

OCEANOGRAFIA

DEL GEOIDE POR MEDIO DE SATELITES

ALTIMETROS

Por

Víctor PEÑA Mancilla
Capitán de navío (Rva)
Armada de Chile



DESDE EL advenimiento de los satélites artificiales, el hombre ha logrado un gran progreso en perfeccionar sus conocimientos en el tamaño y forma de la Tierra. El segundo satélite norteamericano, Vanguard I, lanzado el 17 de marzo de 1958, determinó la parte constitutiva de la Tierra, con la famosa "forma de pera", durante la celebración del Año Geofísico Internacional de 1958.



Adaptación a una traducción del folleto titulado: "National Aeronautics and Space Administration, Project GEOS-3",

March, 31, 1975, Washington, USA.

Los objetivos particulares de los programas de la NASA con los satélites artificiales geodésicos han sido proveer una medición precisa de la superficie de la Tierra y una descripción matemática de su superficie y su campo gravitacional. Esos objetivos forman la base del National Geodetic Satellite Program (NGSP), iniciado en 1964. Bajo la dirección de la NASA, el NGSP fue una operación conjunta entre el Ministerio de Defensa y el Ministerio de Comercio, con la participación de varias universidades y organismos internacionales, para satisfacer algunas de las necesidades geodésicas de los Estados Unidos.

El primer objetivo del Programa Geodésico con satélites, era crear una total y completa red mundial de mapas geográ-

ficos, con una exactitud de 10 metros. Tales mapas, necesariamente, proveerían puntos a los geofísicos, para establecer referencias básicas para la medición física de la Tierra. Esos puntos de referencia común, han sido una importante contribución para el programa espacial. Uno de los primeros éxitos en el espacio, en 1959, fue la generación de los datos fundamentales del programa Mercurio, los que fueron usados como elementos básicos para construir una red de estaciones para rastrear sus trayectorias.

El segundo objetivo del programa NGSF era desarrollar un modelo matemáticamente preciso del campo gravitacional de la Tierra. Esa información reveló interesantes detalles acerca de la dinámica del planeta y de su estructura. También ha tenido una significativa aplicación en el espacio, el mejorar la capacidad de la predicción orbital y hacer posibles misiones que requieren la determinación de posiciones de alta precisión.

Lo que sigue es una breve reseña histórica del programa de satélites geodésicos de la NASA:

1. Explorer-22 (Beacon Explorer-B), lanzado el 10 de octubre de 1964. Además de estudiar la Ionosfera, este satélite proporcionó la primera prueba de la estación terrestre rastreadora por medio del rayo laser, para ser empleada en estudios de rastreo y geodesia. (LASER, es el término de la sigla del inglés Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que significa amplificación de luz mediante la emisión estimulada de radiación).

2. Explorer-27 (Beacon Explorer-C), lanzado el 29 de abril de 1965. Con objetivos geodésicos primarios, esta misión llevaba osciladores ultra-estables para trazar con precisión el rastreo del efecto Doppler de las irregularidades orbitales, para la determinación del campo gravitacional. Los experimentos de rastreo con rayo Laser y los estudios de la Ionosfera, fueron continuados.

3. GEOS-1 (Explorer-29), lanzado el 6 de noviembre de 1965. Esta misión aportaba instrumentación básica, proveída por varias instituciones interesadas, como ser: Sistema Doppler de la Marina; Sistema SECOR del Ejército, para la regulación electrónica del alcance o regulación del tiro; Señales ópticas de la

Fuerza Aérea; Reflectores Laser de la NASA, y sistemas de distancia y razón de cambio de la distancia. Esta combinación de instrumentos llevó a cabo dos importantes objetivos: a) la mayor parte de la capacidad de observación de los Estados Unidos podía ser centrada sobre un satélite, y b) los errores de un sistema particular podían ser descubiertos y corregidos por referencias a otros sistemas.

4. PAGEOS-1 (Passive GEOS), lanzado el 1º de julio de 1966. Esta misión consistía en el uso de un satélite tipo ECHO-1, que es un globo de una capacidad de 10.000 litros de gas, lo que le proporciona un diámetro de 30 metros; está hecho de una película de poliéster y recubierto con una delgada capa de aluminio para reflejar los rayos del Sol, de tal modo que se le pueda ver con facilidad desde la Tierra. Por observación del satélite PAGEOS-1 contra el fondo de las estrellas, las estaciones rastreadoras determinaron sus orientaciones mutuamente.

5. GEOS-2 (Explorer-36), lanzado el 11 de enero de 1968. Esta misión fue casi idéntica a la del GEOS-1, sólo que se le agregó un equipo adicional de rayo laser y un nuevo sistema de radar.

6. SKYLAB, lanzado el 14 de mayo de 1973. Este laboratorio orbital, dirigido por el hombre, fue equipado con un paquete de instrumentos titulado: Earth Resources Experiment Package (EREP), en el que se incluía una versión anticipada del radar-altímetro del satélite GEOS-3. Los datos obtenidos del altímetro, proporcionaron una "evidencia de conceptos" para los instrumentos del satélite GEOS-3, y suministraron ejemplos localizados de datos de la topografía de la superficie del mar.

