

NAVEGACION

POR

SATELITES

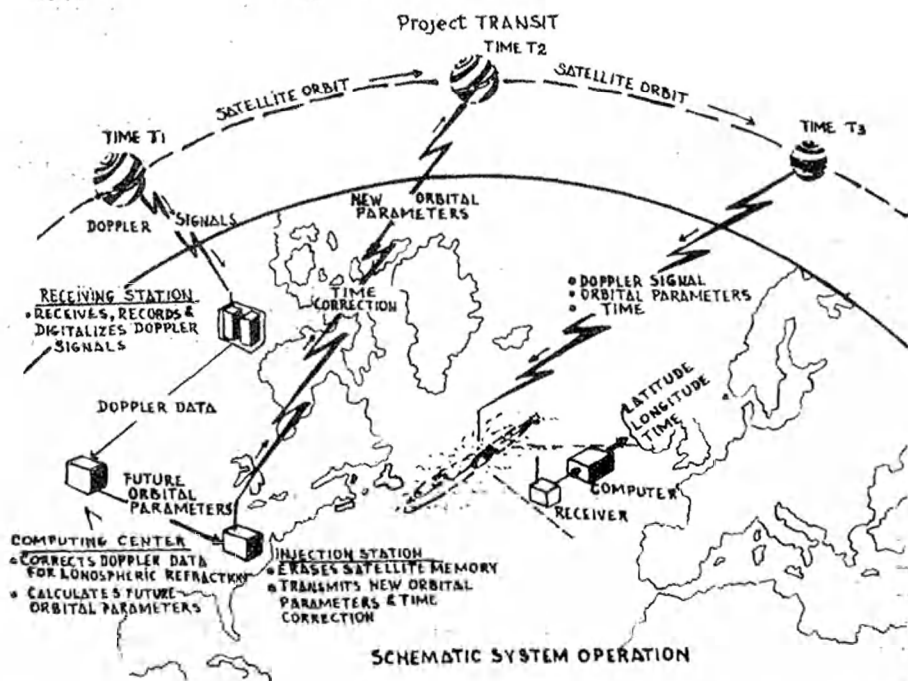
Capitán de Corbeta
GABRIEL DIAZ RODRIGUEZ

El sistema de Navegación por Satélites, desarrollado por la Armada de los EE. UU., es generalmente conocido como el NAVSAT, se originó en la Armada como el proyecto tránsito y fue desarrollado para llenar el requerimiento fijado por el Jefe de Operaciones Navales, de suministrar un sistema que proveyera navegación segura durante todo el tiempo sobre la tierra para buques, aviones y submarinos.

El sistema fue desarrollado por el Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins, bajo contrato de la Armada, siendo un sistema de navegación de todo tiempo, pasivo y de gran precisión, aplicable a la navegación en submarinos y aviones, pudiendo ser empleado también con fines comerciales.

La medición de las señales de radio, transmitidas por el NAVSAT, se basan

en el fenómeno de la Variación del Doppler. Cambio aparente de frecuencia de las ondas de radio, recibidas cuando la distancia entre la fuente de radiación: el satélite, y la estación receptora, aumenta o disminuye, debido al movimiento de cualquiera o de ambos. La cantidad de variación en cualquier caso es proporcional a la velocidad con que se acercan o se alejan. La frecuencia se corre hacia arriba cuando el satélite se aproxima a la estación receptora y se corre hacia abajo cuando el satélite pasa y retrocede. La cantidad de esta variación depende de la localización exacta de la estación receptora con respecto a la ruta del satélite. En consecuencia si la posición del satélite se conoce, es posible: midiendo exactamente la variación del Doppler de la frecuencia, calcular la localización del receptor en la tierra.



El cambio del Doppler también está afectado por la rotación de la tierra, pero su efecto se calcula y corrige en el computador, al calcular la Fija.

La precisión obtenida al usar la técnica de la variación del Doppler es posible, debido a que las cantidades medidas: frecuencia y tiempo, pueden ser determinadas rápidamente con una precisión de una millonésima.

El sistema de navegación por satélites consta: de uno o más satélites, de estaciones de rastreo, de un centro de computación, una estación inyectora, un observatorio naval de señales de tiempo y el receptor abordo con su computador.

