

ESTADO ACTUAL DE LA GEODESIA SATELITARIA, SU DESARROLLO EN
NUESTRO PAIS Y BREVE REFERENCIA A LAS TECNICAS CONEXAS *

Rubén C. Rodríguez
Instituto Geográfico Militar
Buenos Aires, Argentina

R E S U M E N

Los satélites artificiales de aplicación geodésica proporcionan, en el método Doppler, elementos para la determinación de las coordenadas geocéntricas de las estaciones donde se encuentran ubicados los receptores terrestres. De ellas y de los parámetros del elipsoide considerado se deducen las coordenadas geodésicas de los mismos vértices.

Asimismo, determinadas las constantes de transformación, es posible calcular las coordenadas en el sistema nacional.

El informe describe brevemente el método y las operaciones necesarias para obtener las coordenadas de los puntos elegidos. Se incluye una reseña de los trabajos realizados en nuestra red geodésica fundamental y se hace referencia a la geodesia inercial que apunta a ser el complemento obligado de la satelitaria.

A B S T R A C T

Artificial satellites of geodetic application supply, in the Doppler method, some elements for determining the geocentric coordinates of the stations where the terrestrial receivers are located.

From then and the parameters of the considered ellipsoid the coordinates of the same vertices are obtained.

Also, once the transformation constant having been determined, it is possible to obtain the coordinates in the national system. The report describes briefly the method and the operations needed to obtain the coordinates of the selected points. An outline of the Argentine network is included, and reference is made to inertial geodesy that appears to become the complement of satellite geodesy.

1. INTRODUCCION

El sistema de satélites Doppler ha demostrado ser el más eficiente y más poderoso de los métodos de la geodesia satelitaria. El rastreo fotográfico es caro y depende de las condiciones meteorológicas. Su precisión ha estado, años atrás, entre $0''25$ y $0''50$. Se afirma que la medición de distancias con rayos láser a la luna y a satélites y el VLBI (Very Long Baseline Interferometric Measurements of Natural Radio Sources) alcanzarán muy alta precisión en un pequeño número de estaciones ampliamente separadas. Estos sistemas, también son caros y exigen la simultaneidad de las observaciones.

El rastreo de los satélites de la Marina de los Estados Unidos de América es rápido, no se interrumpe por condiciones meteorológicas adversas, es relativamente barato, no requiere casi personal, es preciso y proporciona coordenadas cartesianas geocéntricas con respecto al centro de masa de la tierra, que pueden ser referidas fácilmente al sistema nacional de coordenadas.

El sistema, inicialmente diseñado para fines militares y navegación, fue continuamente mejorado y al alcanzar la precisión requerida para fines geodésicos fue puesto a disposición de todo tipo de usuarios, estatales y privados. Las primeras experiencias datan de 1957, en la época en que se lanzaban los primeros satélites Sputnik.

2. PRINCIPIOS BASICOS

El principio en que se basa el método supone conocidas las órbitas de los satélites y sus variaciones instantáneas y que se dispone de un patrón de tiempo muy preciso. Luego, en el punto cuyas coordenadas se quieren determinar se reciben las señales transmitidas por el satélite en ciertas frecuencias.

Por el efecto Doppler la frecuencia recibida aumenta cuando el satélite se acerca, es idéntica en el punto de mínima distancia y disminuye cuando se aleja. Esta frecuencia es comparada con la de un oscilador situado en el receptor y la desviación se acumula en un contador en determinados periodos de tiempo. Basándose en esta "Cuenta Doppler" pueden calcularse las diferencias de distancias entre un punto terrestre y dos posiciones determinadas del satélite.

Suponiendo conocidas dos posiciones sucesivas del satélite, el punto de observación estará sobre un hiperboloide de revolución cuyos focos son las posiciones del satélite (Fig 1). La realización de tres "Cuentas Doppler" generaría tres hiperboloides cuya intersección daría la posición del receptor. En la práctica este proceso se repite muchas veces durante cada paso y también se repite el número de pasos y el número de satélites, lográndose la posición terrestre de miles de intersecciones. En realidad, el problema no se resuelve por un método geométrico, sino como una variación de coordenadas en un ajuste por mínimos cuadrados.

3. SATELITES

Los satélites empleados son los conocidos como TRANSIT o NNSS (Navy Navigation Satellite System). Sus órbitas son polares y circulares y su altura es de unos 1.100 km cumpliendo una revolución en 106 minutos aproximadamente.

Es evidente que el intervalo entre pasos es variable con la latitud y el número de satélites en órbita. Teniendo presente que en este momento se encuentran girando cinco satélites útiles podría tenerse, para latitudes medias, unos 20 pasos diarios.

Los satélites son de dimensiones pequeñas, unos 50 cm en su cuerpo central, sus antenas apuntan siempre hacia la tierra y llevan un patrón de tiem-

po, dos emisores, que operan en las frecuencias de 150 y 400 Mhz, una memoria para almacenar datos orbitales y otro transmisor para la difusión de tiempos y datos (Fig 2).

Los satélites en órbitas son los designados con los números 30120; 30130; 30140; 30190 y 30200.

Los satélites son seguidos durante sus trayectorias por dos redes de rastreo. Una llamada TRANET e integrada por unas 20 estaciones distribuidas alrededor de la tierra, y otra, más reducida llamada OPNET integrada por 4 estaciones ubicadas en el territorio continental de los Estados Unidos de América y en las islas Hawai. (Fig 3).

4. EFEMERIDES

Con las observaciones de las estaciones TRANET la DMA (Agencia Cartográfica de Defensa) calcula las llamadas Efemérides Precisas que contienen las posiciones geocéntricas del satélite y sus derivadas parciales respecto del tiempo, para poder interpolar. Las posiciones se dan al metro y para cada minuto de Tiempo Universal. La edición es diferida y su uso es restringido. Además, habitualmente están disponibles para dos satélites, que no son siempre los mismos. Esporádicamente, se cuenta con un mayor número de satélites con las mencionadas efemérides. Naturalmente, se trata de datos de precisión que se utilizan en los trabajos geodésicos fundamentales, aunque con algunas técnicas que veremos se alcanzan también resultados de muy buena calidad sin recurrir a las efemérides de precisión.

