

98



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**ASISTENCIA A LA NAVEGACIÓN AÉREA  
PRECISA POR MEDIO DE GPS Y DE LA  
REPRESENTACIÓN VISUAL DE CARTAS  
E IMÁGENES DE LA ZONA DE SOBREVUELO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA  
**P R E S E N T A :**  
**SÁNCHEZ HERNÁNDEZ DULCE CAROLINA**

**ASESOR: DR. RICARDO PERALTA Y FABI**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
EXAMENES PROFESIONALES



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Asistencia a la navegación aérea precisa por medio de GPS y de la  
representación visual de cartas e imágenes de la zona de sobrevuelo"

que presenta la pasante: Dulce Carolina Sánchez Hernández  
con número de cuenta: 9136413-7 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de Octubre de 2001

PRESIDENTE	<u>Ing. Jorge Buendía Gómez</u>	
VOCAL	<u>Ing. Margarita López López</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. Ricardo Peralta y Fabi</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Juan González Vega</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Adriana Corina Sandoval García</u>	

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán C-4, así como a los profesores que me brindaron la oportunidad de ampliar mis horizontes con sus conocimientos; en especial, al Ing. Ubaldo Ramírez U. por sus vallosos consejos en los momentos oportunos.**

**Al Dr. Ricardo Peralta y Fabi por la dirección de esta tesis, así como al Instituto de Ingeniería de la UNAM por brindarme las facilidades necesarias para la culminación de la misma.**

**A Alberto Ramírez, Marcelo Bastida, Ángel García y Jorge Prado quienes me apoyaron con material para la realización de este trabajo.**

## **DEDICATORIAS**

**A Dios por brindarme su amor y todo lo que existe a mi alrededor, así como la oportunidad de vivir hasta este día para alcanzar una meta más.**

**A mi mamá, Ma. Luisa Hernández, por darme su amor, apoyo y cuidados incondicionales sin importar el sacrificio.**

**A mi padre, Eliseo Sánchez, por enseñarme que la sencillez y el valor deben estar presentes siempre en mi vida.**

**A mis hermanos, Rubén, José Luis, Susana, Jesús, Dionisio, Juan y Eliseo por su cariño, apoyo y confianza brindados en cada momento de mi vida. Los quiero.**

**A mis sobrinos / as por llenar esta familia de amor, ternura y alegría.**

**A mi abuelita Juana por compartir conmigo sus experiencias y mostrarme que debo vivir con fortaleza todos los días de mi vida.**

**A Cristina, Reina, Margarita, Susana, Ma. Elena, Lilliana y Adolfo, principalmente por inyectar un toque de felicidad a mi familia y por hacerme saber que estarán ahí para apoyarme en cualquier situación.**

**A mis amigos Cindy, Claudia, Giselle, Patricia, Verónica, Angélica, Jesús, Juan, Manuel, Marcelo y Daniel y a todos aquellos que han compartido su amistad y sentimientos en algún momento de mi vida.**

**A mi gran amor José Alberto Ramírez Aguilar por enseñarme que con amor y tenacidad es posible alcanzar cualquier sueño.  
Gracias por estar a mi lado.**

**“Asistencia a la navegación aérea precisa por medio  
de GPS y de la representación visual de cartas e  
imágenes de la zona de sobrevuelo”**

## ÍNDICE

Objetivo.....	1
---------------	---

### CAPITULO I

#### Introducción

1.1 Introducción a la navegación.....	2
1.2 Sistemas de navegación asistidos.....	4
1.2.1 Sistemas para distancias largas.....	4
1.2.2 Sistemas para distancias medias.....	7
1.2.3 Sistemas para distancias cortas.....	9
1.3 Sistemas autónomos.....	11
1.4 Navegación inercial.....	12
1.4.1 Procesamiento de imágenes aplicadas a un sistema inercial.....	14
1.4.2 Digitación de imágenes.....	17

### CAPITULO II

#### Descripción del equipo electrónico

2.1 Subsistema de navegación.....	19
2.1.1 Diseño de subsistema.....	20
2.2 Receptor GPS.....	29
2.3 Modulo OEM-CDU Magellan.....	40
2.4 Computadora personal.....	42

### CAPITULO III

#### Descripción del sistema de orientación

3.1 Introducción.....	43
3.1.1 Corrección de la información adquirida.....	44
a) Giróscopo.....	44
b) Brújula.....	50
c) Acelerómetros.....	52
3.2 Integración del sistema de orientación.....	54

## CAPITULO IV

### Pruebas y evaluación del sistema

4.1 Adquisición de datos.....	59
4.2 Digitación de señales.....	63
4.3 Comunicación con la PC.....	65
4.4 Funcionamiento del sistema .....	67

## CAPITULO V

### Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones .....	73
5.2 Recomendaciones.....	74
• Bibliografía Consultada.....	76
• Apéndice A.....	78
• Referencias.....	92

**OBJETIVO:**

**INTEGRAR INFORMACIÓN CON AYUDA VISUAL A LA NAVEGACIÓN (AVN), EN UNA PANTALLA QUE PRESENTA A LOS PILOTOS DE UNA AERONAVE SU POSICIÓN REAL COMPARADA CON LA POSICIÓN IDÓNEA E INDICADA POR UN VECTOR DE APUNTAMIENTO PARA CONDUCIR CON PRECISIÓN UNA MISIÓN DE MEDICIONES PARA PROPÓSITOS DE INVESTIGACIÓN.**

**INSTRUMENTAR UN SISTEMA AEROPORTADO PARA CONOCER LA ORIENTACIÓN ESPACIAL, GEOGRÁFICAMENTE REFERIDA, DE SENSORES REMOTOS DIVERSOS.**

## INTRODUCCION

### 1.1 Introducción a la navegación

Una antigua técnica de navegación que se basa en la observación de ciertas formaciones de estrellas a través de las cuales el viajero puede determinar su posición geográfica lo anterior es posible dado que, las formaciones de estrellas definen un marco de referencia ubicado en el espacio, así que, dados los conocimientos del movimiento de la tierra y el tiempo de observación, el viajero puede usar las constelaciones para definir su posición en la superficie terrestre u oceánica. Los sistemas de navegación de este tipo son conocidos como sistemas de detección de posición.

Otra forma de navegación es el uso del principio de calculo anterior, por medio del cual la posición actual puede ser calculada conociendo algunos parámetros tales como: la posición inicial, la velocidad, y la dirección del trayecto. Dicho proceso de cálculo se efectúa con base en la última posición conocida y el tiempo transcurrido; así como la velocidad entre este tiempo y el actual. Un proceso equivalente puede realizarse usando sensores inerciales (giróscopos y acelerómetros), para detectar el movimiento de rotación y translación con respecto a un marco de referencia inercial, por ejemplo referido a la acción gravitatoria. A esto se le conoce como navegación inercial.

Debido a la necesidad de desplazarse, quizás una de las formas más simples de navegación que se ha conocido es el seguimiento de direcciones o instrucciones, proporcionada por viajeros precedentes.

