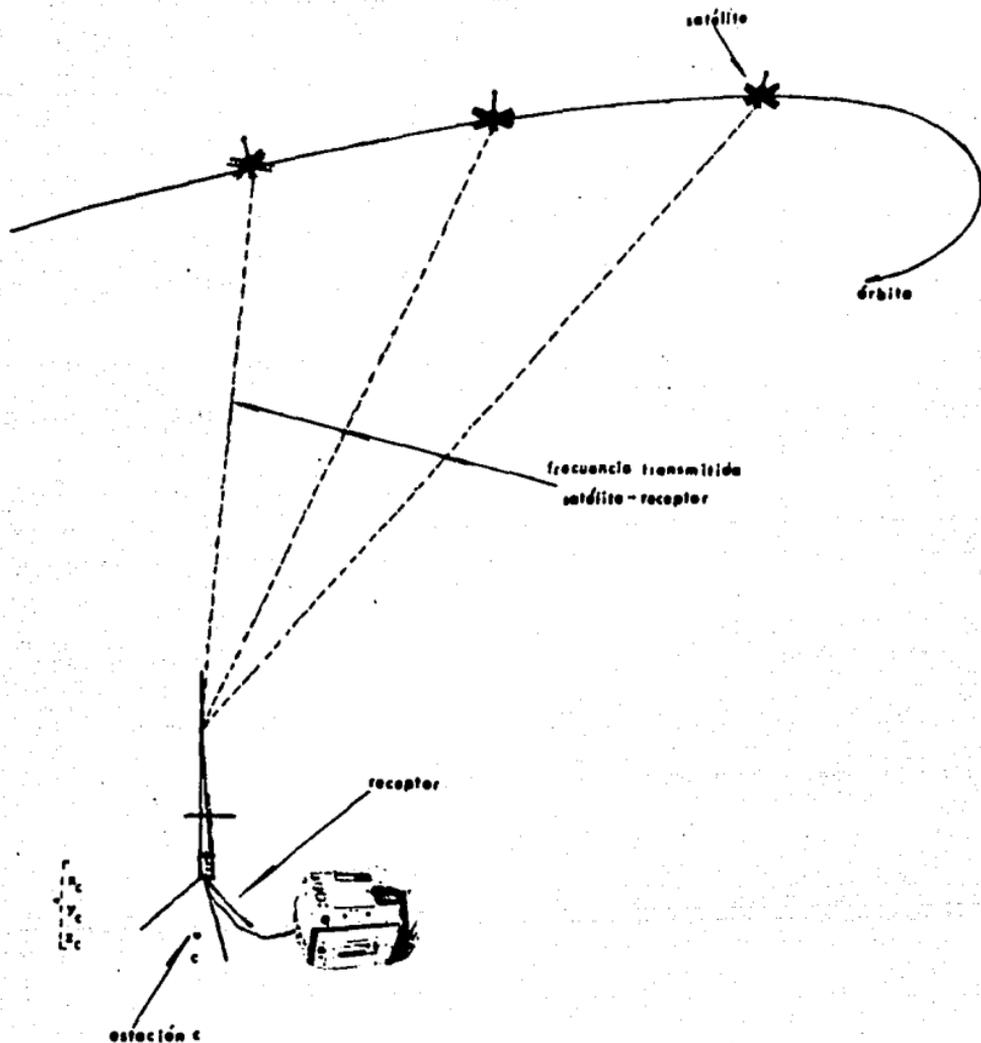
TABLA CAPP

Técnica de posicionamiento.	Número de receptores utilizados.	Número de pasadas útiles del satélite	Efemérides	Precisión.
Translocación	2	50	Transmitida	± 0.50 m
Translocación	2	17	Transmitida	$\pm (0.5-1.0)$ m
Translocación	2	4	Transmitida	± 2.0 m

El procedimiento de campo utilizando el método de translocación consiste en mantener un receptor fijo (estación maestra) en un punto de coordenadas conocidas, y desplazar otro ocupando las estaciones cuyas coordenadas son desconocidas.

IV.8 La translocación que es uno de los métodos más usados con técnica Doppler para el posicionamiento de puntos, se encuentra funcionando con 6 satélites actualmente con un período de 36 h en los cuales se deben producir alrededor de 25 pasos usables. Como la distancia de translocación es corta, muy poco de estos pasos serán pasos rechazables comunes a ambas estaciones.

Puntos independientes ó simples: requiere solamente un receptor, el cual se instala en los puntos requeridos, determinando su posición de los puntos sin que exista una relación entre ellos. Y se supone que los elementos orbitales del satélite son perfectamente conocidos y libres de errores sistemáticos. Figura XXII



IV.9

Posicionamiento Por Puntos Independientes
Figura XXII

En la tabla CAP se indica el número de receptores utilizados, el número de pasadas útiles del satélite, la posición del satélite (efemérides) y la precisión utilizando el método de puntos independientes ó simples.

IV.10

TABLA CAP

Técnica de posicionamiento.	Número de receptores utilizados	Número de pasadas útiles del satélite.	Efemérides	Precisión
Por punto ó simple.	1	15	Transmitida	\pm 10.0m
Por punto "	1	50	Transmitida	\pm (4.6)m
Por punto "	1	30	Precisa	\pm 1.0 m
Por punto "	1	40	Precisa	\pm 0.7 m

Se han hecho estudios comparativos empleando la técnica de Translocación como puntos independientes, para la posición de un punto. La utilizada por DETENAL fue establecer este punto con técnica de Translocación utilizando efemérides precisas. La utilizada por C.F.E fue la técnica de puntos independientes, con efemérides transmitida, esta comparación fue hecha en la estación "La Ratonera" situada en las cercanías de la Ciudad de Guadalajara Jalisco cuya estación 30982 Doppler es de 1er. orden obteniendo los siguientes datos.

Estación 30982 "La Ratonera" observada por DETENAL

$$N = 20^{\circ}42' 17 ".789$$

$$W = 103^{\circ}30' 11 ".202$$

$$h = 1925.64 \text{ m}$$

Lo que determino C.F.E. utilizando puntos independientes fue:

$$N = 20^{\circ}42' 17 ".397$$

$$W = 103^{\circ}30' 11 ".287$$

$$h = 1926.26 \text{ m}$$

Las diferencias encontradas fueron las siguientes:

en latitud 0.587 lo que significa un desplazamiento de 12.30 m

en longitud 0.085

en altura elipsoidal 0.62 m

IV-11 Los resultados varían porque se utilizaron dos sistemas de -- coordenadas diferentes (efemérides precisas y efemérides transmitidas) y por que la precisión del punto observado por C.F.E., está -- de acuerdo con el punto base establecido por posicionamiento puntual que es más imprecisa.