La red OPNET, por su parte, rastrea a todos los satélites, determina la órbita y prepara las efemérides para las 16 horas siguientes. Una de las estaciones es la encargada de la inserción de los datos calculados en la memoria del satélite. Esta carga de la memoria se produce cada 12 horas (aunque con-

tiene datos para 16, por razones de mayor seguridad). Estos datos constituyen las llamadas efemérides transmitidas, que son difundidas cada 2 minutos junto con señales de sincronización. La transmisión está integrada por un mensaje de 157 palabras de 9 dígitos y constituida por:

- información horaria
- parámetros de las efemérides
- parámetros fijos de la órbita

La información es repetida cada 2 minutos por lo que existe abundancia de datos y se puede buscar para cada dígito el valor más probable, dado que existen señales débiles o confusas. Este proceso previo a cualquier operación de cálculo se lo denomina "votación mayoritaria".

El proceso siguiente es el cálculo de la posición del satélite. La precisión puede estimarse en unos 5 metros. El resultado al que se llega es el mismo anterior - coordenadas geocéntricas del satélite - aunque dadas con una precisión menor.

5. ALERTAS

La información transmitida por el satélite es usada, asimismo, como paso previo a todo registro para la confección del programa de observación - llamado "alertas" - que con las coordenadas aproximadas de la estación, puede determinar para cada satélite y para cada paso:

- Hora de aparición
- Hora de máxima aproximación
- Hora de puesta
- Angulo de elevación
- Acimut en el momento de la aparición

La duración del paso es variable y depende, entre otros factores, del ángulo de elevación en el momento de su máxima aproximación: 18 minutos cuando el ángulo es de 40°.

Las alturas menores de 10° son descartadas para evitar una larga trayectoria de la señal en capas bajas de la atmósfera. Las alturas superiores a 75° no son utilizadas debido al diseño de las antenas receptoras.

6. RECEPTORES

Son varios los receptores portátiles diseñados para la recepción de las señales de los satélites TRANSIT. El original, producido por la Compañía Magnavox fue conocido como GEOCEIVER (Fig 4) e integrado por el equipo, la antena, el preamplificador y un perforador de cinta de papel donde se registra la información.

El desarrollo tecnológico ha reducido el peso y el tamaño de los equipos, también se ha reemplazado la cinta de papel por cintas magnéticas y se fueron agregando otros equipos para la lectura y verificación de cintas, el cálculo inmediato, la duplicación de las cintas, etc. Estas cintas son las almacenadas en pequeñas cajas conocidas como "cassettes".

Los equipos son alimentados con baterías de 12 voltios y pueden ser programados para la recepción automática sin la participación del operador. También pueden trabajar con baterías solares.

En el mercado se encuentran los productos de las compañías:

- JMR: cuyo instrumento se denomina JMR 1 (Fig 5)
- MAGNAVOX: cuyo último producto es el MX 1502 (Fig 6)
- CANADIAN MARCONI: ofrece el CMA-751 (Fig 7)
- FOUR POINT TECHNOLOGY, que produce el LAND PLOTTER 1220

no descartándose la posibilidad que esta información esté desactualizada dado el vertiginoso desarrollo y competencia a que está sujeta la producción de instrumentos.

El peso de los instrumentos está por debajo de los 20 kilogramos.

7. METODOS

Teóricamente, un solo paso de 18 minutos proporciona 205 cuentas Doppler lo que permite determinar por mínimos cuadrados las coordenadas más probables del centro eléctrico de la antena del receptor y su correspondiente error interno.

Sin embargo, esta solución no satisface las precisiones geodésicas por lo que, como se anticipó, se utilizan varios pasos y diferentes satélites.

La solución con un número de pasos aceptables de 20 a 50, se corresponde con los requerimientos de orden geodésico y se logra después de 3 a 5 días de observación. La curva (Fig 8) de la figura indica la precisión que se alcanza en función del número de pasos.

Esta modalidad es conocida como POINT POSITIONING (puntos aislados) y se puede resolver con un solo instrumento. En el caso se determinan las coordenadas absolutas del receptor con respecto al sistema geocéntrico y se lo emplea, inicialmente, para determinar el desplazamiento del sistema nacional con respecto al sistema satelitario.

Otra forma de determinar coordenadas de puntos terrestres es trabajar con 2 receptores simultáneamente y registrar los mismos pasos de los mismos satélites. El método es conocido como TRANSLOCACION. Con esta operación se logra disminuir la influencia de los errores de las efemérides y el número de observaciones, perdiendo precisión en la determinación de la posición absoluta, pero alcanzando muy buenos resultados en las posiciones relativas de las estaciones.

Se emplean las efemérides radiodifundidas y la limitación es la separación entre las estaciones que no debe superar en dos veces la altitud del satélite, aunque en la práctica se logran mejores resultados cuando las distancias son bastantes menores. Es obvio que se necesitan 2 receptores. Están siendo usados para densificar áreas de interés.

Un perfeccionamiento, o más bien una modificación de la TRANSLOCACION es el empleo de más de 2 equipos simultáneamente, esto es lo que se conoce como relajación orbital o también, "Arco Corto" según lo designa una empresa comercial. El método se basa en calcular las observaciones considerando variable a las efemérides, cosa que no ocurre en los métodos anteriores, y tratarlas como una observación más en un método de ajuste por mínimos cuadrados. La Universidad de Nottingham ha desarrollado programas de cálculo para este caso, y la empresa comercial que se menciona ofrece sus servicios mostrando resultados espectaculares.

Se trabaja con efemérides difundidas y las observaciones insumen cortos lapsos de tiempo.

8. CALCULO

El cálculo de las observaciones es una tarea compleja y abrumadora dada la enorme cantidad de datos que aparecen. Además del desarrollo matemático deben tenerse en cuenta el filtrado de los datos, las correcciones troposféricas e ionosféricas la sincronización de los tiempos y la compensación de los valores.

El proceso puede ser realizado mediante microprocesadores que se ofrecen incorporados a los receptores, o bien separados, pero de dimensiones reducidas. Con ellos se calcula la posición inmediatamente después de registrado el paso en el terreno, pero de una manera aproximada. Con estos microprocesado-

res se confeccionan asimismo las "alertas".

