


# USO ESPACIAL DEL RADAR DE ABERTURA SINTETICA

Víctor Peña Mancilla  
Capitán de Navío

## PRINCIPIO

 El radar, siglas inglesas de Radio Detecting and Ranging (Detección y Medición de Distancia por Ondas de Radio), desde la época de su invención por el físico escocés Sir Robert Alexander Watson-Watt, basándose en los descubrimientos de los efectos de la reflexión de las ondas electromagnéticas efectuadas por Heinrich Rudolf Hertz, físico alemán (Hamburgo, 1857-Bonn, 1894), ha sido perfeccionado continuamente, adaptándose a diversas disciplinas culturales, tecnológicas y científicas y en la actualidad su uso en la Era Espacial ha dado satisfacciones nunca antes imaginadas.

Tal invento, en su etapa primaria fue mantenido en secreto por el Gobierno británico como una primicia táctica en razón de los acontecimientos políticos preguerra que ya se prevenían por el Gobierno de Adolf Hitler. Iniciadas las hostilidades bélicas, el escenario del mar del Norte cobró una inusitada importancia al invadir Noruega el ejército alemán y su poder naval darle protección a sus comunicaciones marítimas.

En esta apremiante situación estratégico-táctica, se proveyó a la marina de guerra británica de instalaciones de radar que en sus primeros éxitos navales fueron la gran sorpresa para Alemania, lo que causó la derrota tanto de su ejército como de su armada en dicho escenario bélico. El radar cumplía su primer gran éxito táctico.

Actualmente es empleado para el levantamiento cartográfico de la superficie de los pla-

netas de nuestro sistema solar. Tal uso es denominado Synthetic Aperture Radar (SAR; Radar de Abertura Sintética).

Dicho sistema ha sido instalado en un vehículo espacial satélite con destino a Venus y bautizado con el nombre *Magallanes* en honor de dicho navegante español. Fue lanzado desde cabo Cañaveral, base de lanzamientos Kennedy, Florida, el 4 de mayo de 1989, programándose su arribo a dicho planeta en agosto de 1990, con una vida útil hasta julio de 1991 (figura 1).

## GEOMETRIA

Con un radar convencional la "resolución de una imagen" depende del tamaño de la antena principal; mientras más grande, mejor es la resolución. Sin embargo, no es posible instalar una antena muy grande en un vehículo espacial, porque sería muy costosa y muy difícil de manipular.

Para resolver este problema, las señales del radar de abertura sintética del *Magallanes* serán procesadas por computadores en las estaciones receptoras en tierra, de tal manera que sus resultados imitarán o sintetizarán la presencia de una gran antena en el satélite cartográfico. Por medio de esta síntesis, el sensor de radar instalado a bordo operará como si tuviera una gran antena y producirá imágenes de alta resolución, aunque su antena real sólo mide 3,70 metros de diámetro.

En razón de la brevedad de esta publicación, sólo mencionaremos que el complejo in-