Se ha utilizado la translocación entre dos estaciones Doppler de 1er, orden pertenecientes a la Dirección General de Geografía. Este trabajo se realizó entre dos estaciones Doppler de 40 pasos con efemérides precisas observadas por DETENAL, localizadas en México, D.F., y son la No. 47543 IPN y la 47568 UNAM. La placa de -- aluminio de la UNAM se ilustra en la figura WX

Los datos obtenidos fueron:

Estación 47568 UNAM, utilizando "efemérides precisas"

$$N = 19^{\circ}19' 51", 584$$

$$W = 99^{\circ}11' 01", 980$$

$$h = 2325.39 \text{ m}$$

Estación 47543 IPN, utilizando "efemérides precisas "

$$N = 19^{\circ}30' 07", 644$$

$$W = 99^{\circ}08' 03", 663$$

$$h = 2273.67 \text{ m}$$

Datos de la estación IPN, observada por la C.F.E.

$$N = 19^{\circ}31' 07", 653$$

$$W = 99^{\circ}08' 03", 710$$

$$h = 2265.04 \text{ m}$$

El Az y la distancia calculadas con las coordenadas obtenidas con efemérides precisas.

UNAM - IPN

$$Az = 195^{\circ}20' 55", 67$$

$$\text{Distancia} = 19643.76 \text{ m}$$

El Az y la distancia obtenidas utilizando técnica de Translocación:

UNAM-IPN

Az = $195^{\circ}20'41''.02$

Distancia = 19643.67 m

Las discrepancias obtenidas fueron de $14''.65$ en Az y de $0.09m$ en distancia, lo que hace que haya un desplazamiento de 1.40 en la estación IPN. Las variaciones obtenidas en esta prueba podrían deberse a los sistemas empleados (efemérides precisas y efemérides transmitidas).

IV.12 Las diferencias que existen entre la placa que se localiza en Ciudad Universitaria Facultad de Ingeniería que fueron obtenidas por métodos astronómicos (visando a los astros)

= $19^{\circ}19'50''$

= $99^{\circ}11'03''$

h = 2280 m

Y las que se obtuvieron por medio del satélite y utilizando - el método de translocación con efemérides precisas son:

$$\begin{aligned} &= 19^{\circ}19' 51",584 \\ &= 90^{\circ}11' 01",980 \\ h &= 2325,39 \end{aligned}$$

IV.13 Diferencias obtenidas de la cúpula de Ingeniería, a la placa.

$$\begin{aligned} &= 1",584 \\ &= 1",020 \\ h &= 45.39 \text{ m} \end{aligned}$$

En latitud y longitud fueron muy pocas las diferencias obtenidas, pero en h si hay una variación que puede deberse al problema que existe para el cálculo de la altura, puesto que necesitamos conocer la altura geoidal, ya que cuando se posiciono el punto de la cúpula por método tradicional se tomo la altura con respecto al nivel medio del mar y la del satélite a una altura geoidal.



Techo del 4º piso de la
fac. de Ing. donde se
localiza la placa po-
sicionada con saté-
lite Doppler.



Zona Urbana de Ciudad Universitaria

GUIA DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA

1.-	Alberca	D4	29.-	Facultad de Ingeniería, Anexo	E5
2.-	Avenida Insurgentes	A2-G2	30.-	Facultad de Medicina	G6
3.-	Avenida Revolución	A1	31.-	Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia	G6
4.-	Avenida Universidad	A2-A4	32.-	Facultad de Odontología	B5
5.-	Biblioteca	C3	33.-	Facultad de Psicología	B2
6.-	Centro de Ciencias del Mar y Tierra	D6	34.-	Facultad de Química "A"	C5
7.-	C.E.L.E.	C-4	35.-	Facultad de Química "B"	C5
8.-	Centro de Estudios Nucleares	F5	36.-	Frontón Cerrado	F3
9.-	Circuito Escolar	37.-	Instituto de Astronomía	F8	
10.-	Circuito Exterior	G3-D6	38.-	Instituto de Biología	F6
11.-	Centro de Instrumentos	G3	38.-	Instituto de Física	F7
12.-	Centro de Investigación de materiales	F6	40.-	Instituto de Geofísica	F7
13.-	Coordinación de Investigación Científica	E6	41.-	Instituto de Geografía	E7
14.-	Correos	C2	42.-	Instituto de Ingeniería	E7
15.-	Depart. de Psiquiatría y Salud Mental	C7	43.-	Instituto de Ingeniería	D5
16.-	División de Estudios Superiores de Ingeniería	E5	44.-	Instituto de Investigaciones Antropológicas	C4
17.-	Escuela Nacional de Arquitectura	C3	45.-	Instituto de Investigaciones Biomédicas	C6
18.-	Escuela Nacional de Trabajo Social	A3	46.-	Instituto de Investigaciones en Matemáticas	
19.-	Estadio de Fútbol	E3	47.-	Aplicadas y en sistemas	D5
20.-	Estadio Olímpico	C1	47.-	Instituto de Matemáticas	F5
21.-	Esplanada	C4	48.-	Oficinas Administrativas Número 2	A3
22.-	Facultad de Ciencias	F6	49.-	Ratio Universidad	D2
23.-	Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	B4	50.-	Terminal de Autobuses	I2
24.-	Facultad de Contaduría y Administración	F4	51.-	Terminal de Trolebuses	B1
25.-	Facultad de Derecho	B3	52.-	Torre de Ciencias	C4
26.-	Facultad de Economía	B4	53.-	Torre de Humanidades	B3
27.-	Facultad de Filosofía	B3	54.-	Torre de Rectoría	C3
28.-	Facultad de Ingeniería	C4	55.-	Unidad de Biblioteca y Centro de Información Científica y Humanística	E7

IV.13a PLACA DE LA POSICION DE UN PUNTO POR SATELITE
DOPPLER. LOCALIZADO EN LA FACULTAD DE INGENIE
RIA.



Figura WX

IV.14 Datos obtenidos de la cúpula Ingeniería por métodos astronómicos y que fueron sacados del Anuario del Observatorio Astronómico de 1990.

118 ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO

Lugar	Latitud N.	Longitud N. G.	Altura metros	Punto geocéntrico de la Estación Astronómica	Astruidad
San Ignacio	27 10 21	106 19 28	970	Puerta Iglesia	C.G.E.
Santa Bárbara	26 48 13	105 49 01	1989	Puerta Parroquia	C.G.E.
Santa Isabel	28 20 34	106 22 01	1630	Esq. (NW) Torre Ig.	C.G.E.
Satevó	27 57 17	106 06 32	1368	Esq. (E) Torre Iglesia	C.G.E.
Temosachic	28 57 12	107 49 50	1900	Puerta Iglesia	C.G.E.
Valle de Zaragoza	27 27 40	105 48 35	—	Puerta Iglesia	C.G.E.
Valle del Rosario	27 19 05	106 17 41	1480	Torre Iglesia	C.G.E.