En adición a los datos suministrados por esos satélites se ha adquirido una considerable información desde muchos otros satélites, cuyas características orbitales e instalaciones han contribuido a la Geodesia.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

El propósito del proyecto GEOS-3 es diseñar, desarrollar y lanzar un satélite oceanográfico-geodésico y ejecutar experimentos en apoyo del programa de la

NASA, titulado: "Earth and Ocean Physics Applications Program" (EOPAP). El proyecto GEOS-3 aplicará las técnicas de los satélites a las investigaciones geocientíficas, como ser: la oceanografía y el estudio de la física terrestre, que es parte de la geología que estudia la composición física de la corteza sólida de la Tierra e interpreta los fenómenos físicos que la hayan afectado, para:

1. Demostrar la capacidad de ejecución y utilidad de los satélites altímetros para medir la geometría de la superficie del océano. Con una suficiente exactitud en la determinación de la posición geocéntrica de los navíos espaciales y con una suficiente altimetría, la geometría de la superficie del océano puede ser representada y pueden hacerse determinaciones del nivel del mar. Esto, a su vez, contribuirá a perfeccionar el conocimiento del geoide, esto es, el nivel que asumirían las superficies del océano en la ausencia de vientos, corrientes y mareas; y una descripción inicial del comportamiento del "tiempo de variación" (time-varying) de la superficie oceánica y el más grande estado de "casi-estabilidad" (quasi-steady state) de desviación de la superficie del mar del geoide, desniveles de la superficie de los mares, mareas, efectos geológicos sobre la superficie de los océanos, etc. La misión proporcionará datos para la detección y medición de la faz oceanográfica, tales como: estado del mar, altura de las olas, y los mayores sistemas de corrientes marítimas.

2. Contribuir a la calibración, determinación de datos con exactitud y perfeccionamiento de las bases terrestres primarias y los sistemas de rastreo de los satélites de apoyo. El perfeccionamiento en la exactitud del rastreo terrestre, especialmente el rastreo por medio del rayo Laser que, acoplado con las datos del altímetro, contribuyen a la solución de problemas, tales como: la detección y medición de las anomalías de la gravedad y la variación temporal del campo gravitacional, la verificación de la teoría de la deriva de los continentes, movimiento polar, movimientos tectónicos o telúricos, como ser los cambios en la estructura de la corteza de la Tierra, movimientos de las fallas terrestres y rotación de la Tierra.

3. Comparar y correlacionar los resultados obtenidos para lograr provecho, tanto de la observancia de datos como del resultado de los análisis.

Las actividades de la misión del GEOS-3 están programadas para un año de duración; sin embargo, los resultados del altímetro y la topografía de la superficie del mar, tienen gran posibilidad de obtenerse en alrededor de seis meses. Los datos ayudarán a perfeccionar los resultados geodésicos y geofísicos del National Geodetic Satellite Program (NGSP) y proporcionar un banco de ensayos o pruebas para los nuevos sistemas y técnicas que se espera contribuirán grandemente hacia los objetivos del EOPAP y, particularmente, al desarrollo del SEASAT, un nuevo satélite oceanográfico que está siendo planeado para ser lanzado en 1978. Esta misión, también contribuirá a dar cumplimiento al Ministerio de Defensa en los requerimientos para la calibración del radar de banda-C y a los requerimientos del altímetro para los Ministerios de Defensa y Comercio.

Una amplia imagen de la oceanografía, de la ciencia y de informaciones de ingeniería resultarán del análisis de los datos obtenidos desde el GEOS-3. Por ejemplo, 41 investigadores o equipos de investigación del gobierno, de las universidades y de las organizaciones industriales, fueron seleccionados por proposiciones sometidas a un concurso en octubre de 1972, para investigar los datos de vuelo en el espacio. Un análisis de los primeros datos a la vista, empezará alrededor de dos semanas después que el satélite haya sido puesto en órbita y, además, se han hecho los arreglos necesarios para proveer a cada investigador los datos apropiados, como una rutina diaria.

OBJETIVOS DE LA MISION

Los objetivos de la misión del GEOS-3, en orden de prioridad al lanzamiento, son:

1. Practicar y experimentar las bondades de un satélite-altímetro en órbita para: (a), determinar las posibilidades de ejecución y utilidad de un radar-altímetro, puesto en el espacio, para car-

tografiar la topografía de la superficie del océano con una absoluta exactitud de más o menos 5 metros y con una relativa precisión de 1 a 2 metros; (b), determinar la posibilidad de medición de la deflexión de la vertical en el mar; (c), determinar la posibilidad de medición de las alturas de las olas, y (d), contribuir a la tecnología de un futuro sistema de satélite-altímetro, con una capacidad de medida de 10 centímetros. (Altimetría, parte de la Topografía, que tiene por objeto determinar las cotas de los diferentes puntos, con respecto a una superficie de referencia, generalmente la correspondiente al nivel medio del mar).

2. Para dar un mayor apoyo como punto de calibración de la NASA y otras agencias terrestres del sistema de radar en banda-C, proveyendo, puesto en el espacio, un sistema coherente de transmisor-respondedor de la banda-C. (Coherent C-band transponder: La palabra transponder está compuesta por Transmitter + Responder, y que consiste en una estación de radio o un juego de radar que, al recibir una determinada señal, emite, en respuesta, su propia señal de radio o de radar, en otra longitud de onda. La palabra Coherent indica: que tiene ondas en fase y de una longitud de onda), para ayudar en la localización de esas estaciones en el sistema unificado de referencia geo-centro, es decir, centrado o con centro en la Tierra y de proveer una cobertura de rastreo en apoyo de los experimentos con el radar-altímetro.

3. Practicar un experimento de rastreo de satélite-a-satélite con el Applications Technology Satellite-6 (ATS-6), empleando un sistema transmisor-respondedor en banda-S, para medir directamente el corto período de aceleración impartido a los vehículos espaciales por el campo gravitacional y para determinar la posición de los vehículos espaciales. El sistema de rastreo de satélite-a-satélite, también será usado para retransmitir los datos del altímetro a través del ATS-6.