Otro punto de este proceso es la navegación basada en mapas, en este caso el viajero determinará su posición mediante la observación de indicadores geográficos, tales como caminos, ríos, colinas y valles los cuales se muestran en un mapa con respecto a sistemas cartesianos o marcos de referencia. Por ejemplo, las posiciones de indicadores terrestres están definidas respecto al ecuador de la tierra, que da referencia a la latitud y los meridianos para la longitud. Por lo tanto, el viajero está apto para determinar su posición en este marco de referencia.

La presente tesis se basa en los resultados de posicionamiento que brinda el sistema de navegación inercial, integrado a indicadores geográficos por medio de cartografía, entre otros elementos adicionales. Dada la versatilidad y beneficios que ofrece la navegación inercial es posible establecer la trayectoria más corta entre un lugar y otro, con una variada cantidad de opciones posibles, según clima, topografía o cuerpos de agua.

## **1.2 Sistemas de navegación asistidos**

Los sistemas de navegación asistidos se apoyan en señales externas para lograr su ubicación espacial, por medio de orientación conocida y la localización de un objeto y/o punto deseado a larga distancia.

A diferencia de los sistemas convencionales, estos se caracterizan por su empleo más común en la aviación y navegación, y de acuerdo con cada una de sus aplicaciones se pueden dividir en tres grupos:

- Sistemas para largas distancias
- 
- Sistemas para distancias medias y
- 
- Sistemas para distancias cortas

### **1.2.1 Sistemas para distancias largas**

Dentro de este tipo de sistemas podemos citar los sistemas LORAN, GEE y CONSOL.

#### ❖ Sistema LORAN (Long range navigation device)

Este sistema está formado por un conjunto de tres o más emisores terrestres y un receptor-indicador a bordo, uno de los emisores es la estación maestra y los restantes son estaciones periféricas.

La estación maestra emite un impulso que al ser recibido por una estación remota hace que esta envíe un segundo impulso. Ambos impulsos son captados por el receptor de la aeronave, cuyo indicador mide la diferencia de tiempos entre la llegada del primero y del segundo, lo cual nos indica la diferencia de distancias del avión a las dos estaciones involucradas, conociendo así, (mediante hipérbolas de diferencia de tiempos que se dibujan sobre un mapa cartográfico) la posición de la aeronave.

#### ❖ Sistema GEE

Dicho sistema emplea cuatro estaciones, la maestra y tres remotas. Estas estaciones están situadas, normalmente, formando un triángulo, en cuyo centro se encuentra la maestra.

Este sistema utiliza frecuencias muy altas puesto que en estas, las señales inciden y se dispersan, por lo que la potencia debe ser mayor, siendo la longitud de onda muy alta y por esto tiende a ser absorbida, reduciendo su alcance.

#### ❖ Sistema CONSOL

El CONSOL se emplea con receptores de frecuencias baja y media y requiere una instalación terrestre compuesta de tres estaciones emisoras alineadas. Las señales emitidas por estas estaciones solamente tienen utilidad dentro de un sector de  $120^\circ$ , cuyo centro es el punto medio de la recta que une las tres estaciones y cuyo eje es perpendicular a dicha recta. Las estaciones terrestres emiten las señales en forma de una serie de líneas de posición radiales.

Cuando el receptor de la aeronave sintoniza una estación terrestre del CONSOL, el operador de radio escucha un tono y a continuación la señal de identificación de la estación, seguida de una serie de rayas y otra de puntos, después de la cual vuelve a escucharse un tono continuo.

Para conocer la posición del receptor, basta sintonizar una segunda estación, obteniendo la línea de posición radial correspondiente, cuya intersección con la anterior nos determina la posición de la aeronave. (Ver figura 1.2.1.1)

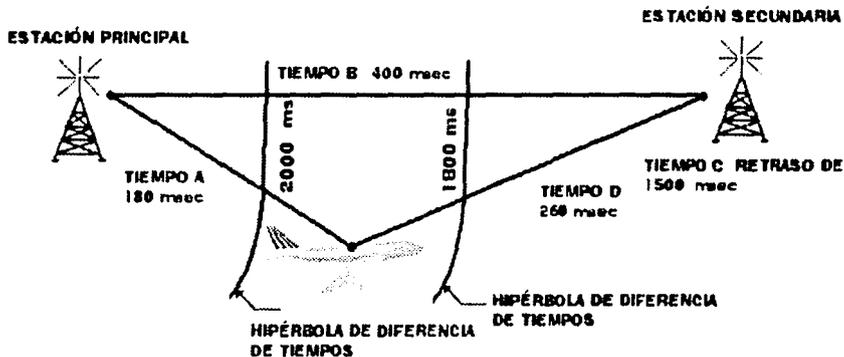


FIGURA 1.2.1.1 Sistema de Navegación Asistido a Larga Distancia "CONSOL"

## 1.2.2 Sistemas para distancias medias

Estos sistemas, debido a su función, deben cumplir con dos condiciones esenciales:

- a) Contar con estaciones de ayuda a la navegación a lo largo de las rutas aéreas que unen centros de poblaciones para que puedan transitar múltiples aviones por ellas.
  
- b) Contar con estaciones de ayuda a la navegación fuera de las rutas aéreas para que las aeronaves puedan volar directamente de un aeropuerto a otro si fuera necesario.

Todos los sistemas a distancias medias que emiten asces de señales, de acuerdo con un diagrama de radiación fijo, reciben el nombre de "radio-alcance", que están formados por emisores de radio y antenas especiales. Cuando se logra sintonizar el receptor de a bordo con un "radio-alcance", el piloto obtiene de éste información que le ayuda a determinar su posición.

Como algunos ejemplos de este tipo tenemos el sistema TACAN, que es un sistema *táctico de navegación*, desarrollado para cumplir funciones características de las necesidades militares y navales, especialmente las de asentamientos improvisados, o los problemas de cabeceo e inclinación de los barcos. Conforme se desarrollo este sistema, se tuvo la capacidad de complementarse con otro sistema llamado VOR, creando de esta manera las radio-ayudas de la aviación civil mediante una red de instalaciones emisoras integradas cuyo objetivo es proporcionar información de distancia y azimut (medición obtenida en plano del ecuador en sentido de las manecillas del reloj y a la inversa).

Ambos sistemas (TACAN y VOR) al unirse reciben el nombre de VORTAC. Las estaciones VORTAC permiten al piloto fijar su posición con exactitud, eliminando así la necesidad de sintonizar dos o más estaciones. (Ver figura 1.2.2.1)

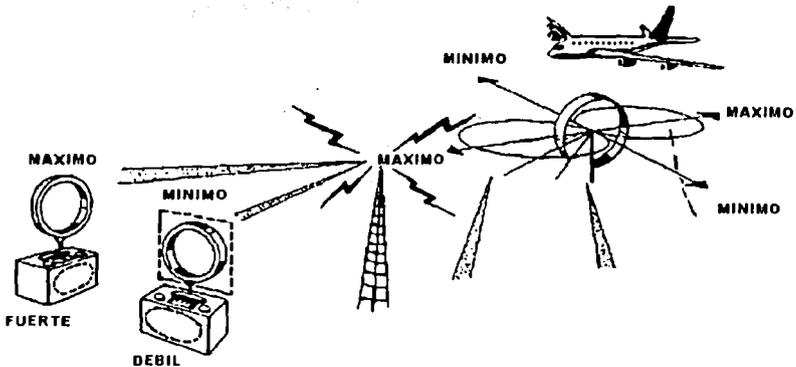


FIGURA 1.2.2.1 Sistema de Navegación Asistido a Media Distancia "VORTAC"

### 1.2.3 Sistemas para distancias cortas

Para este tipo de sistemas, los aeropuertos pueden utilizar los radio-alcances en combinación con un equipo de medición de distancias (E.M.D.).