Distrito Federal

Alamo	19 23 55	99 08 30	2246	Obs. "Luis G. León"	S.A.M.
Atzacapozalco	19 28 48	99 11 07	2277	Torre Iglesia	C.C.
Ciudad Universitaria	19 20 01	99 10 54	2280	Poste Gravimétrico	I.G.
Ciudad Universitaria	19 19 50	99 11 03	22 80	Cúpula Ingeniería	I.G.
Coyoacán	19 20 54	99 09 45	2278	Torre Iglesia	C.C.
Cuajimalpa	19 21 33	99 18 01	2783	Vértice Catastral	C.C.
Chapultepec	19 25 11	99 10 52	2310	Caballero Alto	C.G.M.
Churubusco	19 21 17	99 08 56	2260	Vértice Catastral	C.C.
Guadalupe Hidalgo	19 29 09	99 06 56	—	Colegiata	C.H.V.M.
Ixtacalco	19 23 22	99 07 16	2261	Torre Iglesia	C.H.V.M.
Itapalapa	19 21 22	99 05 30	2280	Torre Iglesia	C.H.V.M.
La Piedad	19 24 03	99 09 20	2253	Iglesia	C.H.V.M.
México	19 25 59	99 07 58	2233	Torre (E) Catedral	C.G.M.
Mixcoac	19 22 37	99 10 55	—	Torre Iglesia S. Juan	C.H.V.M.
Mixquic	19 13 28	98 57 52	2260	Iglesia	C.H.V.M.
Nativitas	19 23 12	99 08 48	2246	Iglesia	C.H.V.M.
San Jerónimo	19 19 33	99 13 20	2394	Iglesia	C.H.V.M.
San Simón	19 22 36	99 08 39	—	Iglesia	C.H.V.M.
Tacubaya	19 24 10	99 11 40	2298	Mto. en D. de Geog.	C.G.M.
Tláhuac	19 16 06	99 00 16	2264	Iglesia	C.C.
Tlalpam	19 17 16	99 09 57	2294	Vértice Catastral	C.C.
Villa Obregón	19 20 41	99 11 21	2340	Pararrayo Convento El Carmen	C.G.M. C.C.
Xochimilco	19 15 44	99 06 07	2274	Torre Iglesia	C.C.

Durango

Ciudad Lerdo	25 32 14	103 31 28	1135	Torre (N) Parroquia	C.G.E.
Cuencamé	24 52 18	103 38 06	1889	Torre Parroquia	I.J.M.
Durango	24 01 31	104 40 11	1889	Torre (E) Catedral	D.G.M.
Gómez Palacio	25 34 18	103 30 17	1195	Loma Tanque	C.G.E.
Guanacrevi	25 55 59	105 57 31	2230	Kiosko del Jardín	I.J.M.
Indé	25 54 45	105 10 16	2049	Kiosko del Jardín Flores	I.J.M.
Llano Grande	23 52 02	105 12 07	2406	Frente Est. Borcelano F.C.	S.G.E. I.J.M.
Mezquital	23 28 57	104 22 18	1468	Torre Parroquia	I.J.M.
Nazas	25 13 40	104 06 53	1264	Torre Iglesia	C.G.E.
Nombre de Dios	23 51 04	104 15 25	1855	Torre Reloj Público	I.J.M.
Pueblo Nuevo	23 22 35	105 22 18	1982	3.9 m. de Esq. (NE) Hospital	S.G.E.
S. J. de Guadalupe	24 37 00	102 45 08	1520	Casa No. 10 de la Calle Marfil	D.G.M.
San Juan del Río	24 46 45	104 23 22	1737	Torre Reloj Público	S.G.M.
Santa María del Oro	25 56 53	105 19 56	1871	Torre Parroquia	I.J.M.
Santa María Ocotlán	22 54 44	104 36 10	365	A 4 m Esq. (NE) Ig.	S.G.E.

Existen otras técnicas para el posicionamiento de puntos como son:
IV.15 Translocación no rigurosa: en este método también como en la translocación los receptores se operan en forma simultánea, pero en el cálculo pueden entrar truchos de órbita que no son comunes a las dos estaciones. Figura XXIII

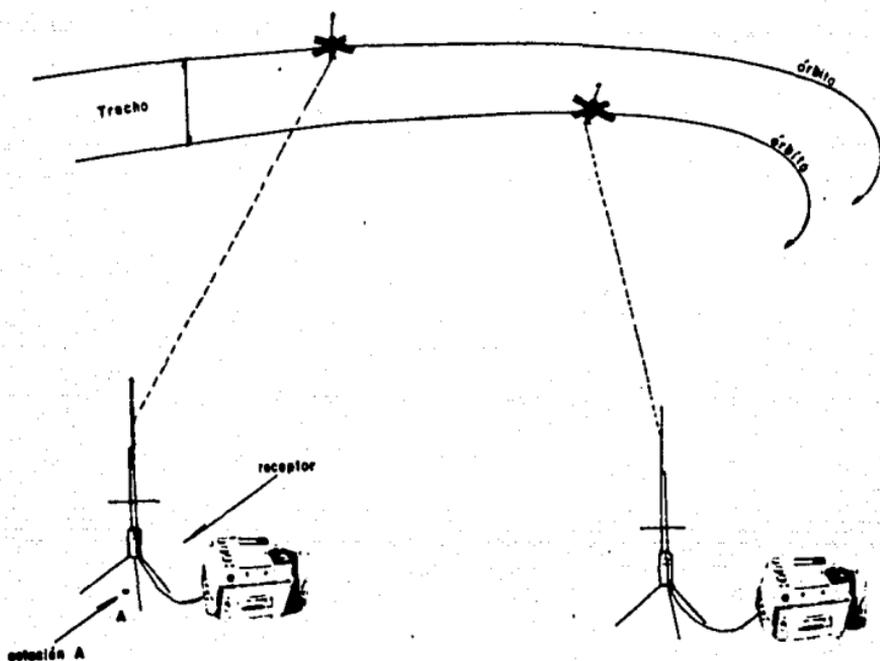


Figura XXIII

Posicionamiento Por Translocación no rigurosa

IV.16 Multi-estación: es una variante del método de translocación - utilizando la observación simultánea en tres o más estaciones; y - dándole el tratamiento de una pequeña red, que puede ajustarse por mínimos cuadrados, obteniendo una precisión mejor que con la translocación. Figura XXIV.