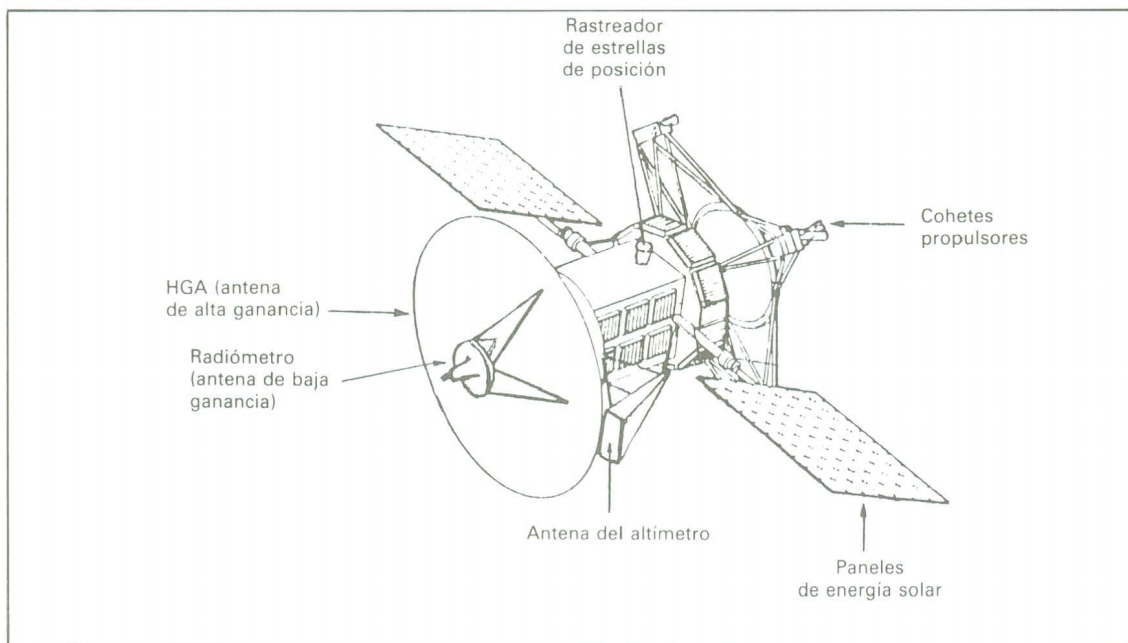


Fig. 1. SATELITE CARTOGRAFICO "MAGALLANES"

genio del sensor instalado a bordo del satélite es un conjunto que pesa 154 kilogramos y mide  $100 \times 135 \times 28$  centímetros; funciona con una energía de 24 a 33 volt de corriente continua, consumiendo entre 460 a 530 watt para funciones del SAR y del altímetro y además 184 watt durante los 37 minutos de recorrido cartográfico de cada pasada, en una sola dirección.

## FUNCIONAMIENTO CARTOGRAFICO DEL SISTEMA

Establecida esta técnica cartográfica por radar, el sistema completo instalado en el *Magallanes* adquiere datos en tres modos<sup>1</sup> diferentes, pero simultáneamente, que son:

1. Radar de Abertura Sintética,
2. Altímetro (ALTA) y
3. Radiómetro.

El SAR y el radiómetro operan a través de la Antena de Alta Ganancia (High Gain Antenna, HGA), mientras que el altímetro usa una antena separada, en forma de bocina o cuerno y sección rectangular cónica de 5 pies de longitud, ubicada inmediatamente en la parte inferior de la HGA, que es parabólica y de 12 pies de diámetro.

Los modos SAR y altímetro son activos, es decir, de doble acción; transmiten y reciben pulsos de radar a la vez. El radiómetro es pasivo, lo que significa que el radar está sólo en un estado de recepción.

Todos los modos usan el mismo material o equipos electrónicos instalados a bordo del vehículo espacial, pero el principio de operación es completamente diferente para cada uno de ellos. Aunque al conjunto de la operación se la denomina "simultánea", en realidad los modos son rápidamente "secuenciados en orden de sucesión" con una "razón de repetición" para los tres modos, de alrededor de 1,5 segundos.

El sistema de radar está conformado por dos "subsistemas", el de vuelo y el de tierra. El radar es gobernado o comandado a través del vehículo espacial y los datos son enviados hacia la Tierra, después de grabarlos a bordo, para ser procesados en mapas.

### El Radar de Abertura Sintética

El SAR es un método para mejorar y perfeccionar la "resolución" en una dimensión de una

<sup>1</sup> Modo: Una de las varias condiciones alternativas o métodos de operación de un vehículo espacial u otro aparato dinámico.

superficie de dos dimensiones, siendo la resolución la característica o aspecto principal de las cosas u objetos vecinos más pequeños que son distinguibles por medio de los pulsos de radar u otra tecnología, como ser, los telescopios y fotografías.

Para obtener las imágenes con dicho método se requiere que el radar esté con un movimiento relativo a la superficie o cuerpo blanco. La dirección de ese movimiento de barrido longitudinal o lineal es llamado "acimut". Altas resoluciones son obtenidas en esta dirección usando el radar para recopilar muchas muestras o ecos a medida que éste se mueve a lo largo de esa superficie. Estos ecos son procesados juntos en los controles de tierra, tomando en cuenta el movimiento del radar para "crear una abertura sintética", la que muchas veces es del tamaño de la "abertura real" de la HGA. Esto se hace usando la información Doppler recopilada en los numerosos ecos recibidos mientras pasa por la imagen de un blanco. Como un dato de apreciación, el radar recopilará datos a una velocidad de  $1,7 \times 10^9$  bits por segundo, por órbita.