El E.M.D. consta de un equipo emisor-receptor con indicador a bordo que se llama "interrogador" y un receptor-emisor de frecuencia ultra-alta llamado "emisor de respuesta" en tierra. El tiempo transcurrido entre la emisión de las señales por el equipo a bordo y la recepción de las "respuestas" por dicho equipo informan al piloto, mediante un indicador, la distancia a la que se encuentra de la estación terrestre, tal y como aparece en la figura 1.2.3.1

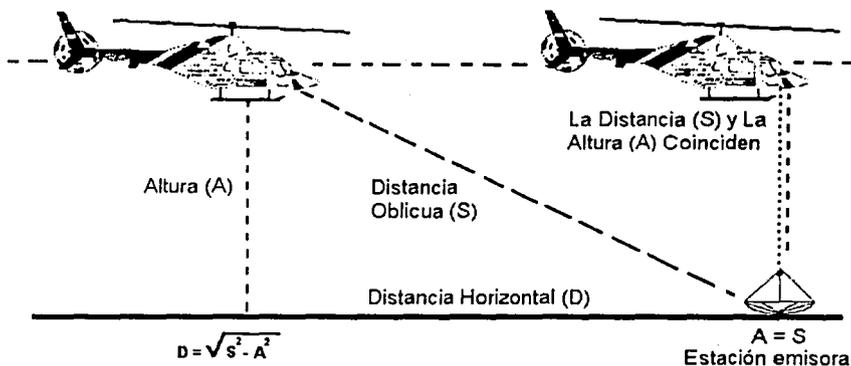


FIGURA 1.2.3.1 Sistema de Navegación Asistido a Corta Distancia " E.M.D."

Es de esperarse que todos estos sistemas tienen funciones donde aventajan a los demás, y siendo la navegación un asunto siempre presente, se esperan más desarrollos.

El más reciente (GPS) pasa los segmentos de propagación de señales, de la superficie terrestre al espacio por medio de satélites trabajando en red, tal y como se verá más adelante [Langley, 2000].

### **1.3 Sistemas Autónomos**

Los sistemas autónomos no necesitan ningún tipo de instalación externa a la de aeronave, ya que todo lo necesario para obtener datos sobre ubicación se encuentra integrado a bordo: brújula, acelerómetros y giróscopos.

Este tipo de sistemas tienen como misión principal, la determinación de la posición de la aeronave para lo cual es conveniente conocer la ruta. Si se tiene como base la posición inicial y las derivadas de la función respecto al tiempo, y se emplea un proceso de integración es posible conocer la trayectoria.

El primer sistema de navegación con tales características es el de Navegación a Estima, el cual es tomado a partir de la posición inicial, cuando el vector de velocidad se mide en intervalos pequeños de tiempo, y se suman los espacios intermedios estimados.

Los dos sistemas representativos de este método son el sistema DOPPLER y el sistema INERCIAL, en el cual se basa parte de esta tesis. (Ver figura 1.3.1)

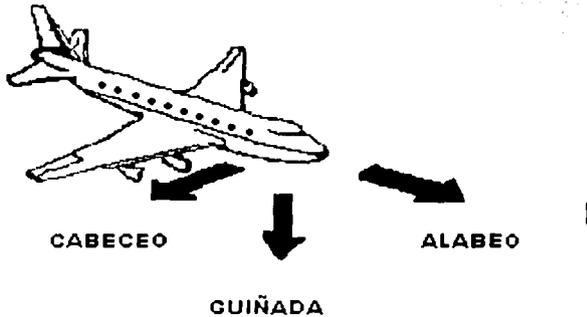


FIGURA 1.3.1 Sistema Autónomo "SISTEMA DE NAVEGACIÓN INERCIAL"

#### 1.4 Navegación inercial.

La operación de los sistemas de navegación inercial se basa principalmente en las leyes de la mecánica clásica formuladas por Newton, las cuales nos indican que el movimiento de un cuerpo seguirá una línea recta a menos que una fuerza externa actúe sobre este, la

cual producirá una aceleración proporcional a la masa del cuerpo. Por medio de sensores para medir esta aceleración se calcula el cambio en la velocidad y posición por medio de integraciones matemáticas sucesivas de la aceleración con respecto al tiempo que corresponden a un intervalo de integración. La aceleración se determina usando un dispositivo conocido como acelerómetro. Un sistema de navegación inercial normalmente contiene tres dispositivos y cada uno de ellos tiene la capacidad de detectar la aceleración con mayor sensibilidad en una sola dirección. Los acelerómetros de este tipo se montan generalmente en tres ejes ortogonales.

Para navegar con respecto a un marco de referencia inercial es necesario definir la dirección en la cual los acelerómetros se orientan. En cuanto al movimiento rotacional de un cuerpo con respecto a un marco de referencia inercial, pueden obtenerse usando sensores giroscópicos; determinando así la orientación de los acelerómetros en cualquier momento. Dada esta información, es posible deducir las aceleraciones dentro del marco de referencia antes de que el proceso de integración se lleve a cabo.

Por lo tanto la navegación inercial es un proceso mediante el cual las mediciones proporcionadas por un giróscopo y acelerómetros se usan para determinar la posición del vehículo en el cual se encuentran instalados. La combinación de estas mediciones permiten definir el movimiento translacional del objeto dentro del marco de referencia

inercial, así como calcular su posición dentro del mismo; llamando a esto sistema de navegación.

El sistema de navegación inercial consta de cuatro componentes principales:

- Unidad de control y representación
- Unidad selectora de modos
- Unidad de navegación
- Unidad de energía

La autonomía del sistema permite realizar la navegación en cualquier lugar, ya que no requiere de ninguna ayuda terrestre ni observaciones visuales, indicando la posición de un objeto con respecto a un sistema de ejes coordenados u otro marco de referencia. (Ver figura 1.4.1)

#### **1.4.1 Procesamiento de imágenes aplicadas a un sistema inercial**

Debido a la necesidad de conocer la trayectoria de vuelo que la aeronave debe recorrer, es conveniente recurrir a la tecnología de procesamiento de imágenes, la cual provee al piloto de imágenes secuenciales que muestran la zona de sobrevuelo indicando de esta forma la ruta a seguir. De tal forma que el sistema de navegación inercial, además de

todos los dispositivos físicos, cuenta con un programa que realiza operaciones sobre imágenes previamente obtenidas [Álvarez, 1994]. El procesamiento digital de las señales se lleva a cabo en una computadora, que desarrolla un número de operaciones matemáticas especificadas por un programa. Este da paso a la ejecución de una señal que, en paralelo con un sistema formado por circuitos lógicos, se configura para la realización de operaciones específicas: la presentación de imágenes útiles a la navegación.