Cada satélite es colocado nominalmente en una órbita polar circular

a una altura aproximada de 600 millas náuticas, orbitando la tierra aproximadamente cada 105 minutos; solo un satélite se emplea en un momento dado para determinar la posición. El satélite almacena datos obtenidos de una estación terrestre cada 12 horas y los transmite cada dos minutos.

Se emplean dos frecuencias, 150 y 400 MHS, porque la ionosfera, la cual es un medio de dispersión doble y recoge las ondas de radio, lo cual motiva que el satélite parece estar más cerca de lo que está. Cada frecuencia es afectada en forma diferente un poco y comparando las señales Doppler, recibidas en las dos frecuencias, se obtienen correcciones precisas del efecto de la ionosfera sobre las ondas.

El parámetro que describe la órbita del satélite como una función del tiempo corregida para el intervalo de tiempo de dos minutos, durante los cuales es transmitido por el satélite y para aquellos que preceden y siguen inmediatamente a este período. En cada período de transmisión de dos minutos, se

suministran datos sobre ocho períodos, cuatro antes y cuatro después de la hora del mensaje. La referencia de tiempo es sincronizada con la HMG corregida (UT_2) del Observatorio Naval. Un diagrama en bloques del funcionamiento del satélite se muestra en la figura 2.

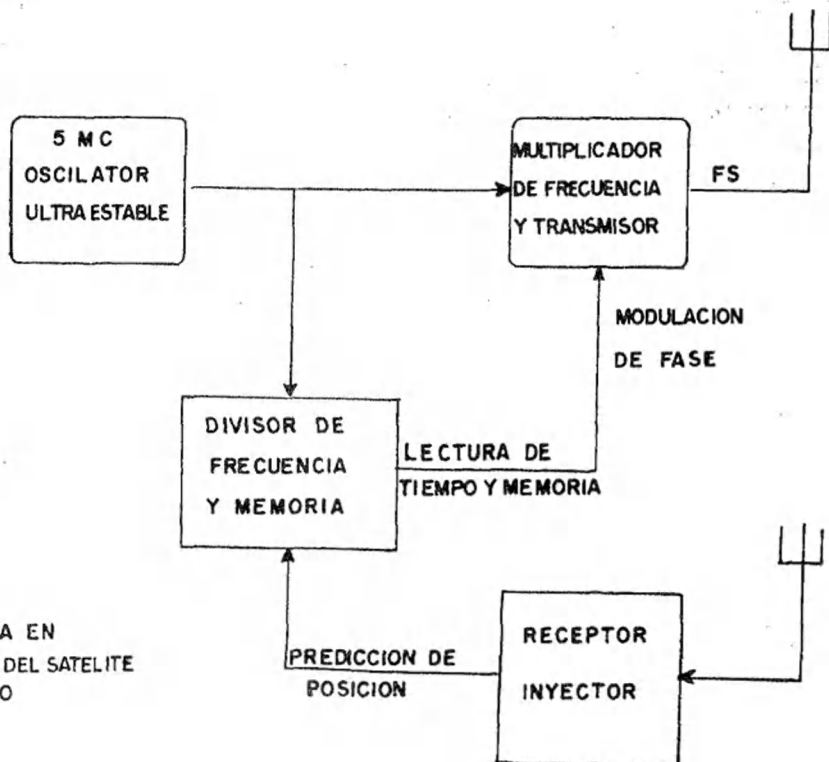


FIG. 2
DIAGRAMA EN
BLOQUE DEL SATELITE
TRANSITO

Los satélites llamados pájaros, son completamente transistorizados, de forma octagonal y llevan cuatro aspas en forma de molinos de viento, las cuales llevan celdas solares. Están estabilizados por el gradiente de gravedad, de manera que la antena direccional siempre apunta hacia la tierra.

Una fija por satélite se obtiene cuando la altura máxima del satélite, relativa al observador, está entre 15° y 75° . Como regla general, cada satélite estará en cuatro fijes en el día, dos en órbitas sucesivas y otras dos, 12 horas más tarde en órbitas sucesivas también. Sin embargo esta recurrencia

puede ser distorsionada, ya que el satélite, cuando está sobre el horizonte, puede pasar a mucha o poca altura relativa del observador, para permitirle obtener posición.