4. Para dar un mayor apoyo como un medio de intercomparación entre el antiguo y moderno sistema de medidas geodésicas y geofísicas, incluyendo el radar-altímetro, rastreo por sistema sa-

télite-a-satélite, banda-C, banda-S, rayo Laser y sistemas de rastreo Doppler.

5. Para investigar el fenómeno de la dinámica de la corteza sólida de la Tierra, tales como el movimiento polar, movimiento de las fallas terrestres, rotación de la Tierra, mareas de la Tierra y confirmar la teoría de la deriva de los continentes con los precisos sistemas de rastreo por satélite, tales como el rayo Laser y Doppler.

6. Para perfeccionar con mayor apoyo las técnicas para la determinación de las órbitas, la determinación de enlaces de interdatos, un patrón de la gravedad, por medio de un vehículo espacial equipado con retroreflectores Laser, transmisor-respondedor de banda-C, transmisor-respondedor de banda-S y radioseñales Doppler.

7. Para apoyar la calibración de los lugares de emplazamiento de la banda-S, en NASA's Space Tracking and Data Network (STDN), proveyendo un transmisor-respondedor de banda-S, situado en el espacio, para cooperar en la localización de una red de estaciones de referencia mundial para el sistema de rastreo y para cooperar en la evaluación del sistema unificado de banda-S, como una herramienta para la determinación con precisión de las órbitas y necesidades geodésicas.

RASTREO SATELITE-A-SATELITE

El vehículo espacial GEOS-3, que está orbitando la Tierra fue lanzado el 9 de abril de 1975, bajo la dirección de la NASA.

El nuevo satélite oceanográfico-geodésico ha sido designado como: Geodynamics Experimental Ocean Satellite - 3 (GEOS-3); es el tercero de una serie de vehículos espaciales diseñados para ganar conocimiento de la forma de la Tierra y su comportamiento dinámico. El satélite GEOS-3 fue lanzado por medio de un cohete tipo Delta, desde la Western Test Range, cerca de Lompoc, California, dentro de una órbita geocéntrica circular a una altura de 845 kilómetros, y en ella está circunvolando la Tierra, cada 101,8 minutos, en una trayectoria inclinada 65° retrógrados al

ecuador. Su velocidad orbital es aproximadamente de 26.000 kilómetros por hora.

La órbita del GEOS-3, deberá ser perfectamente conocida de tal manera que la altura medida sobre el nivel del mar por el altímetro, pueda ser exactamente calibrada. Para hacer esto, el GEOS-3 será rastreado, simultáneamente, desde las estaciones de Tierra por rayos Laser, por radiofaros Doppler, por radar de banda-C y radar de banda-S, así como también será rastreado por medio del satélite Applications Technology Satellite-6 (ATS-6), lanzado el año 1974, el cual está ubicado en una órbita geocéntrica estacionaria a 35.680 kilómetros encima del ecuador, en una posición al sur de Kansas City, Missouri.

El satélite ATS-6 fue lanzado el 30 de mayo de 1974 desde Cabo Cañaveral, Florida, y tiene las siguientes características: su peso en vuelo es de 1.270 kilos, midiendo 15,7 metros de punta a punta de sus paneles solares y

de una altura de 8,4 metros en su torre central, que estabiliza a una antena parabólica orientable de 9 metros de diámetro, a través de la cual se efectúan todas las comunicaciones. Al orbitar a la altura de 35.900 kilómetros (22.260 millas estatuto) el satélite permite un rendimiento de un 50% en el tráfico de comunicaciones, tanto de radio como de televisión con las estaciones terrestres.

El satélite ATS-6 y el GEOS-3, son controlados por la NASA, desde su Centro Espacial de Vuelos Goddard, en Greenbelt, Maryland. Durante el experimento, el ATS-6 será comandado por la estación de rastreo en Rosman, North Carolina, para localizar su situación y para rastrear al GEOS-3. Las señales de mediciones de distancia serán transmitidas al ATS-6 y por sistemas de relay al GEOS-3. Las señales de distancia, junto con las condiciones del vehículo espacial, y los datos del experimento, serán retornadas a la estación Rosman a través del mismo lazo de comunicaciones. Ver Figura 1.

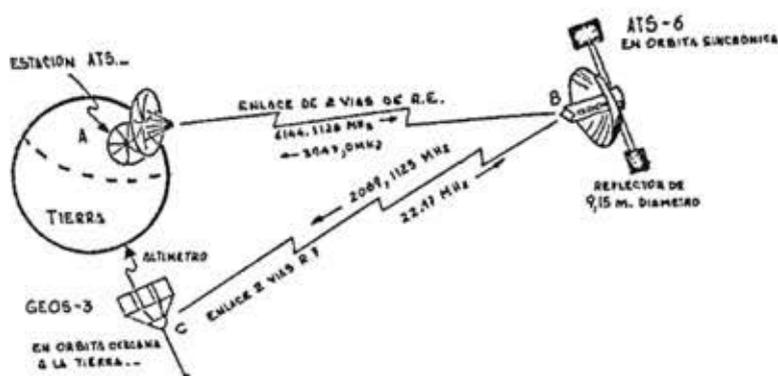


GRAFICO ORGANICO INTERCOMUNICACION SATELITE A SATELITE Y ESTACIONES TERRESTRES.-

Figura 1.