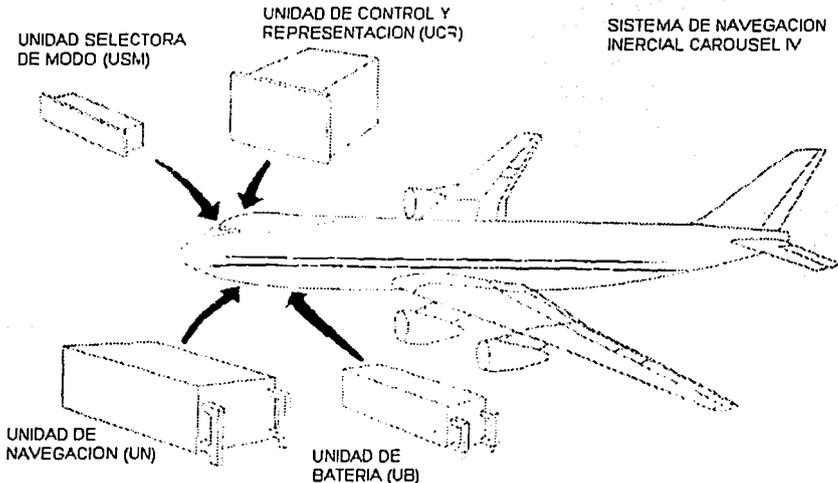


FIGURA 1.4.1 Sistema de Navegación Inercial "CAROUSEL IV"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El primer problema que se presenta en un sistema digital es la conversión de las señales analógicas a digitales (figura 1.4.1.1); las señales analógicas son funciones de variables continuas, tales como el tiempo y el espacio, y por lo general toman un valor en un intervalo continuo. Estas señales pueden ser procesadas directamente por sistemas analógicos apropiados, como filtros o analizadores de frecuencias, o multiplicadores de frecuencia con el propósito de cambiar sus características u obtener alguna información específica.

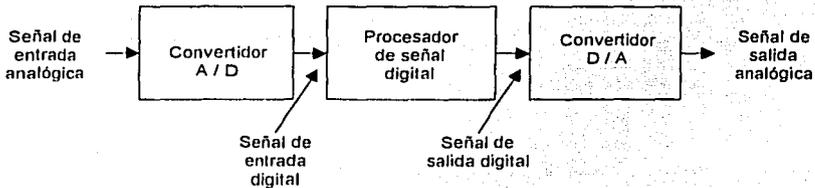


FIGURA 1.4.1.1 Proceso de Conversión de las Señales

Para ejecutar el procesamiento digital es necesaria una interfaz entre la señal analógica y el procesador digital, esta interfaz se llama convertidor analógico-digital (A/D), el cual puede constar de una computadora digital programable o un microprocesador programable para ejecutar las operaciones deseadas en la señal de salida. Para la aplicación del procesamiento en la ubicación de una aeronave, objetivo parcial de esta

tesis, no es necesario utilizar un convertidor que invierta el proceso, es decir digital-analógico D/A, ya que para obtener la información necesaria únicamente se requiere de una señal digital a la salida.

#### 1.4.2 Digitación de imágenes

Por *digital* se entiende la operación de transformar un parámetro analógico en uno digital (un conjunto finito y de precisión determinada por unidades lógicas denominadas "bits"). En este caso, se trata únicamente de tomar una imagen (fotografía, dibujo o texto) y convertirla a un formato que podamos almacenar y modificar con la computadora.

El proceso de registro de una imagen resulta casi idéntico para cualquier escáner: se ilumina la imagen con una fuente, y se conduce, mediante espejos, la luz reflejada hacia un dispositivo denominado CCD que transforma la luz en señales eléctricas transformándolas a formato digital en un DAC (convertor analógico-digital) y se transmiten los datos a la computadora.

El CCD (*Charge Coupled Device*, dispositivo acoplado por carga eléctrica) es el elemento fundamental de todo escáner, independientemente de su forma, tamaño o mecánica. Consiste en un elemento electrónico que reacciona ante la luz, transmitiendo más o menos electricidad según sea la intensidad y el color de la luz que recibe.

La calidad final de la imagen dependerá fundamentalmente de la calidad del CCD y el detalle del barrido; los demás elementos podrán hacer una función mejor o peor, pero si la imagen no es captada con fidelidad cualquier operación posterior no podrá solucionar el problema. Teniendo en cuenta lo anterior, también debemos tener en cuenta la calidad del DAC, puesto que de poco sirve captar la luz con enorme precisión si perdemos mucha de esa información al transformar el caudal eléctrico a bits [Hughes, 1994]

La digitación de imágenes implementada en esta tesis, se llevó a cabo a través de un escáner de alta definición y la posterior grabación de las mismas en discos compactos (CD's). Las principales características de este sistema son:

La grabación de cada una de las imágenes en una estructura que contiene 5 ó 6 resoluciones diferentes dentro del mismo archivo, desde baja resolución hasta resolución fotográfica, por lo cual una vez grabada una imagen puede elegirse la resolución que más convenga en función de su uso. Esta resolución óptica viene dada por el CCD y es la más importante, ya que implica los límites físicos de calidad que podemos conseguir con el escáner considerando de igual manera la firmeza del barrido.

## DESCRIPCIÓN DE EQUIPO ELECTRONICO

### 2.1 Subsistema de navegación

El subsistema se basa en un microcontrolador y circuitería externa, que se utiliza para integrar diversos sensores de una aeronave, como lo son: Brújula, giróscopo y acelerómetros. Todos ellos proporcionan señales de corriente alterna, convertidas por un CAD (Convertidor Analógico-Digital) de 12 bits en señales de corriente directa; estas entran al microcontrolador, para integrarlos a una computadora personal. Simultáneamente se añade una señal obtenida de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), imágenes de apoyo a la navegación e información geográfica y de infraestructura física de la zona de sobrevuelo.

Los datos anteriores son administrados por un programa, mientras un apuntador indica las coordenadas estimadas sobre la pantalla. De esta manera se obtendrá un sistema de ayuda a la navegación que podrá ser empleado, principalmente, en la ubicación de un punto en el espacio geográfico, afectado por algún tipo de desastre por ejemplo, proporcionando así apoyo a la población en el menor tiempo posible.

**2.1.1 Diseño de subsistema**

Para el diseño del subsistema es necesario tomar en cuenta que las señales obtenidas, de cada uno de elementos integrados, son analógicas y debieron ser digitadas para que el microcontrolador pueda procesarlas. Por lo cual se empleo un convertidor analógico-Digital AD574A, con un voltaje de 0 a 10V, proporcionando una salida de 12 bits que va de h000 a hFFF, o 4096 valores de voltajes.

Debido a que las señales de salida de los componentes no son mayores de 5V, se utilizaron amplificadores no inversores, con el fin de aprovechar la capacidad del convertidor, ya que de lo contrario solo se emplearía la mitad.

La tarjeta se compone de 4 secciones, la primera contiene los amplificadores que ayudan a incrementar el voltaje de las señales. Uno de estos amplificadores, utilizado en el incremento de las señales provenientes de la brújula, es un amplificador sumador que elimina la deriva generada por la brújula. Los siguientes amplificadores se acondicionan para cada una de las salidas (alabeo y cabeceo) del giróscopo, así como para cada acelerómetro utilizado en este trabajo.