La figura 3, muestra cuatro satélites en órbita alrededor de la tierra y es obvio que aumentado el número de satélites se aumenta la frecuencia con que se pueden obtener fijas.

Los usuarios de los satélites de navegación se mantienen informados del

estado operacional de los mismos y de la adición de nuevos o el retiro de algunos a través de mensajes SPATRAK, originados por el grupo Astronáutico Naval de Pt. Mugu California Estados Unidos.

Un planeta en el espacio sigue una ruta fija alrededor de su cuerpo madre en base a las leyes del movimiento, de Newton. Su órbita es perfectamente elíptica y su posición puede ser predicha exactamente para cualquier instante futuro.

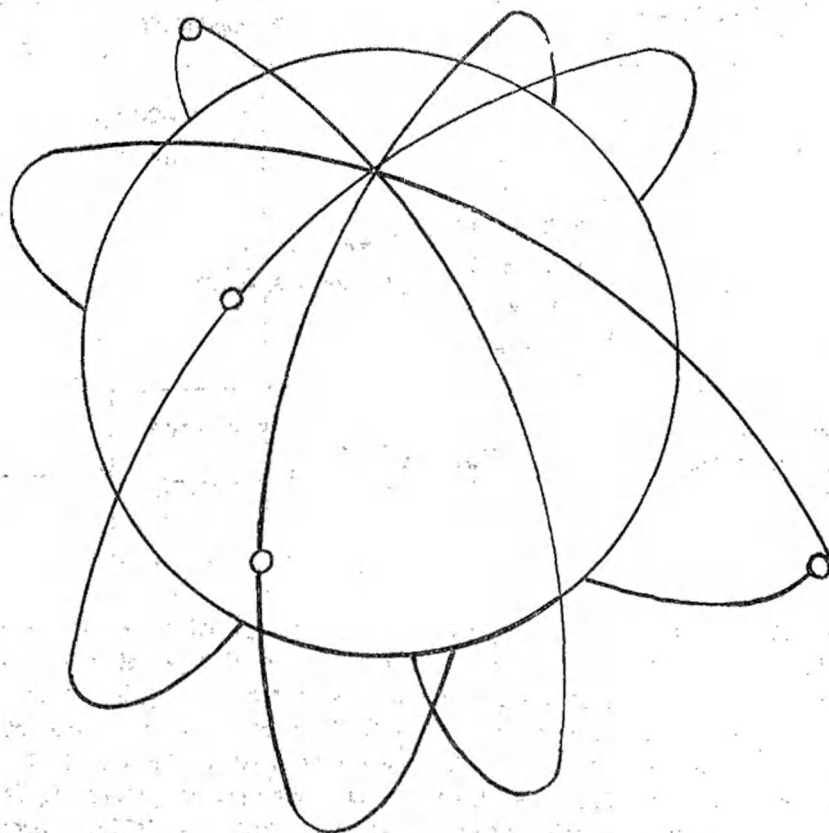


Fig. 3 Cobertura con cuatro satélites

Un satélite de navegación se mueve bajo la atracción gravitacional de la tierra siguiendo las mismas leyes, pero como opera a una altura promedio de 600 millas, está sujeto a fuerzas externas que producen perturbaciones. Para que el sistema sea aceptable, estas perturbaciones deben ser predichas con exactitud, de manera que la posición del satélite pueda ser determinada en cualquier instante.

La más importante de estas fuerzas es causada por la forma de la tierra. La tierra es un esferoide achatado, con un campo gravitacional irregular.

El satélite también está sujeto al ligero arrastre atmosférico, ya que no opera en un vacío completo, otras fuerzas externas que lo afectan son: la atracción gravitacional del sol y la luna, la presión del photon solar y el viento solar, las fuerzas electrostáticas y electromagnéticas, causadas por la interacción del satélite con las partículas cargadas que existen en el espacio y el campo magnético de la tierra.

Afortunadamente, todas las fuerzas motivo de las perturbaciones o son constantes o se pueden reducir a fórmulas que se pueden programar dentro de los computadores orbitales. Para determinar la órbita precisa de cada satélite en el sistema, se establecen estaciones terrestres con posiciones determinadas exactamente: en Hawaii, California, Minesota y Maine. Estas estaciones monitorizan regularmente la señal Doppler como una función del tiempo. Simultáneamente el Observatorio Naval de los Estados Unidos, hace monitoría de la señal de tiempo del

satélite para compararla con el tiempo universal corregido (UT_2). La información resultante se transmite al centro de computación para su procesamiento.