Cuando el GEOS-3 desaparezca bajo el horizonte de la Tierra, en la parte inferior de su órbita, el ATS-6 continuará rastreando una trayectoria al otro lado de la Tierra, indicando la localización del satélite geodésico. Tan pronto como el GEOS-3 reaparezca sobre el horizonte de la Tierra, en su órbita superior, el ATS-6 lo tomará de nuevo a la vista, rastreándolo por más de un 50% de su órbita. Al presente, las esta-

ciones terrestres sólo pueden obtener un rastreo efectivo de un 15% de la órbita. De esta manera, el satélite GEOS-6 será el vehículo espacial mejor rastreado que se haya lanzado por la NASA.

Las informaciones recogidas por este experimento y otros similares, contribuirán a una futura transición, desde el complejo sistema de rastreo por estaciones terrestres hacia un rastreo por satélites,

denominado Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). Al presente, dicho sistema está en su etapa de investigación, el cual se espera colocar en operación a fines de la década del 1970. El sistema empleará dos vehículos espaciales, puestos en órbitas geocéntricas estacionarias, tal como el ATS-6, para intercambiar órdenes de comando por sistemas de relay, rastreo y datos de telemetría entre un terminal centralmente localizado en tierra y un cierto número de vehículos espaciales que orbiten a la Tierra, a baja altura.

Para cooperar al mejor éxito de la misión ASTP, a efectuarse el 15 de julio de 1975, el satélite ATS-6, será utilizado en la operación conjunta del vuelo espacial Apolo-Soyuz Test Project (ASTP), entre Estados Unidos y Rusia. Las comunicaciones entre la nave Apolo y las estaciones rastreadoras de tierra, serán a base del ATS-6, incluso las transmisiones de televisión en colores. Las comunicaciones se harán en ondas de 2.256,0 MHz y 2.077,4 MHz. Para llevar a efecto este experimento, el satélite ATS-6 será trasladado o cambiado a una posición ubicada en la vertical del Lago Victoria, en Kenia, Africa. Las estaciones de rastreo ubicadas en Madrid, España, serán las encargadas de su control, de las comunicaciones y demás operaciones con la nave Apolo. De esta manera, se lograrán largos períodos continuos de comunicaciones, que se calcula en un valor efectivo de tres veces el que pudiera ser cubierto por las estaciones terrestres. Terminada esta misión, el ATS-6 será retornado a su posición original.

Características del GEOS-3

El vehículo espacial GEOS-3 es un aparato compacto de forma octogonal que pesa 340 kilos, de material de aluminio, cuyas bases son troncos de pirámides. Mide 132 centímetros de ancho y 81 centímetros de alto. Su estructura es básicamente similar a la del GEOS-2, que fue lanzado el 11 de enero de 1968, reemplazándosele su pesada armazón para acomodar un peso adicional.

El satélite GEOS-3, como lo hemos señalado anteriormente, tiene por objeto principal realizar experimentos para

probar y aplicar las técnicas de los satélites geodésicos a la geociencia, y en especial a la oceanografía y a la física del sólido terrestre. Al satélite GEOS-3, para cumplir su objetivo, se le ha dotado de los siguientes instrumentos:

1. Un radar-altímetro, que constituye el primer aparato que se instala en un vehículo espacial no tripulado, para demostrar la posibilidad y utilidad del uso del altímetro a bordo de un satélite, para detectar y medir los más notables rasgos oceanográficos, tales como: estado del mar, altura de las olas y los grandes sistemas de corrientes marinas.
2. Dos aparatos transmisor-respondedor de banda-C, para sostener al altímetro y un sistema de calibración de banda-C, también como experimentación para determinar la exactitud de los sistemas para las investigaciones geométricas y gravimetría geodésica.
3. Un aparato transmisor-respondedor de banda-S, para el rastreo de satélite-a-satélite y los experimentos del rastreo desde la Tierra para medir en forma más precisa la órbita de los satélites y el campo gravitacional.
4. Un dispositivo de retrorreflectores de rayo Laser, compuesto por cristales de cuarzo, para la medición de la distancia al satélite por frecuencias ópticas. El anillo de reflectores, alrededor del cuerpo del satélite, ha sido diseñado en tal forma que, permite la medición con una exactitud de 10 centímetros.
5. Un sistema de radio Doppler que transmitirá en dos frecuencias coherentes para obtener con precisión el dato de razón de cambio en distancia del satélite.

El radar altímetro, los retrorreflectores Laser y el variado conjunto de antenas, están montados sobre una plataforma base que estará siempre orientada hacia la Tierra.

Las superficies exteriores del cuerpo del satélite llevan ocho paneles de células fotoeléctricas solares. El conjunto de células solares están proyectadas para proveer el máximo de potencial eléctrico de salida y la fluctuación media diaria mínima, en la exposición del satélite a la luz solar, al orbitar la Tierra. Se han montado sensores digitales solares de posición de vuelo, debajo de tres paneles

de células solares, en colocación ecuatorial. Estos sensores proveerán información a los sistemas de orientación del satélite en relación relativa al Sol.

Los aparatos transmisores-respondedores de las bandas C y S y el sistema Doppler están montados en el satélite. También, incluidos en el satélite están el sistema de comando, el de telemetría y las baterías conectadas al conjunto de células solares. También se le ha montado un magnetómetro-vector de tres ejes, para medir la orientación del satélite con respecto al campo magnético de la Tierra, y un electromagneto para estabilizarlo magnéticamente.