Otra solución con programas de computación mucho más elaborados se realiza con minicomputadoras del tipo Hewlett Packard 2100 o WANG que aceptan distintas soluciones y su uso está muy difundido entre los equipos comerciales.

Finalmente las soluciones más complejas y precisas se alcanzan con grandes programas desarrollados por los centros tecnológicos especializados y procesados en grandes computadoras.

El objeto de la determinación y el criterio del usuario seleccionará el proceso más conveniente en cada caso. Sin embargo, el cálculo en el microprocesador es casi inevitable antes de abandonar la estación, como verificación de la recepción y el grabado de la información.

9. REFRACCION

Las señales emitidas por el satélite sufren un retraso al atravesar la ionósfera habiéndose demostrado que depende de la frecuencia que el sistema utilice. Por tal motivo los emisores instalados a bordo del satélite poseen dos: uno, que opera en 400 Mhz y otro en 150 Mhz. De este modo es posible corregir los efectos de la refracción ionosférica.

Para la refracción troposférica el fenómeno es más complejo y se necesitan registrar los datos meteorológicos en la superficie terrestre (presión, temperatura, humedad relativa) para calcular el retraso. Existen modelos matemáticos para el proceso; el más utilizado es el conocido como modelo Hopfield. Esta refracción es la que limita el registro de pasos de satélites, cuando el ángulo de elevación es menor de 10° ó 15° .

10. SISTEMAS DE REFERENCIA

Las posiciones de las estaciones están referidas a dos elipsoides, cuya

determinación ha llevado varios años y un gran número de observaciones desde las estaciones fijas TRANET y de otras operadas con las GEOCEIVERS. También, fueron incluidos en los cálculos los coeficientes del campo gravitatorio, las observaciones de la Red Mundial de Triangulación con cámaras BC 4, las del sistema Baker-Nunn y la Red SECOR. Este modelo se sigue perfeccionando con las sucesivas observaciones.

Quando las efemérides son las precisas el sistema es conocido como NWL 9D (Naval Weapons Laboratory), el 9D es un indicador de la época y de los datos incorporados (actualmente NWL 9Z-2).

Para las efemérides radiodifundidas el sistema es el WGS 72 (World Geodetic System).

La vinculación entre ambos ha sido determinada.

Los parámetros de estos elipsoides son diferentes de los empleados por los distintos países en sus trabajos de superficie. Es el caso del Elipsoide Internacional de 1924, los de Clarko y el Sistema Geodésico de Referencia de 1967 por mencionar a los más empleados. Además sus centros no son coincidentes.

La solución del problema implica los siguientes pasos:

- Determinación de coordenadas por medio de satélites de un conjunto de estaciones de la Red Geodésica fundamental.
- Cálculo de los desplazamientos de los centros de los elipsoides para esos vértices. Los valores de los desplazamientos en los distintos puntos deberían ser semejantes.
- Adopción de los valores más probables de los desplazamientos. Podría ser un valor general o uno definido para cada región.

Con el conocimiento de estos datos, de las relaciones entre el sistema

geocéntrico y el elipsoidal (Fig 9), las diferencias de los parámetros de los elipsoides y apelando a las fórmulas de Molodenski se encuentran las correccio

$$\begin{aligned} \Delta\phi'' &= \{-\Delta X \operatorname{sen}\phi \cos\lambda - \Delta Y \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\lambda + \Delta Z \cos\phi + \Delta a(\upsilon^2 \operatorname{sen}\phi \cos\phi)/a \\ &\quad + \Delta f[\rho(a/b) + \upsilon(b/a)] \operatorname{sen}\phi \cos\phi\} \cdot [(\rho+h) \operatorname{sen} 1'']^{-1} \\ \Delta\lambda'' &= [-\Delta X \operatorname{sen}\lambda + \Delta Y \cos\lambda] \cdot [(\upsilon+h) \cos\phi \operatorname{sen} 1'']^{-1} \\ \Delta h &= \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \operatorname{sen}\lambda + \Delta Z \operatorname{sen}\phi - \Delta a(a/\upsilon) + \Delta f(b/a)\upsilon \operatorname{sen}^2\phi \\ &\quad \text{semiejes del elipsoide: } a, \text{ mayor } b, \text{ menor} \\ &\quad \text{radios de curvatura: } \upsilon, \text{ normal } \rho, \text{ meridiano} \\ &\quad \text{excentricidad primera: } e^2 \end{aligned}$$

a aplicar a las coordenadas obtenidas a partir de las observaciones satelitarias para lograr las coordenadas en el sistema local.

Es necesario destacar aquí, que cuando se calcula Δh está afectando a la altura elipsoidal (h) y lo que la cartografía (y otras actividades) necesitan son las alturas geoidales (H), en rigor alturas sobre el nivel del mar. Para ello debe conocerse cuál es la separación entre el geoide y el elipsoide (N) (Fig 10). En otras palabras; se necesita una carta del geoide, lo cual no es tarea fácil. Por lo tanto, las alturas están afectadas por las imperfecciones de dicha carta.

11. PRECISIONES

La precisión con que se pueden determinar las coordenadas de las estaciones es uno de los temas más discutidos y sujeto a un gran número de factores.

Para dar algunas ideas pueden mencionarse los valores más generalizados: trabajando en la modalidad POINT POSITIONING, usando efemérides precisas y registrando entre 40 y 50 pasos se puede alcanzar una precisión de 1,5m en cada coordenada geocéntrica. Si el número de pasos se reduce a 12-15 la precisión disminuye a 3 m en cada coordenada.

Sin embargo hay quienes aseguran haber logrado resultados por debajo del metro y aún mejores que medio metro;

Los esfuerzos de investigación, hoy día, están orientados a alcanzar como meta los 10 cm.

Para el trabajo con efemérides radiodifundidas se ha difundido la expresión $37/\sqrt{n}$ (siendo n el número de pasos) como medida, en metros, de la precisión de una determinación.

12. APLICACIONES

Mencionaremos algunas actividades que requieren datos geodésicos y cuya obtención se ve facilitada con las operaciones Doppler:

- Exploración de recursos naturales en tierra y en el mar, es el caso de las plataformas petroleras.
- Movimientos de hielos.
- Navegación, cuya determinación se realiza en tiempo real.
- Levantamientos para el diseño y construcción de obras de ingeniería.
- Demarcación de límites sobre un sistema único de referencia, universalmente aceptado.
- Vinculación de islas y continentes.