La brújula proporciona una salida lineal de 0.1 a 5.1V, manejando un intervalo de 0 a 10 V al integrar el amplificador, y por medio de un divisor de tensión, se suma a la entrada una señal de  $-0.1V$ , amplificando la señal al doble y obteniendo el intervalo de 0 a 8.7866V.

El amplificador se integró debido a que las mediciones tomadas de la salida de la brújula, para una orientación de  $0^\circ$  con respecto al Norte fueron de 0.1V y para una orientación de  $360^\circ$  de 5.1V. De lo que podemos deducir que cada variación de  $0.1^\circ$  equivale a 13.89mV, y que al pasar a través del convertidor analógico-digital el valor de 5.1V equivale a una salida decimal de 2047, lo cual impide una amplitud suficiente para obtener una salida en valor decimal de 0 a 3599, para un valor de 8.7866V.

En la figura 2.1.1.1 se muestra el circuito que emplea la señal de salida de la brújula, en el cual se encuentra un diodo zener a la salida del operacional, limitando el voltaje y evitando así que el convertidor reciba un voltaje mayor al que soporta.

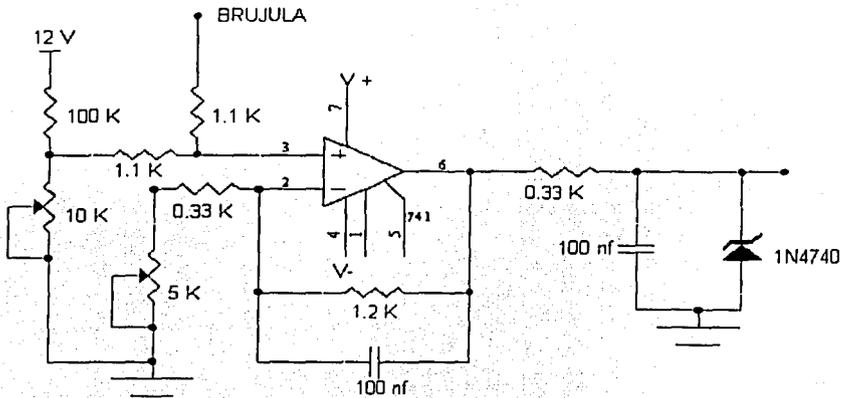


FIGURA 2.1.1.1 Circuito Amplificador de Salida "BRUJULA"

El giróscopo proporciona una salida lineal, que varía dependiendo de la inclinación; así, al obtener una señal de 2.4 V. (0° de inclinación) es amplificada hasta obtener 5V permitiendo una salida decimal de 2048. Una vez que el giróscopo se orienta dando un cierto valor a las posiciones de alabeo y cabeceo, el valor anterior aumenta o disminuye, proporcionando una lectura directa a la salida. En las figuras 2.1.1.2 y 2.1.1.3 se muestran los circuitos utilizados para cada señal.

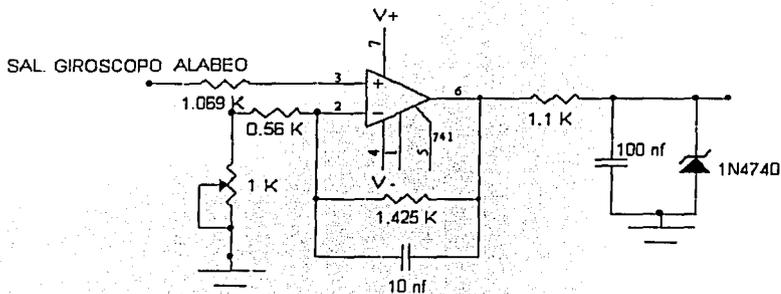


FIGURA 2.1.1.2 Circuito Amplificador de Salida "GIRÓSCOPO (ALABEO)"

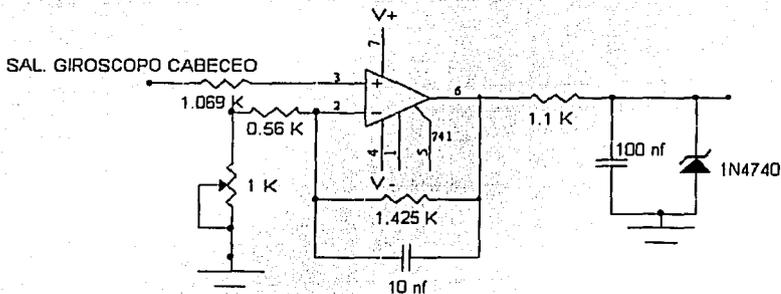


FIGURA 2.1.1.3 Circuito Amplificador de Salida "GIRÓSCOPO (CABECEO)"

En el caso de los acelerómetros, estos responden al intervalo de 0 a 1KHz. proporcionando una salida analógica de 2.488V en aceleración de 0g con variaciones de 2g dependiendo de la orientación del dispositivo. Después de integrar los amplificadores la señal fue condicionada para proporcionar 5V en 0g, 1V para -2g y 9V para 2g. Figura 2.1.1.4

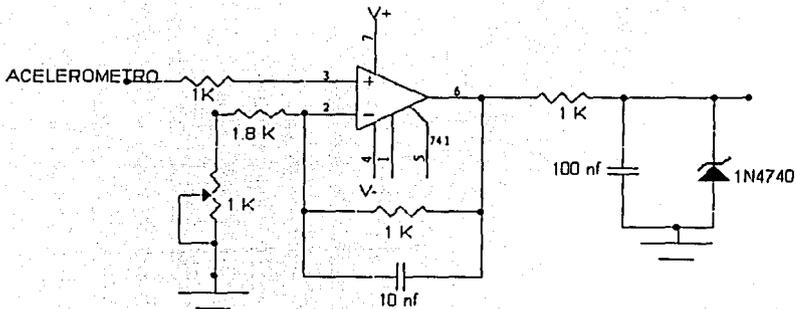


FIGURA 2.1.1.4 Circuito Amplificador de Salida "ACELERÓMETROS"

Nota: El circuito de la figura anterior fue elaborado para cada uno de los acelerómetros.

La segunda sección incluye un multiplexor, pues una vez amplificadas las señales analógicas obtenidas deben ser digitadas con un solo convertidor, por lo cual es utilizado un multiplexor analógico, logrando de esta manera que cada una de las señales sean digitadas por separado.

El multiplexor utilizado es un MC14052, circuito analógico de ocho entradas y una salida, no requiere circuitería externa y se alimenta con 12V. Cada una de las salidas de los dispositivos utilizados, se conecta a cada entrada del multiplexor, tal y como aparece en la figura 2.1.1.5, y la salida de este a la entrada de 0V a 10V del convertidor.

La tercera sección incluye la circuitería requerida para el funcionamiento del convertidor analógico, el cual se alimenta con +5V, +12V y -12V con salidas en paralelo y proporcionando 12 bits de resolución. La circuitería externa, formada por un circuito de reloj, multivibrador 555, que permite dar espacio entre la lectura de una señal y otra, ayudado por dos potenciómetros que regulan el balance y la ganancia del convertidor; permitiendo realizar la conversión en el intervalo de 0 a 10 V, y tomando intervalos de -5V a +5V, -10V a +10V, 0 a 10V. Figura 2.1.1.6

La señal obtenida a la salida del convertidor entra a dos de los puertos del microcontrolador, que después procesará.