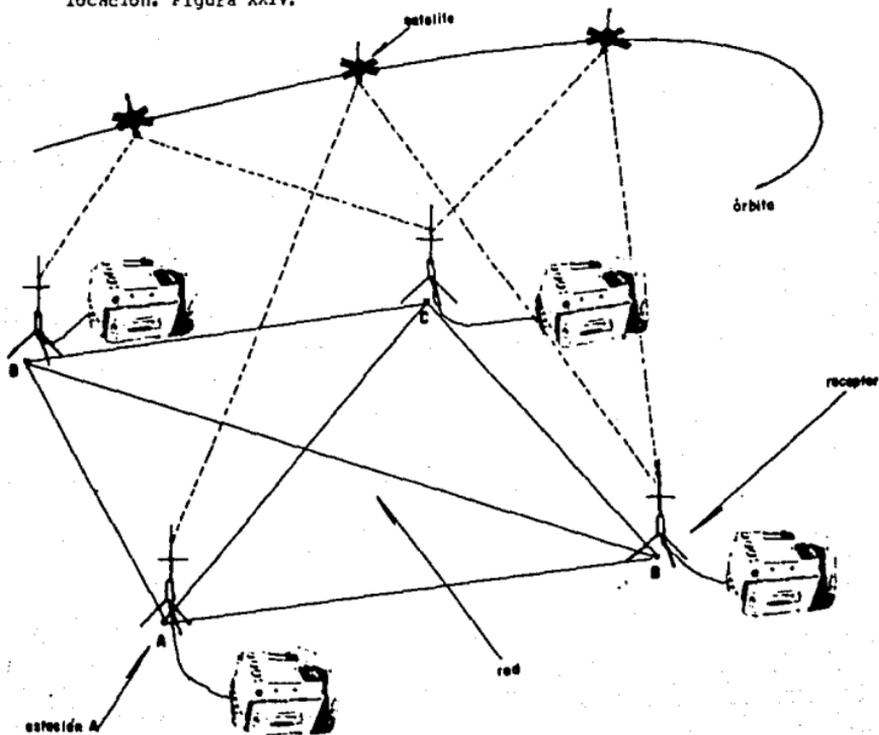


Figura XXIX

Posicionamiento por Multi-estación

IV.17 En la tabla PP se indica el número de receptores utilizados, el número de pasadas útiles del satélite, la posición del satélite (efemérides) y la precisión obtenida empleando el método de -- Multi-estación.

TABLA PP

Técnica de Posicionamiento.	Número de receptores utilizados	Número de pasadas útiles del satélite	Efemérides	Precisión
Multi-estación	3	20	Transmitida	± 0.30m

CORTO: Es un procedimiento de observación simultánea empleando varios receptores, pero es necesario conocer la posición de dos o más estaciones.

Trata de reducir los errores de la posición de satélites, para lo cual se requiere determinar el arco de órbita de los satélites y de su posición, para el período de observación. Figura. XXV.

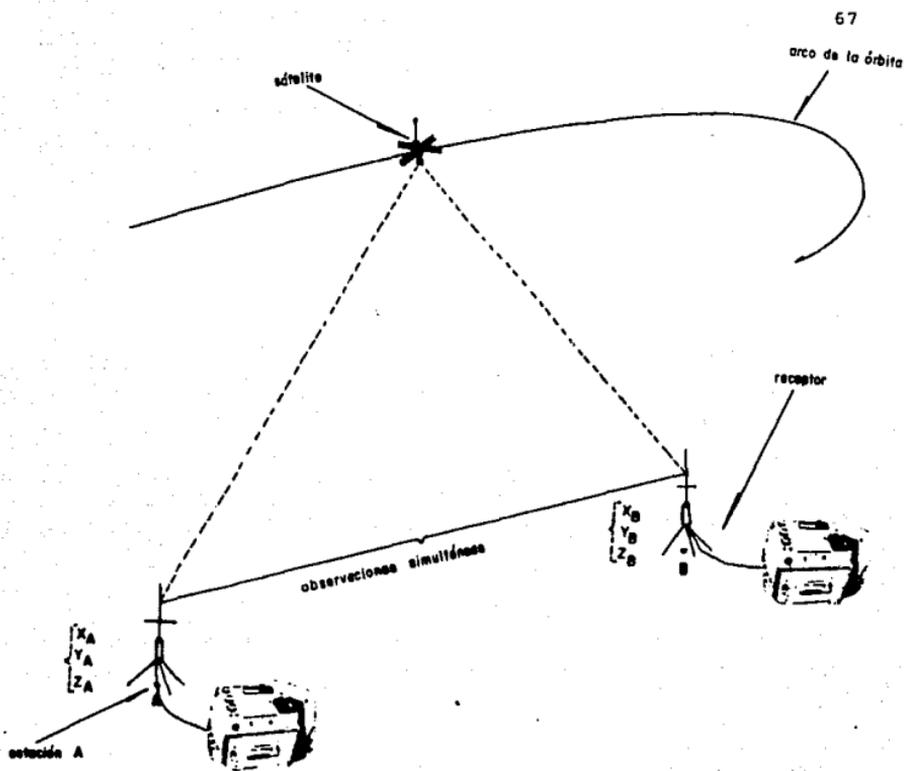
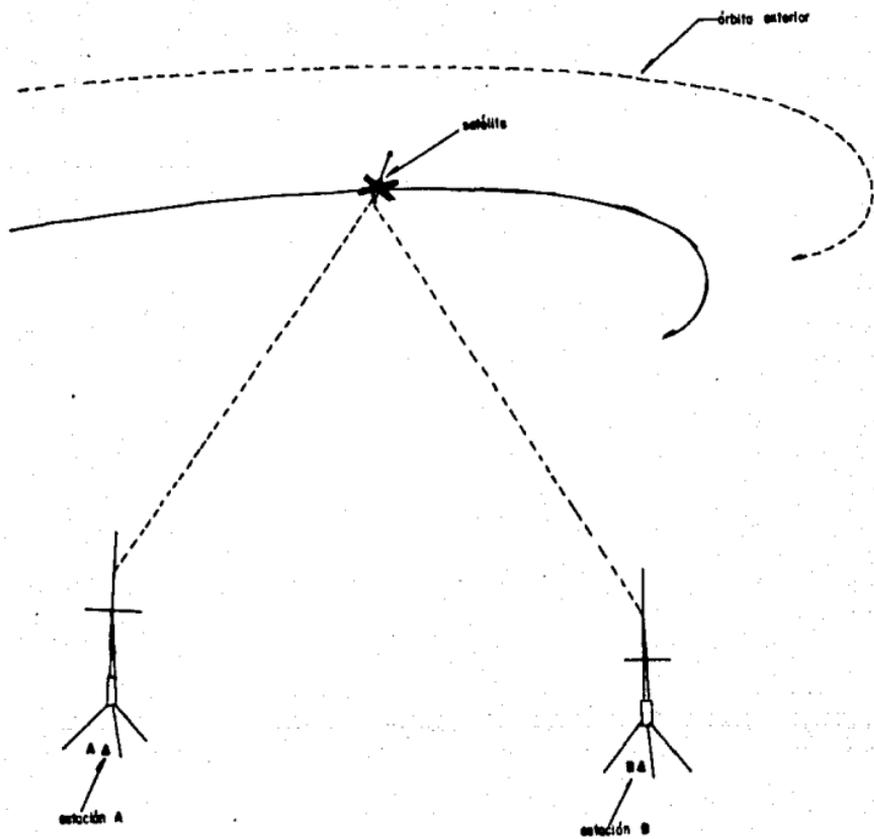