13. LOS TRABAJOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Los primeros trabajos Doppler en la República Argentina se realizaron en 1971, con dos estaciones establecidas para las tareas de apoyo al estudio del Punto Datum Sudamericano. En aquella ocasión pudo determinarse que en una cuerda de 900 km existía una diferencia de 1 m entre los datos de la red geodésica convencional y los datos satelitarios.

A fines de 1976 se cumplió un ensayo con los equipos modernos para observar el comportamiento de los mismos en el terreno, las necesidades de apoyo y movilidad y la duración de las operaciones.

A partir de allí se proyectó una red de 18 estaciones que abarcaría la to

talidad de la red fundamental argentina con miras a obtener:

- los parámetros de transformación entre el sistema nacional y el satelitario.
- una comparación de la red superficial con los resultados Doppler.
- realizar una compensación global de la red incluyendo los datos Doppler.

Los trabajos fueron realizados con la colaboración, en personal y equipo, de la Agencia Cartográfica de Defensa de los Estados Unidos (DMATC e IAGS).

En cada estación se registraron 40 pasos y las operaciones (con dos equipos) se realizaron en 50 días (en los meses de abril y mayo de 1977) con un promedio de tres días de registro por estación.

En primer lugar se muestra el estado de la red argentina que en este momento está conformada por 33 anillos lo que representa el 63% del proyecto total (Fig 11). Las dimensiones de la red terminada hasta este momento es de unos 2400 km en el sentido N-S y de unos 1000 km en el sentido E-O.

La compensación de esa red se realizó en distintas etapas. Los primeros 19 polígonos arrojaron un error medio de 0',42 para una dirección, habiendo participado del cálculo 922 vértices de triangulación y 4.655 observaciones de campo.

Los errores de los anillos agregados a medida que fueron terminados tuvieron errores medios similares al señalado.

Las estaciones Doppler se ubicaron en los puntos señalados tratando de hacerlo en la forma más homogénea posible (Fig 12).

El número de pasos rechazados en cada estación, por defectuosos, fue escaso y el error medio cuadrático de las diferencias de distancias fue, en cada determinación, inferior a $\pm 0,30$ m.

La siguiente tabla muestra las diferencias en coordenadas geocéntricas entre el sistema NWL 9D y el sistema Campo Inchauspe, expresadas en metros. Se

observa asimismo el promedio y la desviación standard (Fig 13).

También se realizó una comparación de cuerdas sobre las líneas indicadas en la figura cuyo resultados son los siguientes: el promedio de los errores relativos es 1/500.000 y descartando el valor de la línea 3-9 (1/2.000.000) se alcanza un promedio de 1/370.000.(Fig 14).

Otro análisis realizado fue aplicar a todas las estaciones las correcciones de traslación del Datum Nacional y comparar los resultados con las coordenadas terrestres. Los valores $\delta\phi$ $\delta\lambda$ están expresados en metros, lo mismo que δH (Fig 15). Las mayores discrepancias se observan en las altitudes en los puntos 9 y 19, pero téngase en cuenta que sus cotas están afectadas por una carta del geoide imprecisa en sus bordes. (Fig 16).

En estos momentos se están determinando posiciones mediante receptores Doppler en las provincias de Catamarca y La Rioja, en áreas donde no existe triangulación con el objeto de dar apoyo al levantamiento fotográfico para la confección de la carta a escala 1/250.000.

Para ese tipo de trabajos se registran entre 12 y 15 pasos de los satélites con efemerides precisas y en algunos vértices, convenientemente distribuidos, se obtienen 40 pasos para su utilización cuando se extienda la red fundamental, y/o para dejar vértice con mayor precisión absoluta.

Hasta aquí es todo cuanto se puede decir en forma sintética respecto del sistema Doppler. A continuación se mencionará el sistema de posicionamiento global a pesar que se asegura que los satélites TRANSIT estarán en servicio hasta 1990.

14. EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Está compuesto por un conjunto de satélites - 24 en total - que completan dos orbitas por día y transmiten información precisa de su posición continua-

mente.

El control de los satélites es realizado desde una serie de estaciones terrestres ligadas entre sí que rastrean los satélites.

Los equipos de los usuarios del sistema son pequeños y pueden ser instalados en buques, aviones y vehículos terrestres. Su tamaño y característica varían de acuerdo con la aplicación para la cual son destinados. Las posiciones son dadas en tiempo real en un sistema de referencia universal. El equipo de menores dimensiones mide 25 x 10 x 7 cm. La información conocida es que se encontrarán totalmente en operación para 1986/87.

15. GIROTEODOLITO

El giroteodolito o teodolito giroscópico, cuyo uso ha sido iniciado en carácter experimental parece poder proporcionar acimutes dentro de los 2-3 segundo de arco, como complemento de las estaciones Doppler.

16. "AUTO-SURVEYOR"

El "Auto-Surveyor" es una modificación del sistema de navegación inercial usado en la aviación. Puede ser montado sobre un vehículo terrestre, de los habitualmente utilizados en los trabajos topográficos o sobre un helicóptero.

Las partes principales del equipo son:

- una unidad de procesamiento de datos.
- una fuente de poder.
- una unidad de comando dispuesta frente al conductor del vehículo y su acompañante.

La información que puede proporcionar es la posición del vehículo, latitud, longitud y elevación, la aceleración de la gravedad en el lugar y los cambios en la desviación de la vertical. Con el prisma instalado sobre la unidad

principal pueden transferirse acimutes a líneas del terreno mediante el uso de un teodolito.

Una aplicación del sistema, realizada en la península de Yucatán, consistió en la vinculación de estaciones Doppler separadas 130 km, en promedio, ubicando estaciones cada 6 kilómetros. El tiempo promedio empleado fue de algo más de dos horas para cada tramo de poligonal inercial. Es necesario hacer una detención cada 5 minutos para la puesta en cero de los instrumentos, además de las paradas para la determinación de coordenadas. Se estimó que la precisión fue de 1,5 m en cada eje, con relación al control satelitario.

Sobre estos aspectos no podemos hablar de experiencias propias.