La resolución, en la otra dimensión llamada "distancia", se obtiene por las técnicas normales de codificación de los pulsos que son comunes en la mayoría de los radares.

El método SAR mira hacia el cuerpo blanco y la resolución de distancia sobre la superficie a cartografiar es perfeccionada por el acto de mirar la trayectoria de vuelo del radar desde "un costado", es decir, de soslayo u oblicuamente, para lo cual se "inclina el vehículo espacial" en la dirección y ángulo adecuados. Para aclarar este método veamos el ejemplo siguiente: Si una persona se coloca directamente debajo de un haz de luz su sombra es mínima, pero si se aleja de él su sombra va aumentando en longitud en la dirección de su movimiento; así, el espacio o área ocupado por la sombra es mucho mayor. De aquí su nombre "sintético"; es lo mismo que soslayar la luz (figura 2).

### El altímetro

La función de un radar altímetro es medir el tiempo del "eco" y por lo tanto la "distancia" entre el vehículo espacial y la superficie que está inmediatamente debajo de él. Muchos sistemas de altímetros envían un "pulso simple" y esperan un eco. Debido a la altura orbital y a la necesidad de perfeccionar la fuerza de la señal, el radar altímetro del *Magallanes* transmite 17 pulsos en 1,2 milisegundos, dejando un espacio vacío de 1 milisegundo para la recepción del

eco. Dichos tiempos varían con la altura del vuelo.

Los pulsos son transmitidos y recibidos a través de la antena ALTA, la que siempre está apuntada hacia abajo, ya sea hacia un subsatélite o al punto nadir. El eco más fuerte usualmente llega desde la dirección nadir, pero en regiones de alto relieve puede ser contaminado con otros ecos o réplicas provenientes de áreas más cercanas.

La impresión de "huellas, pisadas, rastos" del altímetro son de manera usual muy amplias, de 4,83 a 19,31 kilómetros, usándose otras técnicas para determinar la distancia entre el vehículo y la superficie en medición. Estos datos son combinados con la posición del vehículo, información que produce un mapa topográfico que representa la elevación relativa a la superficie media planetaria.

### El radiómetro

Es un instrumento para detectar microondas dentro de la banda L, que es una banda espectral dentro de la región de las microondas del espectro electromagnético; cubre las longitudes de ondas entre 19,3 a 76,9 centímetros.

El radiómetro tiene como complementos al "espectrómetro infrarrojo" y al "explorador multiespectral". Debido a esta disposición también se le denomina "dispositivo cartográfico radiométrico térmico infrarrojo".

Un radiómetro mide las emisiones térmicas naturales de un cuerpo o superficie en observación. En el caso del radar del *Magallanes*, la superficie de Venus es observada por medio de una antena de forma similar a un lápiz, con una abertura circular de 2,5 grados, instalada en la cúspide del plato parabólico de la HGA y recibiendo en la banda S a la velocidad de  $7,2 \times 10^4$  bits por segundo durante el barrido cartográfico. Mucha de la energía recibida por el receptor proviene de la superficie causada por su "temperatura natural". Variaciones en el material que constituyen la superficie causan diferencias en la energía recibida.

El radiómetro recibe "ruidos" desde los objetos materiales que están entre la superficie barrida y el sistema detector termal, tales como la atmósfera venusiana, las antenas y cables y las partes internas del receptor mismo. El radiómetro es "calibrado" para cada otra medición de los ruidos internos. Los ruidos exteriores, provenientes de las antenas y cables, son calibrados a través de mediciones infrecuentes que ocurren o acaecen a largos intervalos, con la antena HGA apuntada hacia el espacio profundo.