En el centro de la base exterior del satélite, se ha colocado un brazo telescópico de 600 centímetros de largo, en cuyo extremo se le ha fijado una masa con un peso de 45 kilos. Tal disposición, tiene por objeto proveer un preciso sistema de estabilización del gradiente de la gravedad, después que el satélite se haya magnéticamente estabilizado dentro del campo gravitacional exterior de la Tierra. En esta forma, la masa situada en ese punto oscilará o se balanceará

a medida que el vehículo espacial circunvuele al geoide, en su trayectoria orbital fija, tal como lo hace una pelota atada al extremo de un cordel, de tal manera que el radar altímetro, las antenas, los retroreflectores Laser, etc., estén siempre orientados hacia la Tierra. El brazo es telescópico por medio de un motor eléctrico colocado dentro del cuerpo del satélite, a fin de graduar su longitud y, con ello, mantener el momento de inercia circular de acuerdo a las variaciones del campo gravitacional. También hay un volante, tal como un giroscopio, que mantiene un constante momento de inercia, que le permite una completa estabilización en sus tres ejes axiales.

El GEOS-3 está considerado como un enlace entre el National Geodetic Satellite Program (NGSP), y el futuro NASA Earth and Ocean Physics Applications Program (NEOPA).

El vehículo espacial GEOS-3 y sus instrumentos tienen un costo de 12,5 millones de dólares; el vehículo de lanzamiento Delta, alrededor de 4,5 millones de dólares.

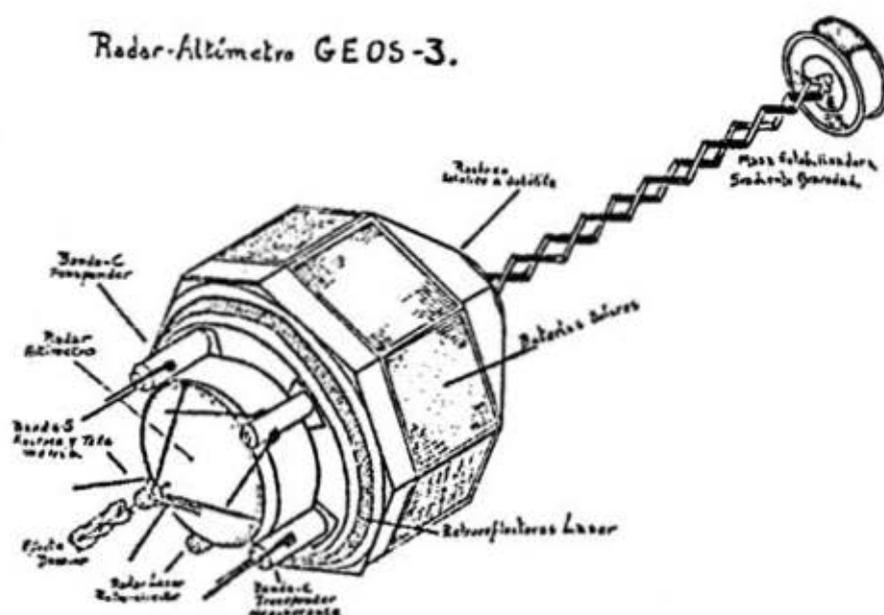


Figura 2.

LAS INVESTIGACIONES

La misión del GEOS-3 conducirá investigaciones en 13 categorías específicas, a saber:

1. Determinación del Geoide Oceanográfico

Esta categoría incluye todas las investigaciones para la determinación de la geometría del nivel medio del mar, usando solamente los datos de la altimetría o en combinación con otros tipos de datos.

Las observaciones del satélite altímetro proporcionarán las mediciones de la altura del satélite sobre la superficie del océano. Este dato puede ser usado directamente para calcular el geoide oceanográfico, siempre que la posición del satélite pueda ser determinada con suficiente exactitud y/o rectificar errores en la posición de éste.

Las investigaciones en esta categoría pueden necesitarse para la combinación de la información del altímetro con la información del geoide, obtenidas desde las existentes superficies gravimétricas, información del satélite sobre el campo gravitacional y la posición de la estación geocéntrica (Gravimetría).

Un importante resultado que se espera obtener del altímetro del GEOS-3, es perfeccionar la descripción del geoide oceanográfico. Al presente, el conocimiento mundial del geoide oceanográfico es provechoso solamente por los datos del satélite del campo gravitacional, el cual, a lo más, define variaciones con anchuras del orden de 1,500 kilómetros o más. El satélite altímetro, con precisión y/o exactitud de 1 a 2 metros, tiene el potencial para aumentar, en gran parte, el conocimiento del geoide oceanográfico, en aquellas partes importantes del océano en donde no existen datos detallados de la gravedad superficial, como también, contribuyendo a aumentar la precisión en aquellas áreas en donde existen datos acerca de la gravedad superficial y otros tipos de gravedad.

2. Mareas Oceánicas

Al presente, la mayoría de las Tablas de Mareas, son hechas con los datos observados en estaciones costeras, en don-

de los efectos de las mareas están fuertemente influenciados por las condiciones batimétricas locales. Aunque existen varias teorías, que permiten computar especulativamente las mareas oceánicas profundas, sólo se han hecho limitados números de mediciones de las mareas oceánicas profundas, utilizando los mareógrafos de fondo.

El altímetro del GEOS-3 tiene el potencial para una rápida determinación global de las mareas oceánicas. El GEOS-3 permitiría la evaluación de varias técnicas para la recuperación de datos de mareas desde las mediciones del altímetro del satélite. Para ayudar en esta evaluación, los análisis de mareas provenientes de los datos del altímetro del GEOS-3, se determinarán por medio de los datos reunidos en áreas donde la exactitud del fondo del mar es conocida por medio de mareógrafos de fondo.

3. Determinación del estado del mar

En adición a las distancias dadas, entre el vehículo espacial y la superficie del océano, datos proporcionados por el altímetro del GEOS-3, por medio del análisis de las características de los impulsos de retorno, se espera proporcionar una información sobre el estado del mar. En particular, información sobre la altura media de las olas, período de las olas, y aun determinarse la dirección de la propagación de las ondas.