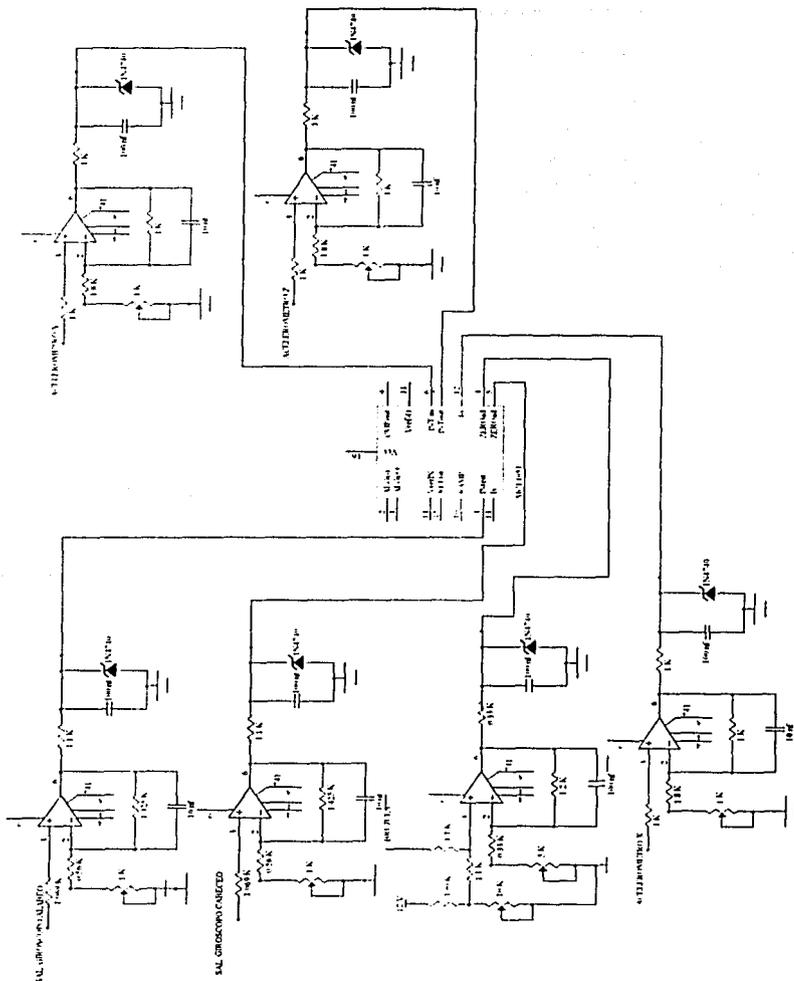


FIGURA 2.1.1.5 Circuito Multiplexor

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

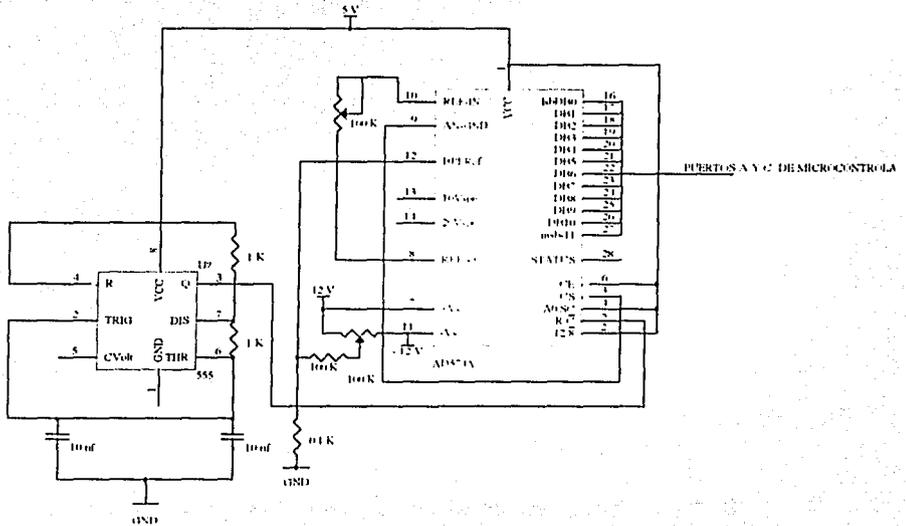


FIGURA 2.1.1.6 Circuito "CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL"

La última sección de la tarjeta, y la más importante, consta de un microcontrolador MC68HC11F1, de Motorola, MCU avanzado de 8 bits con funciones periféricas de alta complejidad dentro del mismo integrado. Contiene un ducto de datos no multiplexados con una velocidad nominal de 2MHz [Bastida, 2000].

Este microcontrolador opera coordinadamente con el resto de los circuitos armados e integrados en la tarjeta, y que se conectan a cada una de las entradas correspondientes del microcontrolador, operando en modo simple, e iniciando la ejecución del programa cargado en la memoria EEPROM. La alimentación del circuito es de 5V que entran en la pata 2 (Vcc) y 0V en la pata 3 (Vss). Este programa tiene las funciones de:

- 1) Al ser presionado el botón para reestablecer la tarjeta, selecciona cada dispositivo que entrará al convertidor según se requiera.
- 2) Lograr, por medio de una interfaz de comunicación entre el circuito y la PC, de los cuales hablaremos posteriormente, al microcontrolador con la PC, y así enviar los datos obtenidos para procesamiento y ser desplegados en la pantalla.

Esta tarjeta, así como los demás elementos de medición, son parte de un subsistema, el cual se integró por medio de un programa ejecutado en una PC, lo cual se mostrará y explicará en el siguiente capítulo.

## 2.2 Receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) tiene como objetivo realizar una navegación y posicionamiento geográfico en tiempo real, precisa y de forma continua en tierra, mar o aire, sin importar las condiciones meteorológicas. Se basa en la interpretación de emisiones de radio de una constelación de satélites que orbitan la Tierra. Este sistema fue implementado por la necesidad que se ha tenido, desde tiempos antiguos, de determinar la posición de personas u objetos en la superficie de la Tierra.

El Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de navegación vía satélite, que opera en un sistema coordenado cartesiano llamado Earth Center, Earth fixed X, Y, Z (ECEF), esto es, un sistema tridimensional centrado en la Tierra. A diferencia de otros sistemas basados en la superficie terrestre, el GPS cubre una gran área debido a su altitud, y por lo tanto, a que sus señales estén libres de interferencias de la geografía local.