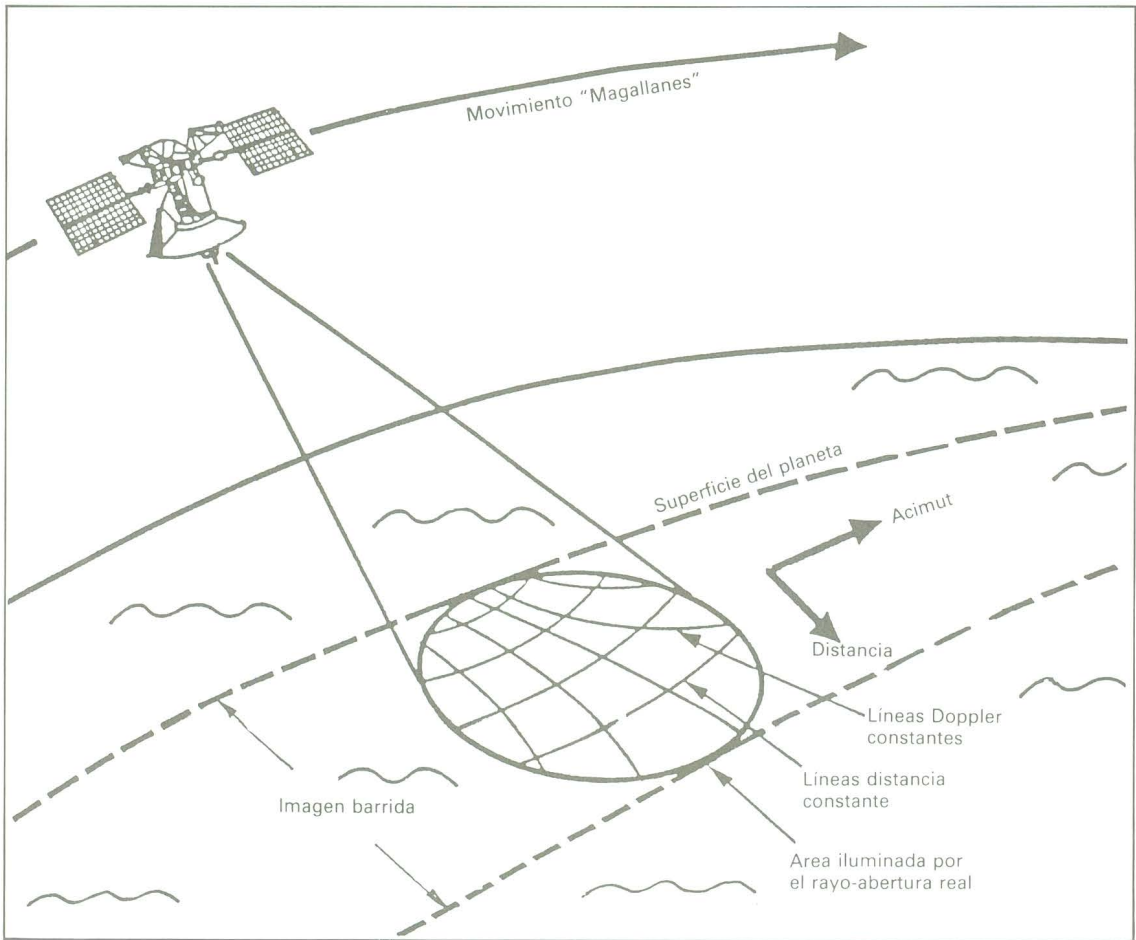


Figura 2

### Duración de la misión cartográfica

En razón a que el movimiento de rotación axial de Venus es "retrógrado", es decir, en el mismo sentido de las agujas del reloj, su período es de 243 días terrestres, por lo que un día solar venusiano es de 116,75 días de la Tierra, lo que es precisamente un factor 5,0014561 menor que el período sinódico. De aquí que el día solar es de 58,375 días luminoso y 58,375 de oscuridad. De esta manera siempre es presentada la misma cara de Venus en cada conjunción interior —superior o inferior. El período sideral de revolución de Venus alrededor del Sol es de 224,70 días de la Tierra. Luego, la misión efectiva es de 243 días terrestres.

### Seguridad y exactitud cartográfica

Para asegurarse de la veracidad y exactitud de

los datos cartográficos del SAR se procede como sigue. Cualquier punto en el mapa de la imagen de radar puede ser localizado usando dos mediciones: Primero, la distancia al punto determinada por el tiempo que toma la señal de radar en regresar al *Magallanes* y, segundo, por la cantidad del desplazamiento Doppler en la señal, desplazamiento en frecuencia causado por el movimiento del vehículo espacial a lo largo de su órbita.