BIBLIOGRAFIA

- Ashkenazi, Vidal. Determination of position by Satellite Doppler Techniques. University of Nottingham.
- Ashkenazi, Vidal. Retriring and Edoc: European Terrestrial and Doppler Networks. University of Nottingham.
- Ashkenazi, Vidal. Recent Doppler Campaigns in the United Kingdom. University of Nottingham.
- Brown, Duane. A primer on Satellite Doppler Surveying. Canadian Marconi Company. Folletos.
- Cerrato Angel A. Introducción al Método Doppler, IPGH, Revista Cartográfica N° 31.
- Defense Mapping Agency. Technical Manuals T-2-52220 y T-3-52320.
- Four Point Technology, Inc. Folletos.
- Hoskins, Gerald W. The future Navy Navigations Satellite System.
- Jenkins, Robert E. and Leroy Caroline F. "Broadcast" versus "Precise" ephemeris.
- JMR Instruments, Inc. Folletos.

- Leroy Caroline F. Result from Portable receivers using Broadcasting and Precise Ephemeris.
- Magnavox Government and Industrial Electronics Co. Folletos.
- 2nd. International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Preproceedings.
- Seppelin Thomas O. The DOD World Geodetic System 1972.
- Stansell Thomas. The TRANSIT Navigation Satellite System: Status, theory, performance and applications.
- Walker James. Derivation and application of datum transformations relating Doppler positions to local and national datums in Latin America.

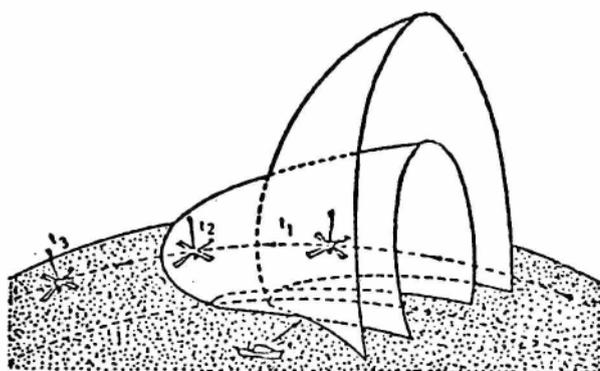


Fig 1

Intersección de los hiperboloides de revolución.

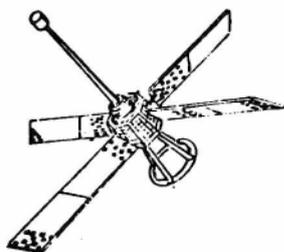


Fig 2

Satélite TRANSIT.

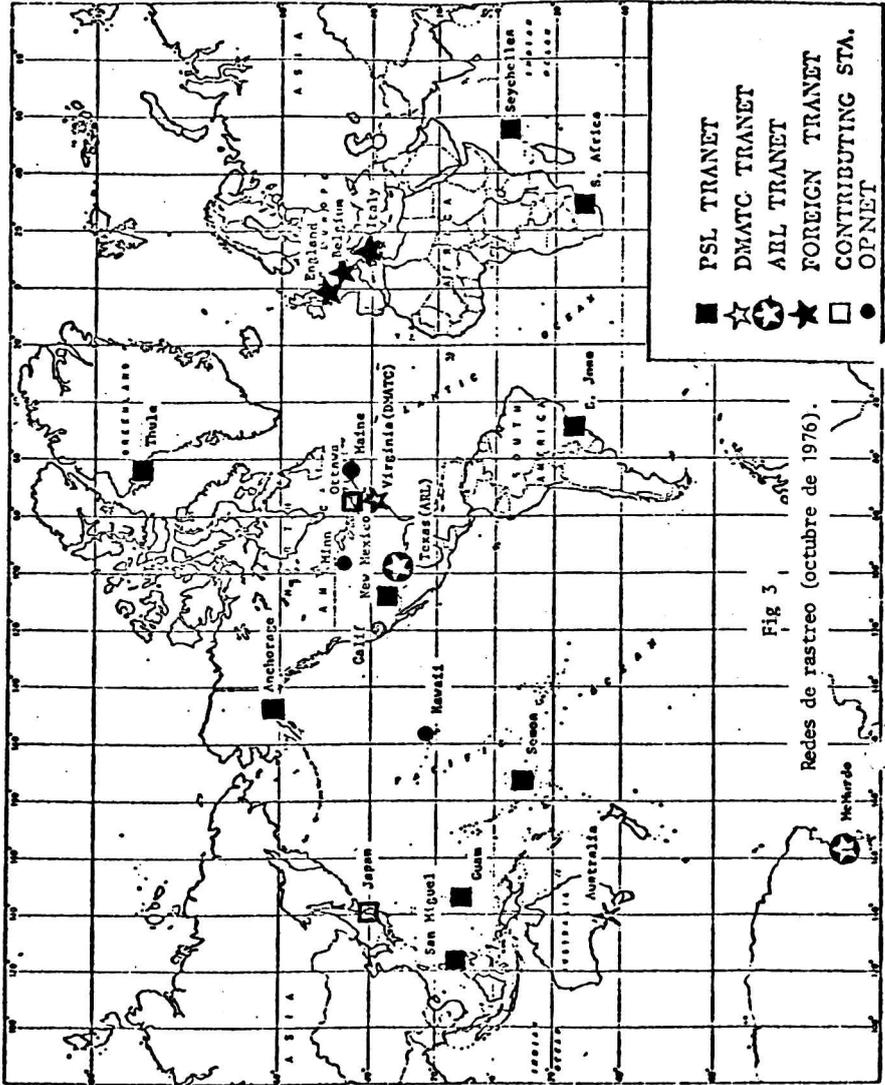


Fig 3
Redes de rastreo (octubre de 1976).