El GPS está constituido por una constelación de 24 satélites, de los cuales por lo menos 4 son visibles al mismo tiempo, y proporcionan información para calcular tres coordenadas de posición y una de diferencia de tiempo, ver figura 2.2.1 Ya que, si bien es

cierto que calculando los retardos temporales entre 3 satélites el usuario tendría la posición deseada (X, Y, Z), esto exige una precisión muy alta y una gran estabilidad de los relojes, tanto del satélite como del receptor. Aun conociendo que los satélites cumplen estas dos condiciones, pues incorporan un reloj atómico de cesio (que son muy precisos y estables), este no es el caso de los receptores puesto que su precio sería demasiado alto. Es por ello que se hace uso de 4 satélites como mínimo, los cuales funcionan a cualquier hora del día / noche y desde cualquier punto de la Tierra. Los satélites se distribuyen en seis órbitas circulares con una inclinación de  $55^\circ$  y con un período orbital de 12 horas [Ramírez, 1996].

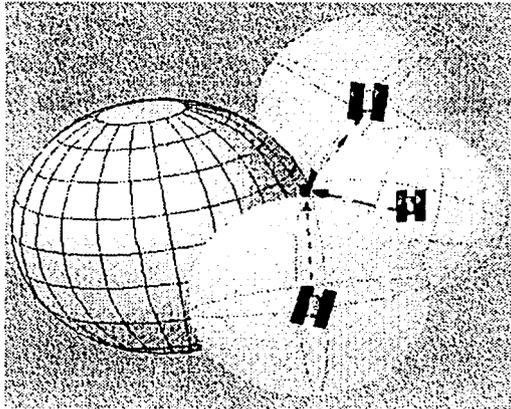


FIGURA 2.2.1 Sistema de Posicionamiento Global "GPS"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El sistema GPS requiere sistemas de medidas de retardo muy precisos, el reloj del satélite también puede sufrir alguna deriva (al cabo de varios meses), el GPS envía al receptor una serie de modelos para corregir estas derivas. Puede suceder que el receptor sólo sea capaz de recibir las señales de 3 satélites. En este caso se pide al usuario que introduzca la altura y se emplea el GPS en 2D. La señal tarda unas centésimas de segundo en llegar al receptor, la posición del satélite que hay que considerar para calcular la posición del usuario es la del satélite en el momento de transmitir la señal, figura 2.2.2.

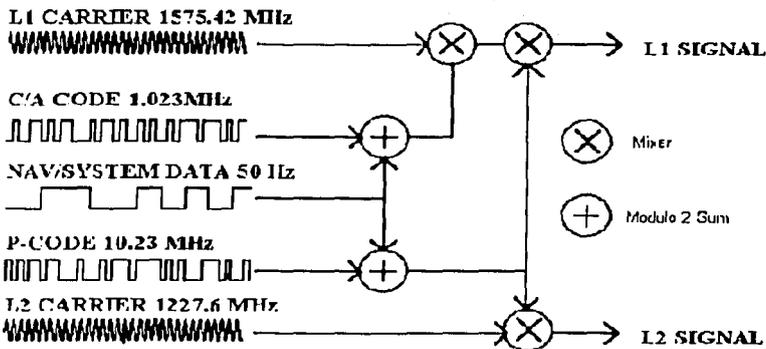


FIGURA 2.2.2 Señales Satelitales de GPS

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Al encender el receptor GPS se puede encontrarse en dos estados distintos:

- a) Perdido, (el almanaque tiene una fecha muy caduca)
  
- b) El aparato prueba con distintos satélites hasta que recibe una señal con una SNR aceptable.

Al lograr la recepción con un satélite demodula el mensaje de navegación y obtiene así el almanaque y la referencia temporal GPS. Esta fase de prueba y error puede tardar decenas de minutos.

Una vez memorizado (si hace poco que se ha usado el aparato GPS, el almanaque almacenado sirve para saber la posición de todos los satélites), el aparato se enlaza con los cuatro satélites que tiene en línea de vista. Cuando el receptor está enlazado con un satélite se asigna el canal (es) a los códigos de los satélites visibles y se inicia el proceso de recepción con cada satélite. Ya sincronizados tras realizar la correlación, se detectan los picos que superan un determinado umbral y a partir de estos se obtiene el retardo temporal de la señal y con esto se resuelve la ecuación de un

esferoide donde está incluido el usuario. Repitiendo este proceso para 4 satélites se obtiene la posición del usuario.

**El funcionamiento del GPS se basa en tres segmentos:**

### **Segmento Espacial**

Al principio se pensó que sólo eran necesarios 18 satélites (más 3 de emergencia en caso de falla) Sin embargo más tarde se concluyó que con este número la cobertura en algunos puntos de la superficie terrestre no era suficiente. Así pues se decidió a utilizar 21 satélites (más 3 de reserva como antes) repartidos en 6 órbitas, de tal forma que hay 4 satélites por órbita. El sistema está diseñado para que sobre cualquier punto de la Tierra se vean al menos 4 satélites, cuyas constelaciones reciben el nombre de NAVSTAR (EUA) o GLONASS (RUSIA).

### **Órbitas**

Las órbitas de los satélites son casi circulares, con una excentricidad de 0.03 a 0.3, y situadas a una altura de 20180 Km, tienen una inclinación respecto al plano del ecuador de 55°. La separación entre las órbitas es de 60°, con estos parámetros el

periodo de los satélites es de 11h 58m. Hay 6 efemérides que caracterizan cada una de las órbitas.

### **Segmento de Control**

Una estación maestra de control (situada en Colorado Springs, EUA), que se encarga de medir y calcular con precisión las efemérides de cada uno de los satélites. Además existen 3 estaciones de carga situadas en Diego García (Océano Indico), Isla Ascensión (Océano Atlántico), Kwajalein (Océano Pacífico) , las cuales transmiten datos (mensaje de navegación) y reciben las señales de calibración que los satélites envían. (ver figura 2.2.3). La banda que utilizan es la "S" con un canal ascendente de 1783.74MHz y un canal descendente de 2227.5 MHz

También hay 5 estaciones monitoras ubicadas en Hawaii y Colorado Springs, que controlan el estado y posición de los satélites. Reciben las señales transmitidas por éstos y obtienen información para actualizar las efemérides orbitales. Esta información es transmitida a la estación maestra de control que es la encargada de calcular las efemérides y obtener la posición de los satélites con una precisión de  $\pm < 1m$ .

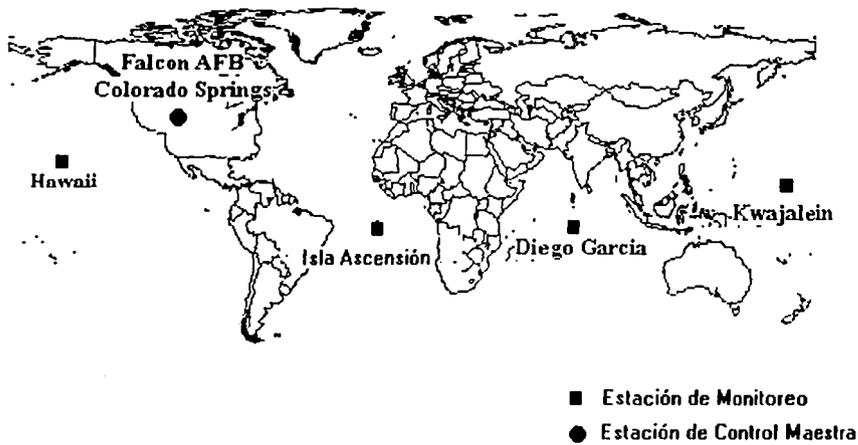


FIGURA 2.2.3 Estación de control maestra y red de monitoreo

### Segmento de Usuarios

Este segmento está formado por los receptores GPS, sus funciones principales son las siguientes:

- a) Sintonizar las señales emitidas por los satélites

- b) Decodificar el mensaje de navegación
- c) Medir el retardo de la señal (desde el transmisor hasta el receptor) a partir de los cuales calculan la posición.
- d) Presentar la información de la posición en la que se encuentra (en 3D ó en 2D)

Otras funciones complementarias son:

Ayuda a la navegación.