Sin embargo, surge la duda de cuál es el punto exacto de dos puntos separados extensamente, tales como el A y B de la figura 3, los que tienen el mismo tiempo transcurrido y desplazamiento Doppler. En consecuencia, para evitar la confusión entre estos dos puntos, la antena SAR será apuntada hacia el lado izquierdo del trayecto o rastro terrestre orbital, iluminando sólo a uno de esos puntos posibles, como el A,

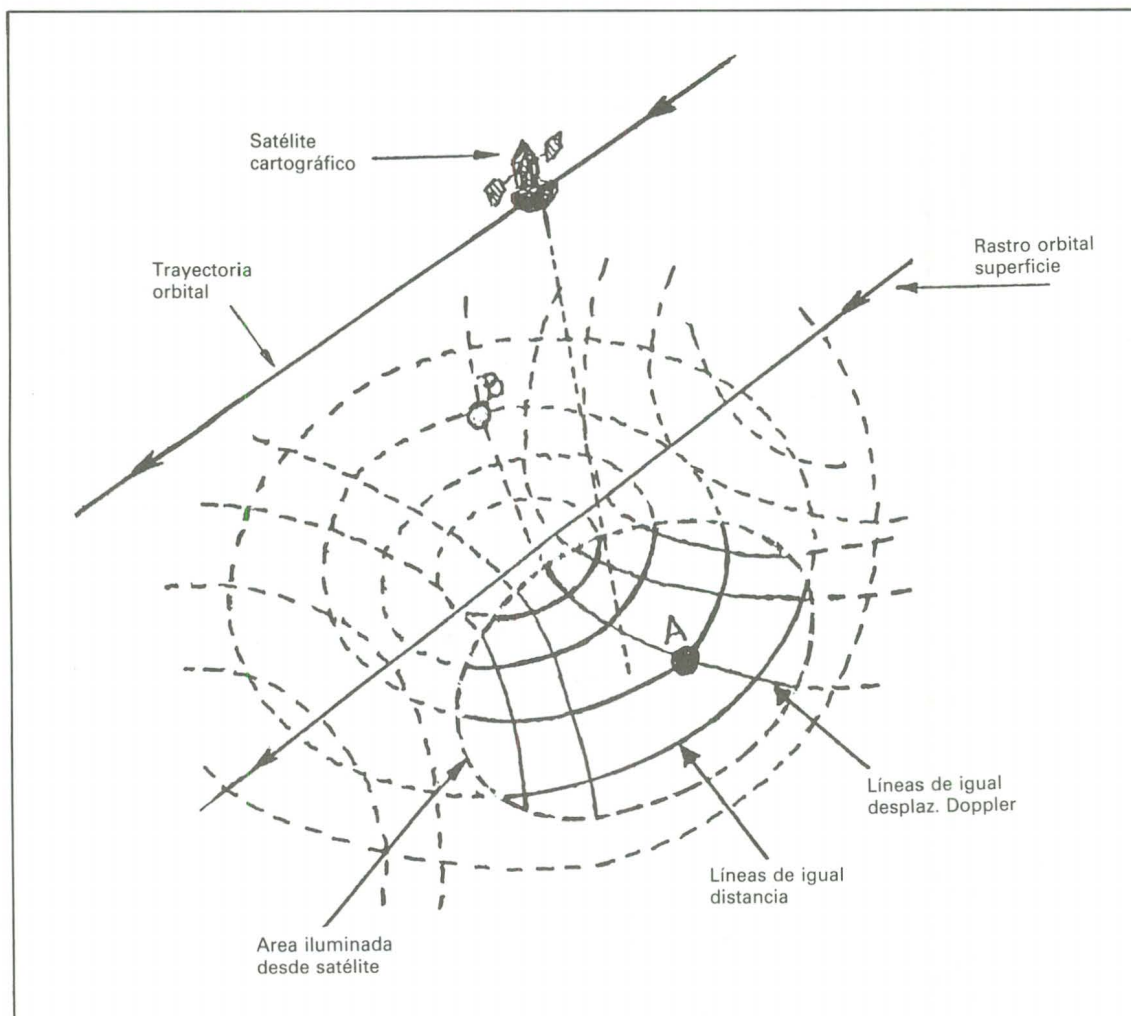


Figura 3

ya que el B ha sido registrado en una órbita del barrido anterior. Así, el mapa de radar resultante mostrará los aspectos o características de los puntos ubicados en el lado izquierdo de la superficie cartografiada.