Aunque se han realizado estudios teóricos y análisis de los datos de radares-altímetros efectuados por aviones, se necesita un considerable empeño para determinar el grado al cual diversos tipos de datos del estado del mar pueden ser extraídos desde un satélite altímetro, e identificar los mejores métodos para lograr la extracción de esas informaciones. La mayoría de las investigaciones planeadas para el GEOS-3, para la determinación de los análisis del estado del mar, están dirigidas a la evaluación de la factibilidad e identificación de los mejores métodos a través de cotejar resultados obtenidos del altímetro del GEOS-3 con las reales condiciones del estado del mar, por las informaciones obtenidas en tierra y con los datos obtenidos por los instrumentos de radar desde aeronaves localizadas.

En adición a los análisis de los datos del GEOS-3, en términos de parámetros del estado del mar, el objetivo de estas investigaciones incluye el desarrollo de informaciones para usarse en el diseño de futuros satélites radares altímetros, y la determinación del potencial de oblicuidad introducido en el altímetro para la determinación de la topografía de la superficie del mar, debido al estado del mar.

4. Desviaciones casi estacionarias del Geode marino

Esta categoría incluye todos los análisis de los datos del altímetro, proyectados para investigar las desviaciones no periódicas del nivel del mar, desde los valores esperados, basados en el presente conocimiento del campo gravitacional. También incluye análisis de los datos del altímetro para determinar el desnivel de los mares asociados con tales fenómenos, como las corrientes y vientos establecidos.

La topografía de la superficie del mar, que será medida por el altímetro del GEOS-3, es una función primariamente de variación de la fuerza de gravedad sobre la superficie de la Tierra, cambios en la presión atmosférica desde un punto a otro sobre la superficie del océano, estructura de la densidad en la columna de agua, efectos de los vientos sobre la superficie, efectos dinámicos debido a las corrientes oceánicas y efectos de las mareas. Si solamente, estuvieran presentes las fuerzas gravitacionales, incluyendo la rotación de la Tierra, la topografía de la superficie de los mares coincidiría con el geode.

Los efectos de las variaciones de la presión atmosférica, fuerzas del viento y mareas, son de tiempo-variable, con una razonablemente alta frecuencia temporal. Los efectos de la estructura de la densidad de la columna de agua y corrientes, son usualmente considerados como desviaciones casi-estacionarias del geode, aun cuando los efectos de las corrientes cambian en áreas restringidas de la superficie.

Una de las pretensiones primarias de la NASA's Earth and Ocean Physics Applications Program (EOPAP) es de-

terminar, desde las mediciones altimétricas, posiciones de partida para la topografía de la superficie del mar desde el geode marino, ocasionado por el movimiento de las aguas. La razón para estas interesantes posiciones reside en el hecho que la velocidad y el volumen de agua en movimiento pueden ser deducidos desde esos puntos de partida.

5. Perfeccionamiento de un Modelo de la Gravedad

Esta categoría contiene todos los análisis del altímetro del GEOS-3, y los datos de rastreo, los cuales tienen como objetivo ulterior, la determinación y perfeccionamiento de un modelo del campo gravitacional de la Tierra. Estos llevan implícitos ambos análisis de las perturbaciones normales, combinándolas con los datos de rastreo del GEOS-3, con datos de otros satélites y análisis en el cual se incluyan informaciones de la altura del altímetro desde el geode y del experimento de valuación del rastreo satélite-a-satélite, así como otros datos de rastreo, cambiándose con informaciones existentes, para perfeccionar un modelo del campo gravitacional.

El perfeccionamiento de los modelos existentes de la gravedad es un requisito para alcanzar las metas del EOPAP, desde tres puntos de vista. Primero: para satisfacer un número de metas del EOPAP se requiere mejorar la determinación de las órbitas de los satélites, las cuales, en gran parte, dependen del perfecto conocimiento de un modelo de la gravedad. Segundo: determinación de los efectos de las corrientes oceánicas sobre la topografía de las superficies de los mares, las que requieren una alta exactitud en los geoides, con los cuales pueda ser comparada la topografía superficial del mar, derivada del altímetro. El incremento de la exactitud del geode requiere un incremento en la exactitud del conocimiento del campo gravitacional. Finalmente, la interpretación de un campo gravitacional perfeccionado, ofrece el potencial de incrementar el conocimiento de la placa tectónica y, por tanto, el mecanismo que produce los terremotos.

Las informaciones sobre el campo gravitacional pueden ser derivadas de los datos del GEOS-3, de tres maneras: (1) por la combinación de informaciones sobre las perturbaciones del GEOS-3, desde los datos de rastreo, con los datos desde otros satélites, en un análisis general de perturbaciones; (2) por análisis de los datos de rastreo de satélite-a-satélite, por sistema Doppler, tiene por objeto medir los cambios o variaciones en distancia que se verifiquen entre los vehículos espaciales, como una indicación de las anomalías locales del campo gravitacional de la Tierra. La estructura del campo gravitacional de la Tierra es de gran interés científico, porque es una de las guías de la distribución interna de la masa de la Tierra. Los datos de las anomalías de la gravedad contribuirán a los estudios geológicos y geofísicos, estudios de la deriva de los continentes, terremotos, actividades volcánicas y recursos minerales, y (3) por transformación de los datos del altímetro, de su altura sobre el geoide, a una información de irregularidades gravitacionales. Las investigaciones también incluyen las combinaciones de los datos del GEOS-3, con las informaciones del campo gravitacional desde otras fuentes.