Como el satélite se mueve como un planeta y las perturbaciones de su órbita son determinadas por el computador, de todas las posibles rutas permitidas, solamente una puede resultar como una curva de cambio Doppler. Pudiéndose determinar así la posición del satélite con relación a la posición conocida de la estación restreadora en cualquier momento. El centro de computación después de recibir estos datos, calcula para el satélite, la órbita que mejor se ajusta a la curva Doppler, obtenida por la estación de seguimiento. La información orbital es interpolada para dar la posición del satélite cada dos minutos de UT_2 , para las dieciséis horas siguientes y estos datos se suministran a la estación de inyección para su retransmisión al satélite cada doce horas, en donde es almacenada y se retransmite bajo programa. Siendo el satélite una estación de relevo que almacena y transmite los datos computados por una estación terrestre de su sistema de memoria.

Para obtener una fija: la posición estimada del buque, y su velocidad o movimiento deben ser suministradas al computador. La exactitud de la posición estimada no es de gran importancia, pero la velocidad si lo es.

En los buques equipados con el sistema de navegación por inercia (SINS) la señal de sincronización de dos mi-

nutos, recibida desde el satélite puede ser transmitida al SINS. Esta señal da lugar a que el SINS, dé información sobre la cuenta Doppler, coincidiendo con la posición del buque.

En otras instalaciones, el computador de propósito general del SINS, se emplea para resolver el problema del NAVSAT.

Cuando no se dispone de equipo de navegación por inercia para introducir los datos al computador, el rumbo y la velocidad del buque obtenidos del giro-compás y la corredera electromagnética se emplean, aunque son una fuente potencial de error porque el sistema por su alta precisión requiere la velocidad verdadera del buque, es decir su velocidad y dirección de translación relativa a la superficie de la tierra.

Como desafortunadamente los navegantes carecen de información precisa

sobre las corrientes y su dirección, el error en una fija del satélite es aproximadamente de 0.25 millas por nudo de error, siendo mayores en velocidades norte o sur.

La introducción de datos en el computador se puede efectuar de varias maneras, puede ser en forma de una posición estimada para un momento dado y el rumbo y la velocidad o estimando posiciones cada dos minutos de intervalo con distancias medidas con respecto al eje de coordenadas X-Y. La precisión geográfica de la posición estimada, no es de importancia vital, pero la velocidad si lo es. Siendo así que cuando se emplean dos posiciones, la localización de la segunda debe estar perfectamente definida, con respecto a la primera.

La figura 4, muestra una cinta típica como aparece cuando está lista para introducirla en el equipo usado

Figura 4
Datos típicos para introducir a un computador

+ 0390000 5	Latitud estimada (39°00.00 N) Aceptada.
- 0760000 5	Longitud estimada (76°00.00 W) Aceptada.
+ 0008200 5	Altura antena (82 Metros) Aceptada.
+ 2020075 5	Hora (20 Horas 20 Minutos Hmg día 75) Aceptada.
+ 1562275 5	Movimiento Buque (15.6 nudos 227.5 Azimuth) Aceptada.

a bordo, a la derecha de la misma está la interpretación del código, pudiendo aclarar que las latitudes norte se consideran positivas y las sur, negativas, en la misma forma las longitudes este; positivas y las oeste, negativas; la altura de la antena define la suya sobre el geoide (la tierra) del computador, el cual combina la altura de la antena sobre el agua y las correcciones por la forma de la tierra en el área respectiva, correcciones obtenidas de una carta suministrada con el equipo.

La fija determinada por el computador, se basa en el Doppler de la variación de frecuencia, que ocurre siempre que la distancia relativa entre el transmisor y el receptor cambia. Tal cambio ocurre siempre que el satélite

transmisor pasa dentro del alcance del receptor; consistiendo de una combinación del movimiento del satélite en su órbita, del movimiento del buque sobre la tierra y la rotación de esta sobre su eje. Un aumento en la frecuencia ocurre cuando el satélite se aproxima al buque, pues comprime las ondas en su ruta. La frecuencia recibida es igual exactamente a la frecuencia transmitida en el punto de mayor aproximación del satélite, lugar en donde por un instante de tiempo no hay movimiento relativo a lo largo del vector que une el satélite con el receptor.