La exactitud señalada es de gran importancia en la secuencia de los "traslapes" de las zonas o células cartográficas en cada órbita del satélite; con ello se supera la posible ambigüedad en la confección del mapa definitivo en los Centros de Control en tierra. También se debe tomar en consideración la velocidad de rotación axial retrógrada de Venus, en este caso para afinar los datos ya mencionados.

### Generación de las órdenes de comando

El instrumental de vuelo del radar no genera

ninguno de sus propios comandos, como tampoco lo hace el satélite por sí mismo para determinar qué comandos de radar necesita para su operación. El proceso de la generación de comandos se inicia con un programa de computación llamado Radar Mapping Sequencing Software (RMSS; Programa de Secuencia Cartográfica por Radar). Dicho programa crea el mejor conjunto posible de órdenes de comando para las condiciones pronosticadas. Modela al radar y al vehículo espacial a través de algoritmos —ecuaciones— y usa precisas predicciones de navegación.

La tarea principal de este sistema de comandos es posicionar una "ventana receptora" de datos al tiempo de su esperado regreso o devolución. Este programa usa la "ecuación de

radar" para determinar tales acciones programáticas, tales como la requerida ganancia insertada en el receptor y la razón de pulsos. Parte del programa es usado para calcular la información de puntuación o señalamiento para la antena HGA.

Estas tareas son complicadas por el angosto rayo de la antena, la órbita elíptica y por el hecho que los ecos necesitan ser localizados o posicionados o interpolados entre las salidas de transmisiones de pulsos de radar. Las interpolaciones entre las transmisiones y recepciones son necesarias para obtener la deseada "alta resolución" de acimut a la altura de la órbita. Los programas de comandos de radar son enviados hacia el satélite, usualmente, tres veces a la semana desde el Deep Space Network (DSN; Red Mundial Espacial), siendo almacenados en la memoria del vehículo para ser usados durante un tiempo de 37 minutos en cada pasada cartográfica (figura 4).

### Vía de los datos enviados a tierra

El procedimiento SAR genera grandes volúmenes de datos comparados con casi la mayoría de cualquier otro sistema de datos espaciales. Estos datos deben ser "amortiguados" y almacenados en las memorias de las grabadoras-computadoras del radar y del vehículo, para más tarde ser retransmitidas a los Centros de Control DSN y JPL.

El radar posee una Data Formatter Unit (DFU; Unidad Formadora de Datos) y tiene la tarea de aceptar datos de radar, los que llegan en descargas o intensidades de 36 Megabits por segundo, y en seguida expedir los datos a una razón constante a las unidades del vehículo espacial, de 0,8 Megabits por segundo.

La pantalla HGA es compartida por el sistema de telecomunicaciones del vehículo y los del radar. La pantalla no puede,