6. Investigaciones Geológicas

Una importante aplicación de los resultados del geoide, que se derivará de los datos del altímetro del GEOS-3, será la interpretación en términos de eficaces resultados geológicos y geofísicos. Los resultados del altímetro del GEOS-3, pueden ser de particular valor para extender la información hacia áreas en las cuales poca o ninguna información existe, al presente, de la gravedad superficial.

7. Dinámica del Sólido Terrestre

Esta categoría comprende todos los análisis implicados en la determinación de las mareas de la Tierra, movimiento polar y cambios en la velocidad de rotación de la Tierra. También incluye la determinación de posiciones muy precisas sobre la superficie de la Tierra, usando los datos de rastreo del GEOS-3, co-

mo para la determinación de los movimientos de las fallas y movimientos de la corteza terrestre.

La alta precisión del rastreo del GEOS-3 particularmente con el sistema Laser, con una precisión de submúltiplos del metro, permitirá deducciones que mejorarán ampliamente las informaciones sobre la dinámica del sólido terrestre. Asimismo, podrán hacerse determinaciones sobre los efectos de las mareas del sólido de la Tierra, y de los movimientos de los polos de la Tierra, incluyendo el movimiento Chandler, el movimiento anual y el bamboleo diario.

El movimiento Chandler de los polos, llamado así en homenaje a su descubridor, el astrónomo norteamericano Seth Carlo Chandler, Boston, Massachusetts, septiembre 17 de 1846 - Wellesley, Mass., diciembre 31 de 1913. Recibió, en 1896, una medalla de oro, otorgada por la Sociedad Astronómica de Londres, por la determinación de las leyes de las variaciones o movimientos en latitud de los polos terrestres. Este fenómeno consiste en un cambio de posición del eje de rotación de la Tierra, con respecto a los ejes geométricos de su figura. Esto trae por consecuencia una variación de la posición del eje del polo norte, motivando un cambio con respecto de la corteza terrestre. Este desplazamiento se ha calculado en unos 9,144 metros, desde su posición media. Este movimiento causa una variación en las latitudes de todos los puntos, cuyas posiciones han sido determinadas con respecto al ecuador terrestre.

8. Intercomparación, Evaluación y Calibración de los Sistemas Instrumentales

Esta categoría comprende todas aquellas investigaciones cuyos objetivos son la evaluación y calibración del altímetro, rastreo de satélite-a-satélite y los instrumentos de rastreo terrestre, que serán usados con la misión del GEOS-3. Se incluyen también las evaluaciones de los instrumentos instalados a bordo del satélite y los del sistema terrestre. Todas las investigaciones de intercomparación instrumental y los estudios relacionados con la tecnología de la instrumentación, también están en esta categoría.

Puesto que los experimentos, satélite-a-satélite, involucran nuevos instrumentos, se dará especial énfasis a la evaluación y calibración de esos resultados.

9. Determinación del ajuste de los datos terrestres

Esta categoría incluye toda investigación cuyo objetivo es la recopilación de datos de sistemas basados en estaciones terrestres, buques científicos y aeronaves y el uso de estos datos para valorar los sistemas característicos del satélite.

10. Perfeccionamiento en la ubicación de Estaciones de rastreo terrestre

Esta categoría lleva en sí todas las investigaciones destinadas a determinar la localización de las estaciones de rastreo, en donde el objetivo principal y natural sea geodésico y no para propósitos de la dinámica de la Tierra.

Diversos tipos de datos de rastreo tomados por el satélite GEOS-3 serán usados para cooperar en el perfeccionamiento de las informaciones para la ubicación de las estaciones de rastreo, las que serán altamente útiles en apoyar la calibración del altímetro y en los proyectos de otros objetivos. El GEOS-3 proveerá datos desde las nuevas estaciones, los que serán de alta exactitud en comparación con los primitivos y datos desde los nuevos tipos de instrumentación, tales como las mediciones del Very Long Baseline Interferometer (VLBI). El interferómetro de gran base, es un instrumento que utiliza el fenómeno de interferencia de la luz, para la determinación precisa de las longitudes de onda, estructura espectral fina, índices de refracción y los pequeños desplazamientos lineales.

11. Perfeccionamiento en la determinación de las órbitas

Indirectamente, puede confiarse que los resultados del GEOS-3 servirán para perfeccionar la determinación de las órbitas, al mejorarse las informaciones sobre la existencia del campo gravitacional. Sin embargo, las investigaciones de esta categoría acentuarán las informaciones de nuevos tipos de rastreo, tales co-

mo el experimento de rastreo de satélite-a-satélite y los datos del altímetro y su capacidad para acentuar el mejoramiento en la determinación de las órbitas.

12. Proceso para el manejo e información de datos

Esta categoría incluye investigaciones cuyos objetivos son el desarrollo de métodos y técnicas para manejar y procesar los datos tomados por los variados equipos instrumentales del GEOS-3. Estos incluyen también los procedimientos para la redacción de datos y técnicas de preprocesamiento. Específicamente, las investigaciones serán dirigidas directamente hacia aquellos sistemas que, se supone, serán muy útiles en las futuras actividades aplicables a la Tierra, a la física de los océanos y que admiten un avance en las técnicas aplicables a futuras actividades.

13. Sistemas únicos de investigaciones

Tres investigaciones del GEOS-3 están exclusivamente asociadas con una instrumentación específica y que no interfieren dentro de las 12 categorías precedentes. Una de las investigaciones trata con los estudios atmosféricos, utilizando los datos de rastreo del experimento satélite-a-satélite tomados a través de la atmósfera, mientras que las otras dos se relacionan con el altímetro y el sistema de banda-C.