Figura XXV

IV.18 Posicionamiento por Arco Corto.

SEMICORTO: Es igual que el de arco corto pero en el cual se determinan las órbitas externamente (que viene de fuera o está fuera). Figura XXVI.



Arco semicorto
Figura XXVI

IV.20 En la tabla CA se indica el número de receptores utilizados, el número de pasadas útiles del satélite, posición del satélite (efemérides) y precisión que se obtiene utilizando la técnica de arco corto y semi-corto.

TALLA CA

Técnica de Posicionamiento	Número de Receptores utilizados	Número de Pasadas útiles del satélite.	Posición del satélite -- (efemérides)	Precisión
Arco Corto	Más de 3	40	Transmitida	\pm 0.2 m
Arco Semi-Corto	Más de 3	40	Transmitida	\pm 0.2 m

V. CONCLUSIONES

Los pasos a seguir para el posicionamiento de un punto por medio del satélite Doppler y el receptor son los siguientes:

1. Para la determinación de un punto se hace una serie de observaciones a los satélites. Estas observaciones se hacen en las cuatro estaciones rastreadoras situadas en:

Prospect Harbor (Maine)

Rosemount (Minnesota)

Point Magu (California)

Wahiawa (Hawaii)

Las cuatro estaciones rastreadoras pertenecen a la Red Opnet, esta red es posicionada en el sistema WGS-72. En este sistema de referencia ya que la mayoría de las organizaciones nacionales de topografía trabajan con este sistema. Este sistema es lo mismo que se hace cuando observamos un astro y obtenemos coordenadas locales (o geográficas) azimut, altura para tenerlas en coordenadas geodésicas hacemos una transformación tomando en cuenta el Datum Norte americano de 1927 (elipsoide de Clarke 1886) ya que este elipsoide son algunas medidas aproximadas de la Tierra, lo mismo sucede con el sistema geodésico mundial (WGS-72), obteniendo las coordenadas geográficas del punto, estas son transformadas al WGS-72, pero esto lo hace automáticamente el Geocivers MX1502, simplemente introduciéndole los parámetros por medio del teclado.

Por ejemplo en el centro del cálculo de Point Magu (california) es calculada la posición del satélite por medio de integración numérica de las ecuaciones del movimiento del satélite, y es pronosticada su órbita para las próximas 16 h. Con esta información re-

que proporcionan estas estaciones rastreadoras se elaboran los catálogos a anuarios que traen o que contienen la información requerida para el posicionamiento de un punto por medio del satélite - Doppler.

Esas efemérides pronosticadas (observaciones aproximadas de la posición del satélite cada 12 h.

2. Ya obtenida la información del satélite se escoge la técnica empleada para el posicionamiento del punto como puede ser:

- a) Translocación
- b) Translocación Rigurosa
- c) Puntos Independientes o simples
- d) Multi-Estación
- e) Arco { corto
 } semicorto

según la precisión que se quiera obtener en el trabajo para el posicionamiento de un punto. Los métodos que utilizan en México (como pemex) son: Translocación y Puntos Independientes, porque, son fáciles de emplear, se obtienen buenas precisiones en el empleo de estos métodos, y por ser más rápidos de realizar.

3. Ya obtenida la información del satélite en el anuario o catálogo con anterioridad y el método que se quiere emplear. Se coloca la antena en el punto del cual queremos posicionar. Pero quien decidirá la ubicación del equipo será el jefe de grupo en coordinación con las autoridades locales. Figura a'

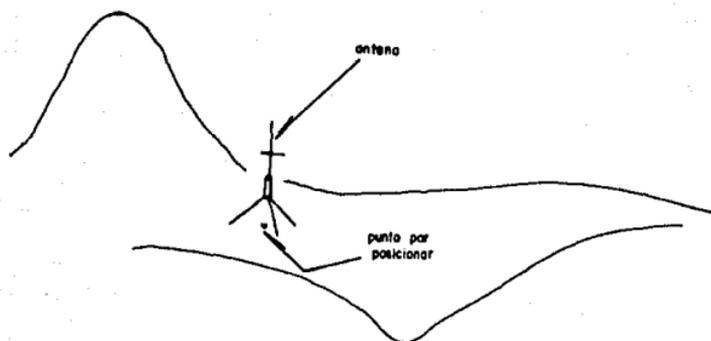


Figura a'

Para la ubicación de la antena se tomara en cuenta los siguientes factores.

I. Recepción de la señal: es conveniente que la antena la ubiquen en un lugar donde el horizonte no tenga obstrucciones a más de 10° de elevación, ya que la señal del satélite al llegar a la antena se propaga en línea recta y esta puede ser absorbida, reflejada, si hay objetos entre la antena del receptor y la del satélite Doppler. Figura "