La frecuencia recibida disminuye cuando el satélite se aleja con respecto a la posición del buque, expandiéndose las ondas de radio que existen entre ambos.

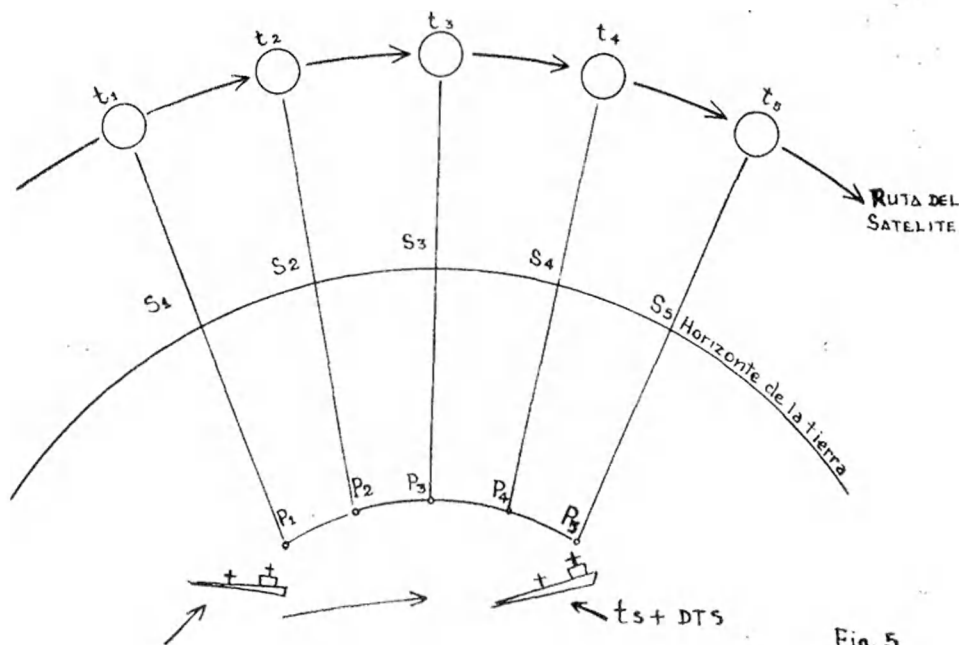


Fig. 5

La forma de la curva de la diferencia de frecuencia y su tiempo de recepción dependen de la posición del receptor y la localización del satélite en el espacio.

La recepción de estas señales Doppler y los cálculos resultantes constituyen las bases del sistema de navegación por satélites.

La figura 5, muestra de manera simplificada la relación entre hora, distancia y posición. En el diagrama t_1, t_2, t_3 y t_4 , representan la posición del satélite en órbita cuando las transmisiones sucesivas ocurren con dos minutos de intervalo. Si S_1, S_2, S_3 y S_4 , representan el alcance inclinado entre el satélite y el buque, P_1, P_2, P_3, P_4 y P_5 , representan la posición del buque con relación a la hora en la cual

el receptor identifica la señal de sincronización del satélite $t_1 + \Delta t_1 + t_2 + \Delta t_2 + t_3 + \Delta t_3 + t_4 + \Delta t_4 + t_5 + \Delta t_5$ donde Δt representa el intervalo de tiempo en que la señal viaja del satélite al receptor.

La integral de los Doppler medidos (figura 6), es simplemente la cuenta N1-2 del número de ciclos recibidos entre $t_1 + \Delta t_1$ y $t_2 + \Delta t_2$, la cuenta N2-3 del número de ciclos entre $t_2 + \Delta t_2$ y $t_3 + \Delta t_3$ y así sucesivamente para todos los intervalos de dos minutos, durante el paso del satélite.

Cuatro o cinco conteos Doppler de dos minutos se obtienen durante el paso típico del satélite. Cada conteo Doppler, consiste de una constante más una diferencia del alcance inclinado entre el receptor y la posición del satélite, definida por el mensaje de navegación.