CARACTERISTICAS DEL VEHICULO DE LANZAMIENTO

El satélite GEOS-3 fue lanzado desde el Space Launch Complex 2 West (SLC-2W), estación de la Western Test Range, cerca de Lompoc, California, por un vehículo tipo Delta de dos etapas. El proyecto del cohete es controlado técnicamente por el Goddard Space Flight Center, en Greenbelt, Maryland; la industria constructora es McDonnell Douglas Astronautics Co., de Huntington Beach, California. El cohete tiene las siguientes características:

Altura total 32 metros, incluyendo la cubierta protectora del satélite. Diáme-

tro máximo 2,40 metros, sin incluir los cohetes auxiliares reforzadores, acoplados a la base de la primera etapa.

Peso total al despegue: 110.165 kilos.

Impulso al despegue: 1.375.000 newtonios, incluyendo los cuatro cohetes auxiliares reforzadores de combustible sólido, acoplados a la primera etapa. (Newtonio: unidad de fuerza, en el sistema de unidades M.K.S. Es la fuerza que, al actuar sobre un cuerpo de 1 kilo de masa, le produce una aceleración de 1 metro por segundo por segundo. Equivale a 10^5 dinas).

Primera etapa

Consiste de un largo estanque tipo Thor, producido por sus fabricantes, la McDonnell Douglas Astronautics Co., con motores tipo MB-III-B, producidos por la industria Rocketdyne Division of Rockwell International, y tiene las siguientes características:

Altura total: 18 metros.

Diámetro exterior: 2,40 metros.

Combustible: parafina tipo RP-1 como comburente, y oxígeno (LOX), como oxidante.

Impulso de 780.000 newtonios.

Tiempo de quema, alrededor de 228 segundos.

Peso, alrededor de 84.600 kilos, excluyendo a los cohetes auxiliares reforzadores.

La máquina principal está montada en una articulación cardán para proveer el control de declive y de guiñada, desde el despegue hasta el corte de la máquina principal. Dos máquinas vernier de combustible líquido, proveerán el control del balance, a través de la operación de la primera etapa y el declive y guiñada, desde el corte de la máquina principal hasta la separación de la primera etapa de la segunda.

Cohetes Auxiliares Reforzadores

Los cohetes auxiliares reforzadores, de combustible sólido, están acoplados diametralmente a 90° a la base de la primera etapa y tienen por objeto aumentar la capacidad de empuje en forma consi-

derable; por esta disposición, al cohete Delta se le llama también cohete de propulsión aumentada.

Cuatro cohetes tipo Castor II, fabricados por Thiokol Chemical Corp.

Diámetro exterior: 0,80 metros.

Altura total: 7 metros.

Peso total, cada uno 4.475 kilos = 17.900 kilos.

Empuje máximo, cada uno 231.400 newtonios = 925.600 newtonios.

Tiempo total de quema 38 segundos.

Segunda Etapa

Fabricada por McDonnell Douglas Astronautics Co., usando una máquina a cohete tipo TRW TR-201. El instrumental del sistema de dirección inercial está incluido en esta etapa y ha sido fabricado por Hamilton Standard and Teledyne.

Propelentes: Como combustible líquido aerozono 50 para el comburente, y tetróxido de nitrógeno N2O4, como oxidante.

Diámetro: 1,50 metros, más la envoltura de protección del satélite de 2,40 metros.

Altura total 6,40 metros.

Peso: 61.800 kilos.

Empuje, alrededor de 42.300 newtonios.

Tiempo total de quema: 335 segundos.

La máquina principal está montada en una articulación cardán para proveer el control de declive y de guiñada, desde el momento del encendido de la segunda etapa. Un sistema de gas nitrógeno, usando ocho toberas fijas, proveerá el control de balance, durante el tiempo que demore en obtener su potencia de vuelo y avance por inercia, así como también el control de declive y guiñada durante su vuelo inercial y después del corte de la segunda etapa. Dos toberas fijas, alimentadas por el sistema de estanque de sobrecarga de helio propelente, proporcionarán la fuerza de retroimpulso, después de la separación del vehículo espacial, para desviarla de la trayectoria de la carga útil o satélite, evitando colisiones.

OPERACIONES DE LANZAMIENTO

Las operaciones de lanzamiento de la NASA, situadas en la costa occidental de los Estados Unidos, serán conducidas por el Kennedy Space Center's Unmanned Launch Operations, Western Launch Operations Division (WLOD). La estación está ubicada en la Base Vandenberg Air Force, cerca de Lompoc, California, aproximadamente a 125 millas al noroeste de Los Angeles, y a 280 millas al sur de San Francisco. Su situación, en un

promontorio cercano a la punta Argüello, permite efectuar el lanzamiento hacia el Océano Pacífico, en dirección al sur, permitiendo colocar a la carga útil en una órbita polar o muy cerca de ella, sin necesidad de sobrevolar áreas densamente pobladas.

En la tabla adjunta se proporciona la secuencia del procedimiento del lanzamiento.

EVENTOS DEL LANZAMIENTO DEL GEOS-3

Evento	Tiempo Segundos	Altura Kms.	Velocidad M/Segs.
Despegue	0	0	0
Quema 4 motores combustible sólido	9	4,4	448
Desprendimiento de los 4 motores	120	26	475
Corte de la máquina principal	272	96	4.179
Seperación I/II etapas	280	104	4.174
Ignición de la II etapa	285	109	4.164
Desprendimiento fuselado protector	305	126	4.267
Primer corte de la II etapa	576	185	7.854
Reencendido de la II etapa	3.419	842	7.140
Segundo corte de la II etapa	3.426	842	7.314
Separación del satélite	3.501	840	7.315