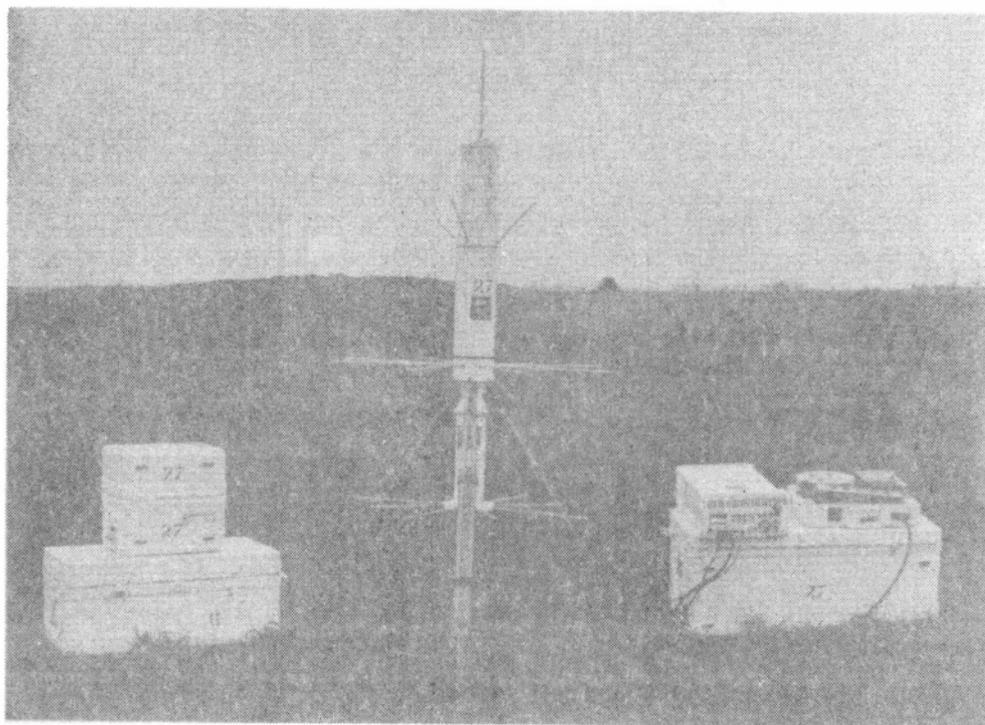


Fig 4

Receptor GEOCEIVER.

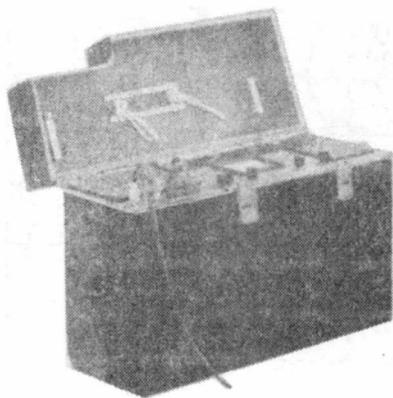


Fig 5

Equipo JMR.

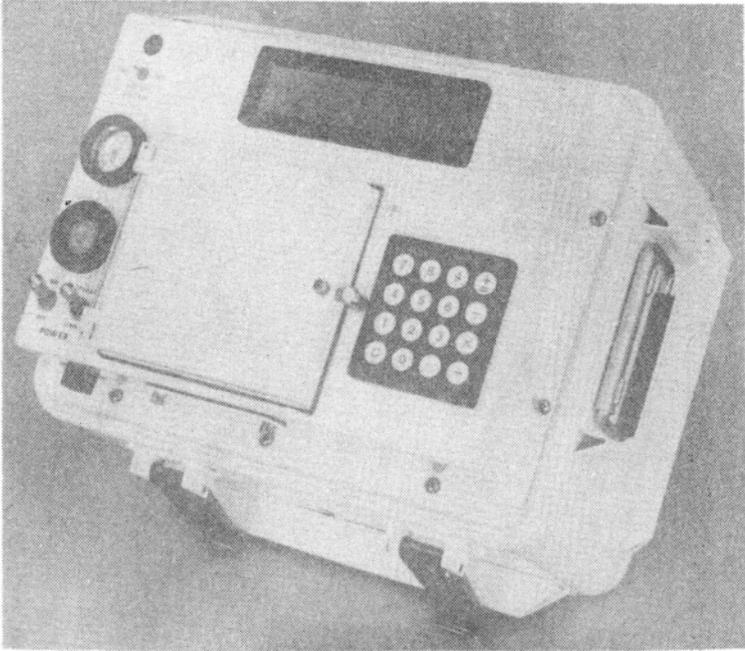


Fig 6
Equipo Magnavox.

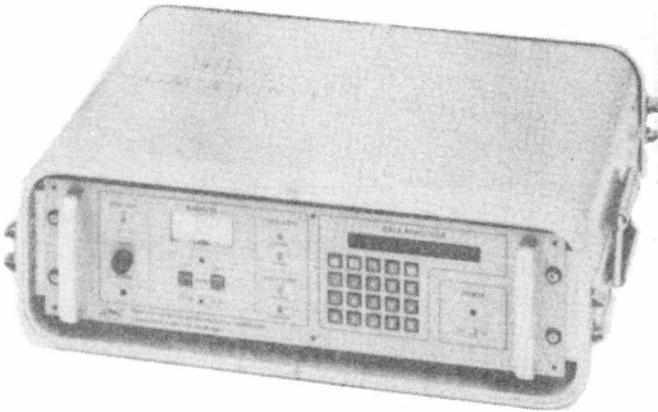


Fig 7
Equipo Canadian Marconi.