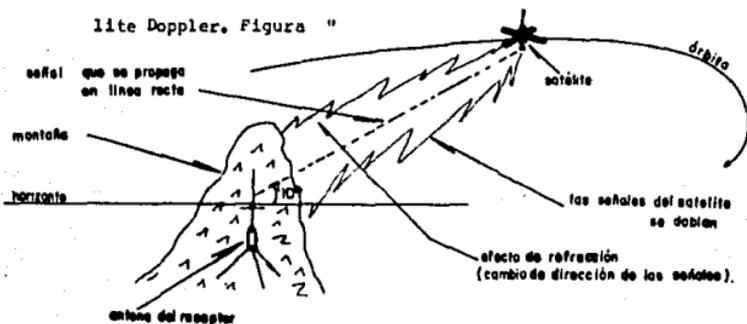


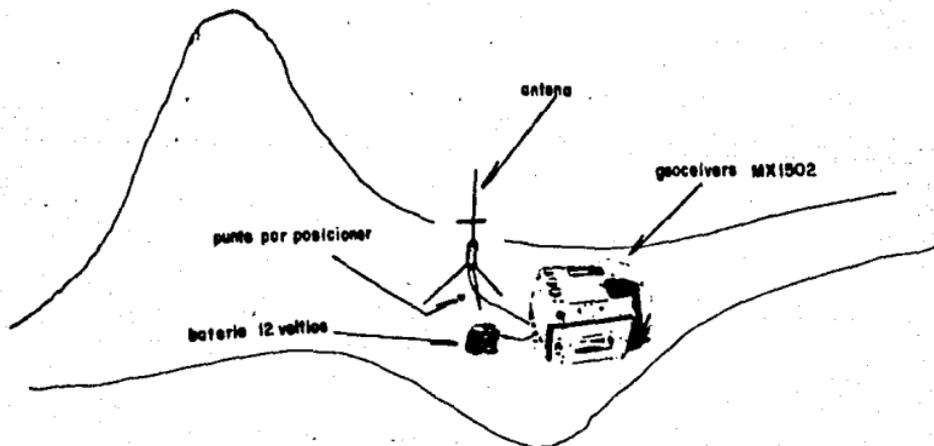
Figura a''

II. Señales de interferencia: la antena deberá estar en lugares donde haya un mínimo de interferencias de ondas de radio. Debe evitarse antenas de radar de frecuencia mediana y de comunicación de alta potencia, también frecuencias de 150 y 400 Mhz (radio transmisores) , ruido excesivo de los sistemas de encendido de vehículos motorizados. Ya que este tipo de frecuencias que transmiten cada uno de ellos dañan el equipo Doppler del satélite.

III. Condiciones ambientales de la antena: la antena del Geocelvers funciona a temperaturas de -50°C hasta $+65^{\circ}\text{C}$.

IV. Seguridad; la antena se instalara en lugares contra daños, robo o vandalismo. Cuando el personal de trabajo esté fuera de la estación es conveniente que la antena sea desmontada.

4. Ya instalado el equipo Doppler (antena, batería y Geocelvers MX1502) en el punto por posicionar y antes de empezar a recibir señales del satélite al receptor, se informará al cuartel general del grupo, sobre su llegada al lugar, con que medios cuentan y el domicilio donde los pueden localizar, también se informará sobre las condiciones en que se encuentra la estación. Figura B'



5. Hechos los pasos mencionados. Se inicia, simplemente, entrando por medio del teclado (que tiene el Geocivers MX1502 en la parte superior) la posición aproximada del lugar y la hora del meridiano de Greenwich y, si no ya esta en la memoria, la efemérides del satélite por medio del cassette (contrariamente, el sistema la adquirirá del mismo satélite). Figura C'

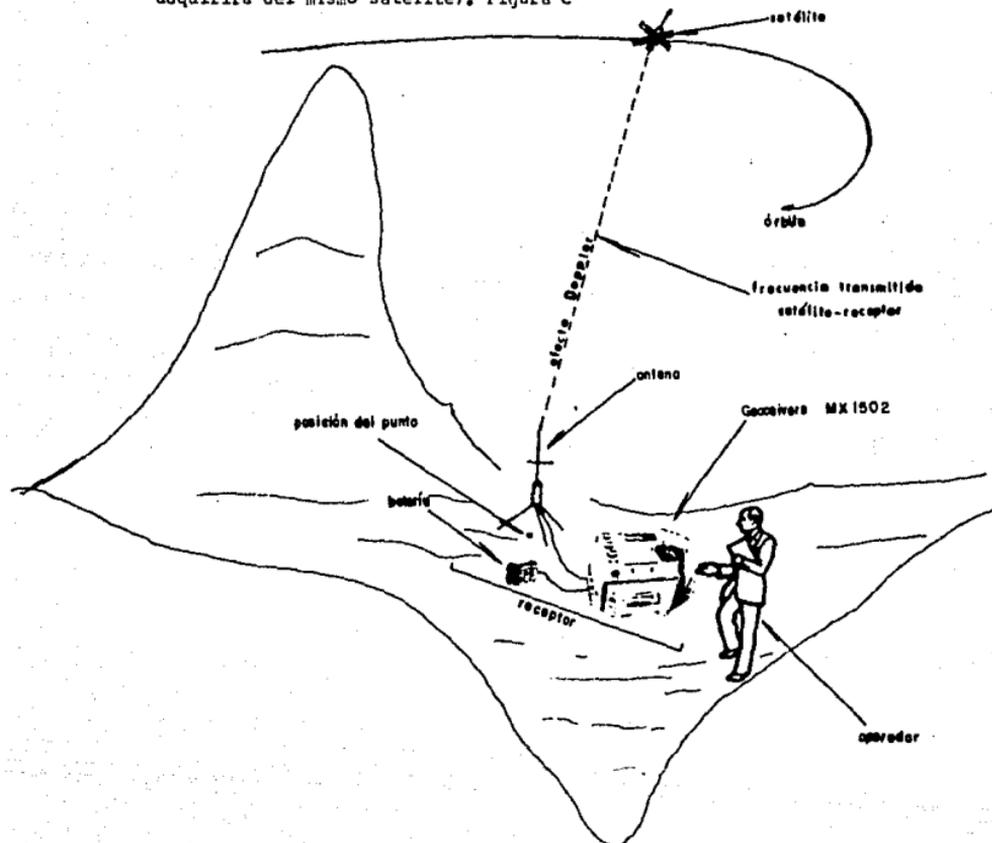


Figura C'

Después de la iniciación, la operación es totalmente automática, excepto cuando el operador deba comandar la lectura de datos - registrados.

A continuación se hace la descripción de un punto donde se -- realizo el posicionamiento de un punto con el satélite Doppler y - su equipo, en la ciudad de Peñitas en el Estado de Nayarit.

Estas hojas no fueron posible mostrarlas llenas por ser información confidencial de Pemex, así que solamente se muestran para - darnos cuenta de como se tiene toda esta información con el satéli te Doppler y su equipo en unos cuantos minutos.

Además el Registro de Observación y Registro de campo.