Frecuencia

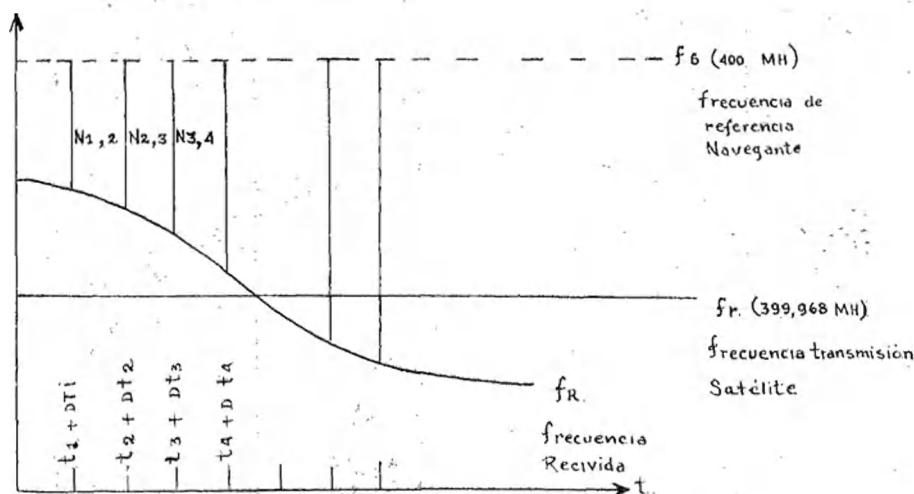


Fig. 6 - Variación Doppler frecuencia y tiempo produciendo cambio en el alcance inclinado

Las diferencias de alcance medidas, son realmente conocidas, solamente si la constante pero desconocida diferencia de frecuencia ΔF , entre el oscilador del satélite y el oscilador de referencia del receptor se puede determinar.

Para calcular una fija de posición, la cuenta Doppler y el mensaje del satélite son alimentados a un computador digital, al cual también se alimenta con la posición estimada del buque en latitud y longitud y la diferencia de frecuencia ΔF .

El computador compara las diferencias de alcance, calculadas con la posición conocida del satélite y la posición estimada del buque con aquellas medidas por la cuenta Doppler, obteniendo la fija de navegación al buscar aquellos valores de latitud y longitud y ΔF que permiten coincidir la diferencia de alcance con la diferencia de distancia medida. Se emplean solamente ecuaciones lineales simples resolviendo los cálculos hasta que las soluciones convergen, aunque se requieren muchas repeticiones se obtiene una fija en pocos minutos en un computador pequeño.

Los receptores emplean cintas impresas con toda la información recibida; la figura 7, muestra un modelo de cinta impresa. El computador de navegación con estos datos determina la fija automáticamente y la presenta en forma de cinta, figura 8.

Los receptores emplean cintas impresas con toda la información recibida; la figura 7, muestra un modelo de cinta impresa. El computador de navegación con estos datos determina la fija automáticamente y la presenta en forma de cinta, figura 8.

Figura 7 CINTA IMPRESA DE UN RECEPTOR MOSTRANDO LA ORBITA DEL SATELITE

	UNIDADES	NOMBRE Y SIMBOLO	
+	12810815	Minutos	Hora de perigeo (TP)
+	4275817	Grados/Min	Movimiento medio satélite-3 (M-3)
+	3202334	Grados	Argumento del perigeo (\emptyset P)
+	0021431	Grados/Min	Razón Cambio Argumento perigeo (1 \emptyset 1)
+	0011115	Nada	Excentricidades
+	0737401	Kilom	Eje semi mayor orbita (A.)
+	2118482	Grados	Ascensión recta del nodo ascendente (W N)
-	0000636	Grados/Min	Razón cambio ascensión recta (W N)
+	0015707	Nada	Coseno del ángulo de inclinación
+	1342802	Grados	Ascensión recta de Greenwich al momento del perigeo (W 6)
+	0999877	Nada	Seno del ángulo de inclinación
	3977492	Hertz	(Cuenta Doppler)

Figura 8 Cinta impresa con la posición del buque

+	0390977		Latitud 39°09'77.82" N
	82		
+	0765383	Fija obtenida	Longitud: 76°53.8350
	50		
+	3196219		Frecuencia Ohset: 31,96219 Hertz