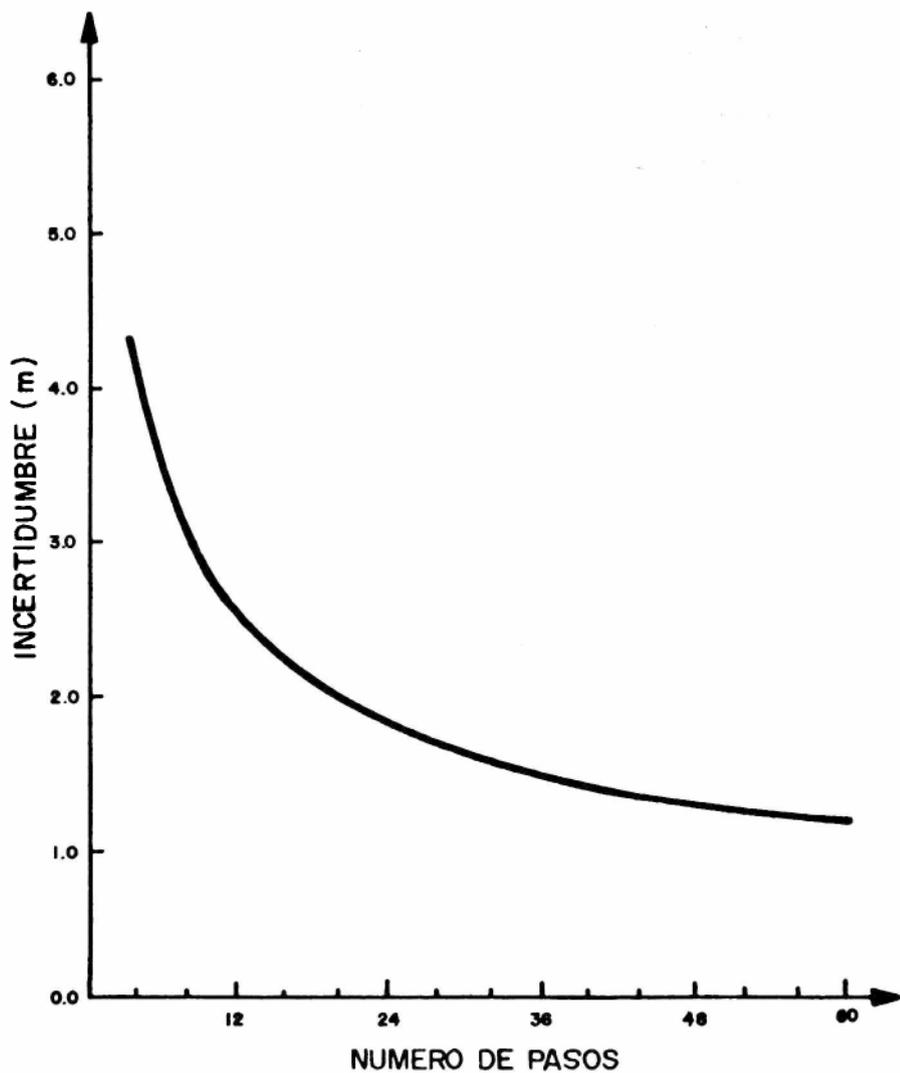


Fig 8

Curva representativa de la precisión
en función del número de pasos.

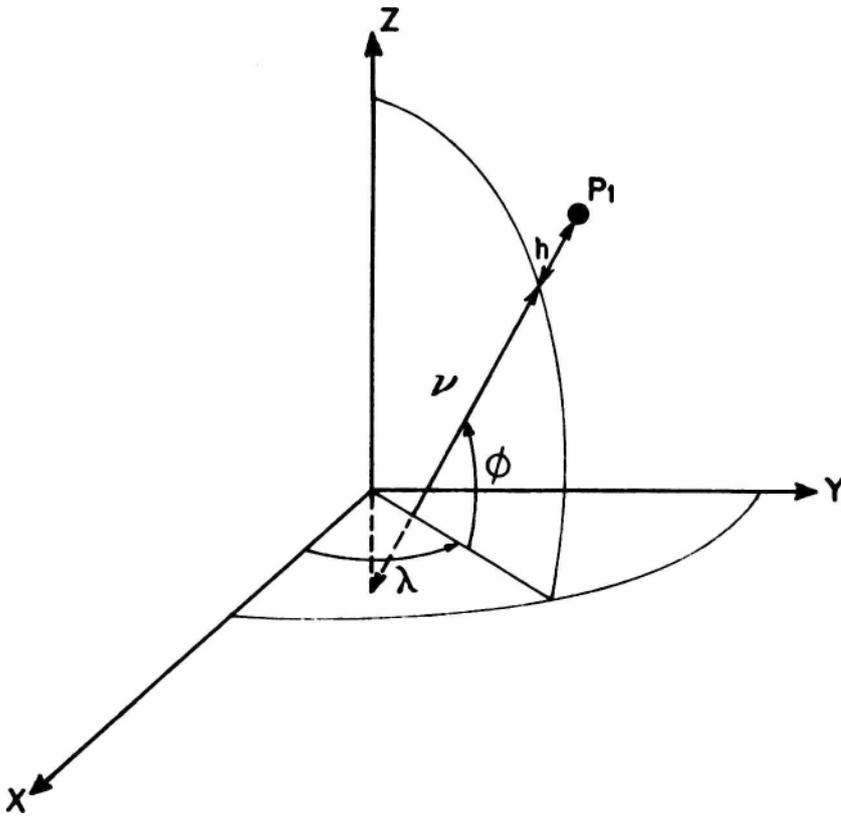


Fig 9

Relación entre las coordenadas geocéntricas y las geodésicas.

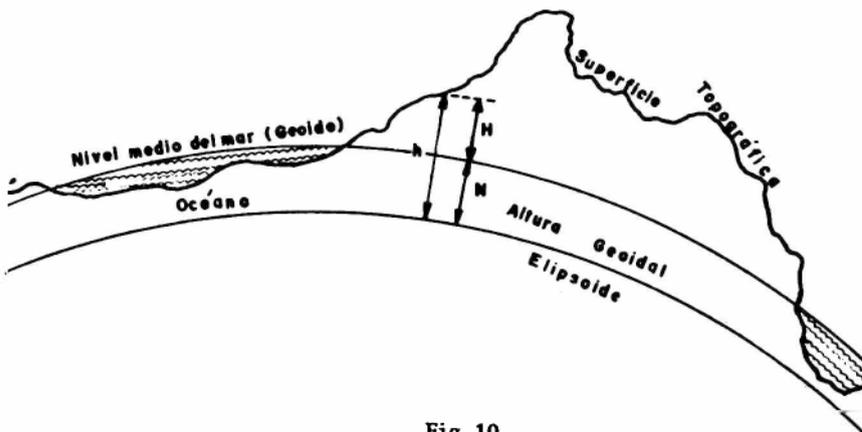


Fig 10

Separación geoid-elipsoide.

DIFERENCIAS ENTRE LAS COORDENADAS GEOCENTRICAS EN EL SISTEMA
 NWL-9D Y LAS GEOCENTRICAS TRANSFORMADAS DEL SISTEMA
 CAMPO INCHAUSPE USANDO LA CARTA DEL GEOIDE
 NWL-9D - CPO. INCHAUSPE

Estación	ΔX	ΔY en metros	ΔZ
48003	+164	-123	-81
48004	162	119	84
48005	163	124	82
48006	166	123	77
48007	162	123	82
48008	165	119	83
48009	156	121	71
48010	172	117	82
48011	161	131	79
48012	168	119	83
48013	163	126	80
48014	169	121	85
48015	166	124	82
48016 *	168	124	84
48017	165	122	81
48019	172	129	85
48021	160	124	81
48022	166	120	82
48024	167	125	82
Promedio	+165	-123	-81
Desviación Standard	3.79	3.56	3.10

* Ubicada cerca de la estación 48024.