STATION 405

Nayarit

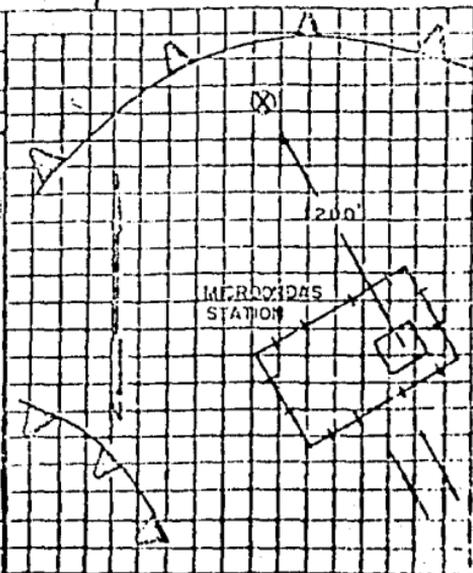
CITY Penitas

DATE 1979

DESCRIPTION

station is a four inch aluminum cap embedded in the rock, approximately 1,200' northwest of the Penitas Microondas station. The monument is level with the rock around it.

From the intersection of Mex 15 & the Tuxpan road proceed toward Tuxpan 500 meters to the Penitas Microondas turn off. Turn left & proceed along Cobblestone road 5 kilometers to the Microondas station. At the Microondas station proceed around the west side of the fence & follow the path to the station at the point of the bluff, approximately 1,200 feet. The station is witnessed by two one inch rebars extending one and a half feet above the rock.



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Abril 75

79

DMA TM
T-2-52220

REGISTRO DE OBSERVACION

Registro de Observación

Número de Estación 20059 Receptor DNA-005
 Año 1971 Antena DNA-005
 Altura de la Antena 6.135 m. Preamp. DNR-005
 Perforadora DNR-005

Elev. de Est. Elev. de Ant.	Vto-Fre./ W en (Hz) de 3000	Presión	Temp. Inca/ Temp. Sombra (°C)	Humedad/ Inmensal	Compresión de la Antena	Comentarios	Página	
							№	Correc.
1517157	151/1550	29.85	21.9/10.0	1/100	✓	5m @ 0004Z	✓	✓
1517162	151/1520	29.85	16.9/10.9	1/100			✓	✓
1517163	151/1500	29.90	16.1/10.5	1/100			✓	✓
1517169	151/1480	29.85	16.5/10.5	1/100	✓		✓	✓
1517170	151/1476	29.90	16.0/9.0	1/100			✓	✓
1517175	151/1465	29.92	17.8/7.0	1/100			✓	✓
1517176	151/1450	29.91	12.6/5.0	1/100		D. Ind. Antena 1230	✓	✓
1517182	151/1425	29.85	10.0/10.0	1/100	✓		✓	✓
1517185	151/1400	--	--	1/100	No Obs.	Ind. Antena Faltante	✓	✓
1517189	151/1380	29.91	14.5/6.9	1/100		5m @ 1100	✓	✓
1517190	151/1360	29.89	10.2/6.0	1/100			✓	✓
781	151/1316	29.89	21.5/10.5	2/100	✓		✓	✓
1517196	151/1290	29.83	21.0/10.3	1/100			✓	✓
1517197	151/1282	29.80	22.0/10.1	1/100			✓	✓
781	151/1260	29.91	12.8/7.0	2/100			✓	✓
1517202	151/1220	29.82	17.1/6.2	1/100			✓	✓

NOTA: Los comentarios que no quepan en la columna, se identificarán con un número y se continuarán al dorso de esta página.

DMA TM
T-2-52220

Abril 75

-80

REGISTRO DE EQUIPO

Registro de Equipo Geocelver

Receptor SN DHQ 009 Preamp SN DHQ 010
 Antena SN DHQ 005 Perforadora SN DHQ 010
 Año 1971 Página 4

Día	Total Cooperación	A. S. C. Dpto. Ref.	Cuerpo's Principales (1) / (2) / (3) / (4) / (5)	Cic / Camp Int. / (6) / (7) / (8) / (9)	Localidad (4) / (5) / (6)	Edific Instituc / (10)	Mediocr Antena de Recepción	Iniciales
225/1630	11111111	10026	Operational	Cosmopolitan	Denmark			
205/1630	6090	1.0/1.7	6.0/3.6	9.0/1.1	11/11		1384	
206/1513	6117	1.0/1.8	6.0/3.6	9.0/1.1	11/11			
227/2016	8116	1.0/1.8	6.0/3.6	9.0/1.1	11/11			
228/2120	6121	1.0/1.7	6.0/3.6	9.0/1.1	11/11	0.2(1)		
229/2036	6182	1.0/1.8	6.0/3.6	9.0/1.1	11/11			
100/2300	6210	1.0/1.8	6.0/3.7	9.0/1.1	(2)	1.1		
101/0005	6219	1.0/1.8	6.0/3.7	9.0/1.1	11/11			
102/1000	6231	1.0/1.8	6.0/3.7	9.0/1.1	11/11		1392	
103/1030	800000	10036	Rebas far S	Lund		1178 hrs.	TOTAL en Hora	

V.11 La técnica Doppler se utilizó en México en el año de 1972 por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), hoy - llamada Dirección de Geografía, por acuerdo con las agencias de -- los Estados Unidos, DETENAL, pudo establecer 17 estaciones Doppler en el país.

En el año de 1975 se establecieron 9 estaciones Doppler, de - las cuales 2 fueron determinadas para propósitos de cartografía -- únicamente.

En 1976 se utilizó como base para control cartográfico en un área de 53 000 km² en el sureste de México.

Pétroleos Mexicanos fue la segunda dependencia en utilizar -- equipos de posicionamiento Doppler en México, con el propósito de dar apoyo a sus trabajos cartográficos y en el posicionamiento de plataformas marinas.

En febrero de 1981, la Comisión Federal de Electricidad (C.F. E.) realizó posicionamiento Doppler, con el objeto de lograr una - fácil integración de los trabajos de posicionamiento a la Red Geodésica Nacional, contando así con un adecuado control geodésico pa - ra localizar los sitios donde puedan establecerse plantas generad^o ras de energía eléctrica, subestaciones, tendido de líneas de trans - misión; dentro de éste sobresale la localización de boquillas para plataformas hidroeléctricas, las cuales se encuentran en zonas mon - tañosas donde el control geodésico es regularmente escaso. Se han establecido a la fecha 150 estaciones Doppler a lo largo de todo - el país.

El posicionamiento Doppler se ha popularizado en dependencias Gubernamentales y de la iniciativa privada, entre los que podríamos mencionar la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, entre otras.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. Geodesy the Concepts V35
Vanícek Krakivisky

- II Geodesy
Bomford
Second Edition
Oxford

- III Geodesia
P.L Baestle
(Instituto Panamericano de Geografía e Historia No. 379)

- IV Revista Cartografica I P G H No. 38

- V Manual de Operaciones de campo
Determinación de puntos
Geodesico Doppler

- VI Topografía por satélite

- VII Revista Cartografica I P G H No. 51/52

- VIII Revista Cartografica I P G H No. 46

- IX Magnavox MX1502
Geocivers Satellite
Surveyor
(Sistema Preciso de Posicionamiento por punto y de Translocaciones).