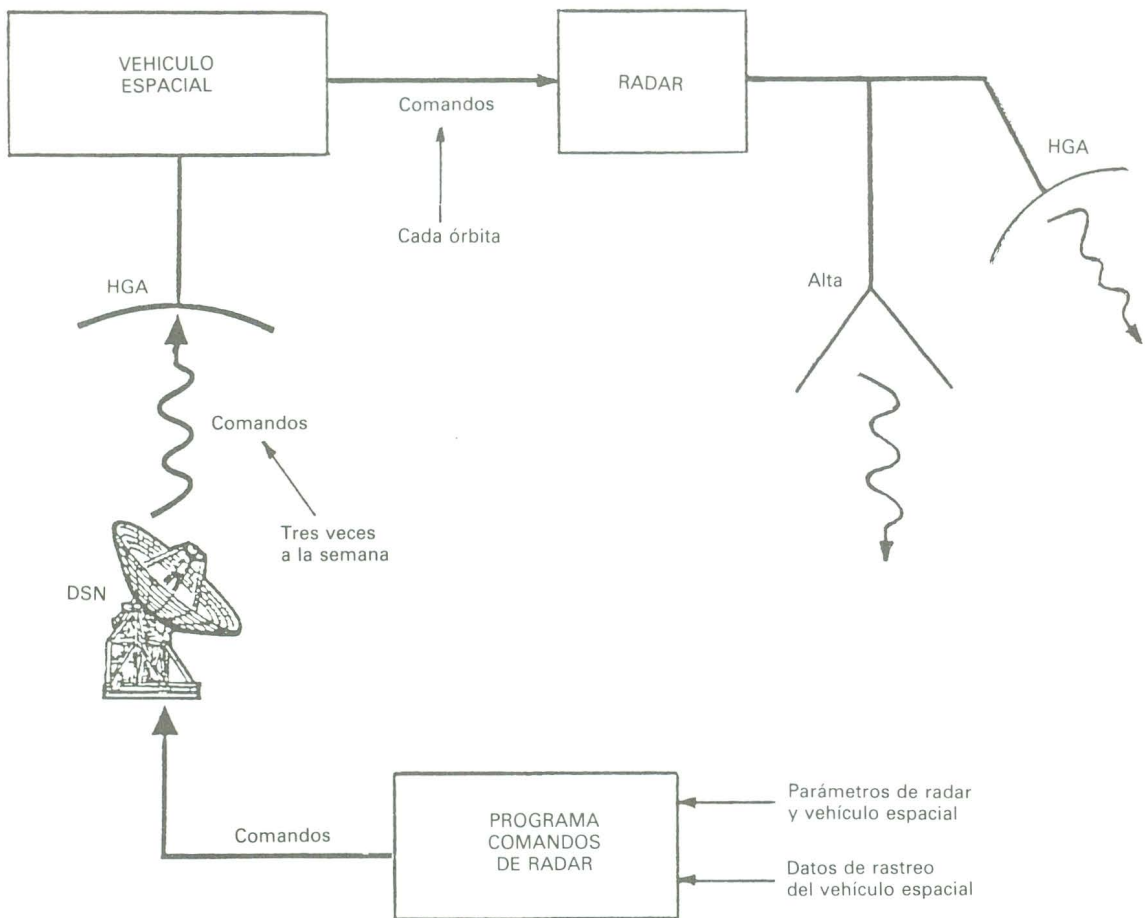


Figura 4

simultáneamente, recopilar datos de radar y transmitir hacia la Tierra.

El vehículo espacial usa dos grabadoras de alta velocidad de cintas magnéticas para almacenar todos los datos adquiridos durante cada paso o traslape cercano a la superficie del planeta cartografiado, para más tarde retransmitirlos, durante el espacio de la trayectoria de la misma órbita predeterminada, cuando el *Magallanes* se aleja hasta su punto más lejano desde

Venus, es decir, su apoapsis. Los 37,2 minutos de grabación de datos de radar cartografiados son vertidos a 112 minutos de retransmisión hacia la Tierra, para lo cual se inclina al satélite para que la pantalla HGA apunte en esa dirección; este tiempo no interviene en los 189 minutos del período orbital, es decir, son intrínsecos a dicho tiempo. Los datos enviados son, a su vez, grabados en las estaciones de control receptoras del DSN y despachadas en cajas o tambores al Centro JPL con las cintas magnéticas.

## BIBLIOGRAFIA

- *Naval Command and Control*, by Captain W.T.T. Pakenham, R.N. volume 8, page 24 (Airborne Radar), edition 1989.
- *Venus. The New Solar System*, by J. Kelly B., edition 1981.
- *Magellan. The Unveiling of Venus*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, NASA, edition 1989.
- *Space Shuttle Mission STS-30*, NASA, mayo 1989.
- *Magellan Radar Tutorial*, by W.T.K. Johnson and Kon Leung, versión 2, noviembre 1989.
- *Revista Science*, "Misión Pioneer - Venus", volumen 205, número 4401, julio 1979.
- Informes Especiales Misión Magallanes. Enviadas por Anthony J. Spear, Manager Magellan Project, Jet Propulsion Laboratory, 1989-90.