Fig 13

COMPARACION DE CUERDAS

LINEA	LONGITUD (km)	DOPPLER-TERRESTRE		
		m	Error Relativo	p.p.m.
6-8	420	+1.7	1:247 000	4.0
7-17	495	-1.3	1:380 000	2.6
7-13	499	-0.7	1:713 000	1.4
10-14	615	-1.7	1:362 000	2.8
11-13	678	+3.9	1:174 000	5.8
6-14	816	+3.7	1:221 000	4.5
10-19	897	+1.5	1:598 000	1.7
3-9	944	-0.4	1:2360 000	0.4
6-16	1079	+3.6	1:300 000	3.3
3-6	1137	+4.8	1:237 000	4.2
9-19	1350	+4.0	1:338 000	3.0
5-6	1417	+2.6	1:545 000	1.8

Fig 14

RESULTADO DE APLICAR LAS TRASLACIONES DE CAMPO
INCHAUSPE AL RESTO DE LOS PUNTOS DE LA RED DOPPLER Y
COMPARAR CON LAS COORDENADAS DEL SISTEMA NACIONAL

Estación Nº	$\delta \phi$ (m)	$\delta \lambda$ (m)	δH (m)
48017	0.00	0.00	0.00
48003	-0.79	0.99	-0.39
48004	3.70	0.79	1.95
48005	-0.18	2.02	-1.11
48006	3.19	-0.46	0.11
48007	0.93	2.29	-0.62
48008	2.18	-1.62	1.22
48009	-3.48	6.17	10.01
48010	0.43	-7.44	1.17
48011	-5.14	6.09	-2.88
48012	1.27	-3.28	0.72
48013	-2.10	3.12	-0.97
48014	2.37	-3.31	-2.40
48015	-0.57	0.35	-1.50
48016	0.00	-1.26	-3.64
48019	-2.19	-3.52	-11.78
48022	0.88	-1.63	1.08
48024	-0.99	-0.61	-2.96

Fig 15

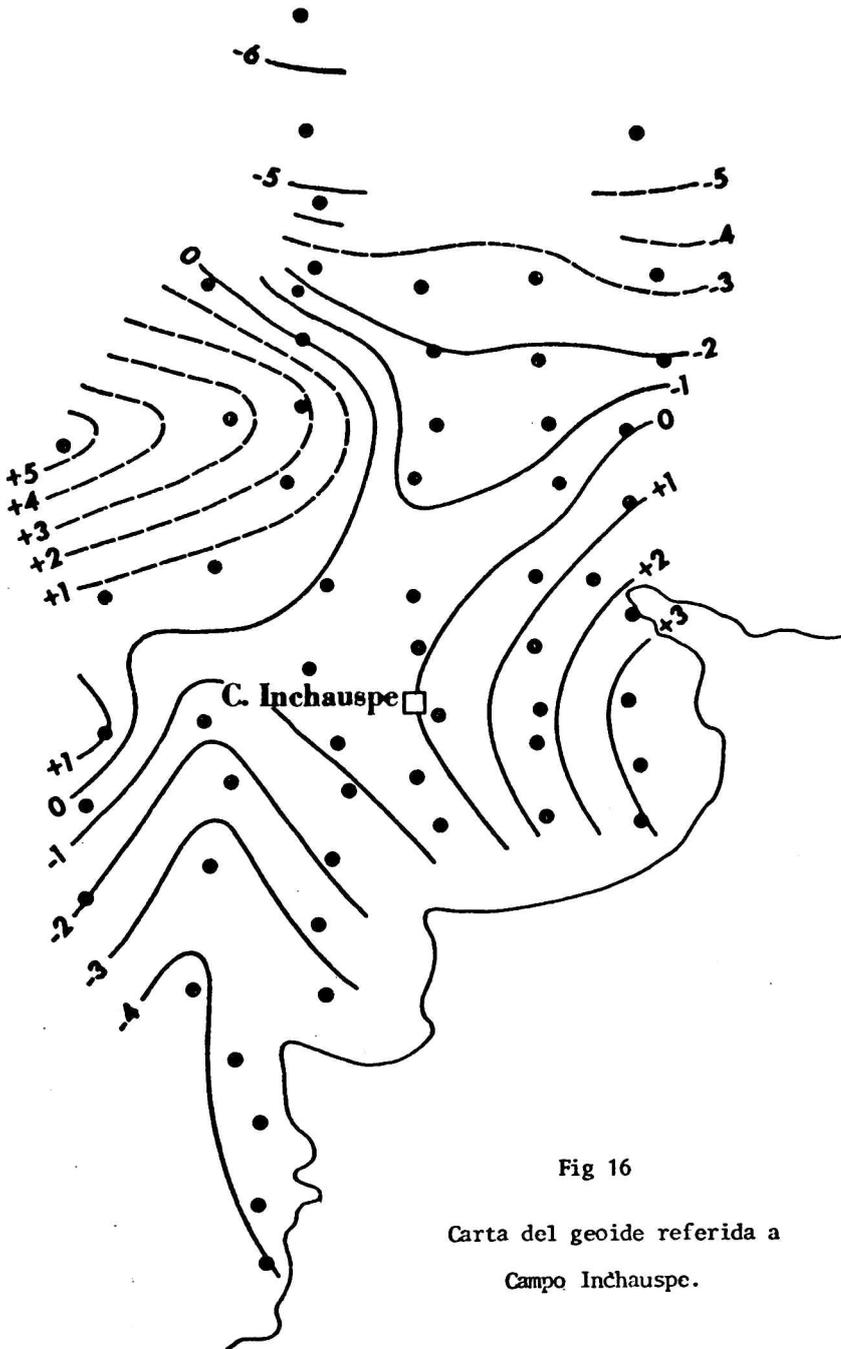


Fig 16

Carta del geoid referida a
Campo Inchauspe.