- X Diario Oficial
Secretaría de Programación y presupuesto

XI Geodesia**Wolfgang Torge****XII Manual de Normas y Especificaciones para Levantamientos****Geodésicos de Alta Precisión en Areas Pequeñas****Comité de Geodesia del I P G H****Pub. No. 425**

VII.

G L O S A R I O

- Astro:** Cualquier cuerpo celeste: estrellas, planetas, cometas, satélites.
- Campo Eléctico:** La zona del espacio que rodea a una carga es, pues, diferente del espacio normal, a esta zona.
- Campo de Gravedad:** El que se deja sentir sobre un cuerpo; puede -- ser gravitatorio, electrónico, magnético.
- Campo Magnético:** Es la zona donde los polos de una brújula sufren -- una fuerza magnética.
- Celeste:** Relativo a firmamento
- Ciclo:** Período después del cual se repiten los mismos fenómenos en el mismo orden.
- Ciencia:** Conocimiento exacto y razonable de los fenómenos naturales.
- Círculo:** Superficie plana limitada por la circunferencia
- Circumpolar:** Alrededor del polo
- Circunferencia:** Curva cerrada y plana cuyos puntos equidistan del centro.
- Coordenadas Cartesianas:** Líneas que sirven para determinar la posición de un punto, y los ejes o planos a que aquellas líneas se refieren.
- Coordenadas Geográficas:** Conjunto de líneas (meridianos y paralelos) que permiten localizar un punto en la superficie de la Tierra. Longitud, Latitud.
- Datum Norteamericano de 1927:** Datum superficie a la cual se refieren las elevaciones, se utiliza este Datum Norteamericano de 1927 porque todo levantamiento geodésico -- horizontal debe estar referido al Datum Norteamericano de 1927, debido a que el elipsoide que se calcula

son unas medidas aproximadas a las de la Tierra como son:

Elipsoide	Clarke de 1886
Semieje mayor	6 378 206.4 m
Semieje menor	6 336 583.8 m
Vértice de origen	Meade's Ranch Kansas, E.U.A.
Latitud del origen	39°13' 26".636 N
Longitud del origen	98°32' 30".506 W
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 estación Waldo (desde el sur)	75°28' 09".64

Difracción: Desviación de la luz al rozar los bordes de un cuerpo opaco.

Eclípsis: Ocultación transitoria parcial o total de un astro por interposición de otro cuerpo celeste, especialmente — del sol o de la luna.

Eclíptica: Circulo máximo de la esfera celeste que corta al Ecuador en ángulo de 23°27' y señala el curso aparente del sol durante el año, el cual se produce por el movimiento de la Tierra alrededor del astro solar, el plano de la eclíptica es el plano de la órbita de la Tierra.

Efecto: Lo producido por una causa.

Efemérides: Libros en que se consignan anualmente la posición de los planetas, de los astros fijos y de los eclipses, — en relación con la eclíptica.

- Elipsoide:** Sólido generado por la revolución de media elipse alrededor de uno de sus ejes.
- Error sistemático:** Inexactitud, defecto del sistema.
- Espectro:** Resultado de la descomposición de la luz por medio de un prisma o red de difracción, dando una serie de colores análoga al arcoiris.
- Esfera:** Cuerpo redondo, originado por la revolución completa de un círculo que gira alrededor de su diámetro.
- Fase:** Cambio
- Fenómeno:** Modificaciones o cambios que no alteran la esencia de la sustancia.
- Firmamento:** Cielo, espacio
- Fuente:** Origen, principio
- Fuerza Magnética:** Es la que se manifiesta entre un imán y un clavo, entre dos alambres que llevan una corriente eléctrica.
- Frecuencia:** Es el número de oscilaciones completas que efectúa cada partícula del cuerpo agitado en 1^s es decir, el número de ondas completas que pasa por un punto del cuerpo, en 1^s ; se mide en oscilaciones/segundo (osc/s), -- ciclo/segundo (cic/s) o hertz (Hz).
- Haz:** Conjunto de rayos luminosos emitidos por un foco.
- Hemisferio:** La mitad de una esfera terrestre o celeste.
- Orbita:** Curva que describe un astro. Situar un satélite artificial en una órbita alrededor de un cuerpo celeste.
- Oscilaciones:** Movimiento de vaivén de un cuerpo a un lado y a otro de su posición de equilibrio
- Panel:** Cada uno de los compartimientos en que se divide una pared o puerta.

- Partícula:** Cada uno de los elementos que constituyen el átomo (electrón, protón y neutrón).
- Período:** Tiempo que tarda el péndulo en realizar un movimiento completo.
- Polo:** Cada uno de los extremos del eje ideal de rotación de la Tierra.
- Planeta:** Cuerpo celeste opaco que gira alrededor del sol.
- Prisma:** Cristal en forma de prisma (poliedro irregular que tiene por base dos polígonos cualesquiera y por caras laterales, paralelogramos) triangular, usado para producir la reflexión, refracción y descomposición de la luz. Lo que nos hace ver las cosas de modo distinto de lo que son.
- Radiación:** Emisión de partículas. Elemento de una onda luminosa o electromagnética.
- Receptor:** Aparato que sirve para recibir las señales eléctricas, telefónicas o telegráficas. Parte de una máquina a la cual se aplica la acción de una fuerza motriz (la que mueve).
- Refracción:** Cambio de dirección que sufren las radiaciones al pasar de un medio a otro de diferente densidad, a causa del cambio de velocidad que experimentan.
- Satélite:** Cuerpo celeste opaco que gira alrededor de un planeta artificial.
- Septentrional:** Relativo al Norte: Canada, E.U.A. y México forman la parte septentrional del continente americano.

- Tecnología:** Ciencia de las artes y oficios en general. Medios para la fabricación de productos industriales.
- Técnica:** Que pertenece a una ciencia o arte.
- Teórico:** El que considera las cosas solo especulativamente
- Terrestre:** Relativo a la Tierra. Que vive sobre la parte sólida de la misma.
- Transmisor:** Aparato de radio y televisión.
- Translocación:** Es utilizado en el sentido genérico de usar una localidad o sitio para posicionar un segundo sitio.
- Trecho:** Distancia, trayecto, espacio.
- Varilla Magnetizada:** Barra larga y delgada convertido en iman
- Velocidad Radial:** Espacio recorrido por un cuerpo en la unidad de tiempo sin tocar o pasar por el radio terrestre.