Almacenamiento de datos.

Presentación con mapa de fondo.

Prestaciones de los receptores civiles (C/A)

1ª posición 2D en menos de 2 minutos (siempre que no partamos de la posición "perdido")

1ª posición 3D en menos de 2.5 minutos (siempre que no partamos de la posición "perdido")

Actualizaciones de la posición de 0,5 a 1 segundos.

Precisión en torno a 15m (la cual mejora al promediar).

Medida de la velocidad del usuario, precisión de 0.1m/s aproximadamente.

Referencia temporal, precisión de 100ns aproximadamente.

Estructura general del equipo de usuario

**Antena:**

LNA, para optimizar la sensibilidad

**Receptor:**

Traslada la señal de radiofrecuencia (RF) a frecuencia intermedia (FI).

Demodula y decodifica el mensaje de navegación

**Microprocesador:**

Calcula la posición.

Controla todos los procesos que debe realizar el receptor.

**Unidad de Control:**

Permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador, por ejemplo para elegir el tipo de presentación, se debe introducir la posición inicial aproximada, (ver figura 2.2.4).

En el caso del almacenamiento de datos es posible introducirlos mediante:

Rutas, posiciones, etc.

Presentación y

Teclado

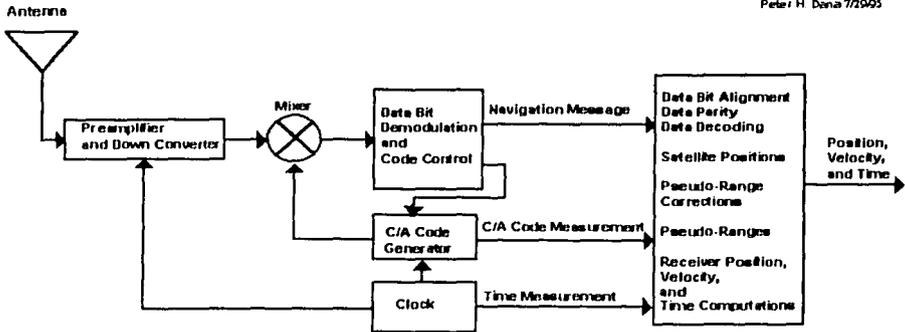


FIGURA 2.2.4 Diagrama a Bloques de un Receptor GPS Simple

El GPS es administrado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América, específicamente, por la División de Sistemas y Comandos del Espacio del Departamento de Defensa, y fue desarrollado con el objetivo de mejorar un sistema militar de satélites de navegación denominado TRANSITA disponible desde 1967 y muy usado en técnicas geodésicas en todo el mundo. Consolidado militarmente dicho sistema, sus amplias aplicaciones llegaron a la explotación y divulgación por parte de la comunidad científica.

Además, este sistema se encuentra bajo el control de cinco estaciones repartidas

alrededor del mundo y con coordenadas muy precisas. Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores de dos frecuencias y provistos de osciladores de cesio, también se registran, de forma precisa, otra serie de parámetros como presión y temperatura que afectan de manera sensible a la propagación de la información que se recibe de los satélites.

Para hacer posible el adecuado funcionamiento del sistema también es necesario manejar equipo específico para la recepción de señales emitidas por los satélites, así como por los programas necesarios para la comunicación del receptor con la computadora y el manejo de la información para la obtención y presentación de resultados.

Utilizando los mismos receptores GPS es posible emplear una técnica conocida como GPS diferencial, es decir, que cuando dos receptores se encuentran en una localidad georeferenciada (punto geodésico donde se conocen con precisión las coordenadas geográficas) es posible nulificar el tipo de errores que tienen que ver con retrasos de la propagación de las señales de los satélites a través de la ionosfera y la troposfera; errores relacionados a las efemérides de los satélites, datos precisos de su posición orbital, además de posibles errores en los relojes a bordo; lo que ayuda a que cualquier tipo de medición sea más precisa.

**2.3 Módulo OEM-CDU**

El módulo OEM-GPS, utilizado en estos experimentos, está provisto de cinco canales separados, de óptimo funcionamiento, cuatro de los cuales son usados por cuatro satélites requeridos para determinar una posición en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud), mientras el quinto canal monitorea a todos los demás satélites visibles, para configurar la mejor estrategia de recepción.

Una vez que los satélites en la constelación del GPS, están en órbita, el módulo receptor se prepara para enlazar los satélites conforme se vayan colocando en una posición visible, y al ser uno interceptado o siendo su posición la adecuada, puede ser incluido.

Con un quinto canal el receptor puede enlazar rápidamente a nuevos satélites, asegurando la actualización de los datos de navegación. Otra ventaja importante de tener cinco canales (o más), es la posibilidad para mantener la recepción de la señal en ambientes electrónicamente hostiles, ya que cada canal es usado para seguir a un satélite en particular y la señal recibida es optimizada para asegurar que los datos completos sean recibidos.

Entre las características operativas del módulo se encuentra que por un lado, el sistema requiere de 30 segundos para adquisición de efemérides (datos de navegación de la constelación de los satélites) el tiempo, la fecha y la posición inicial; en el caso de posicionamiento en tres dimensiones es necesario triplicar este tiempo. Estando fuera del alcance de una estación georeferenciada, la autolocalización puede demorar de 10 a 15 minutos. Por otro lado la máxima velocidad a la que puede viajar el receptor es de 1000 a 1510 kilómetros por hora, y que su máxima aceleración es de 2 g, dos veces el valor de la gravedad. La precisión de autopoicionamiento es en el plano horizontal de 25 metros RMS y de 30 metros RMS con altitud inclinada. La posición vertical tiene una precisión de 50 metros y la velocidad es de 0.15 nudos RMS.

Contiene una antena la cual establece la comunicación con la constelación de satélites, esta antena debe estar expuesta a la intemperie para obtener un óptimo resultado de percepción.

Sus requisitos eléctricos son: 9V a 16V de corriente directa y el consumo de 235 mA con 12V. La interfaz que presenta es el estándar industrial de comunicaciones seriales RS-232 y es seleccionable entre 1200 y 9600 baudios.

**2.4 Computadora Personal**

El equipo utilizado cuenta con un microprocesador Intel PENTIUM II, 32 MB de memoria RAM, dos puertos paralelos, en los cuales son conectados el GPS y el subsistema, una pantalla de cristal líquido con retro-iluminación, permitiendo observar los parámetros en diferentes condiciones de iluminación, tanto en el laboratorio como a bordo de una aeronave. Además posee una unidad lectora de CD desde la cual es posible ejecutar el programa que mostrará los datos al piloto; con lo que se logra uno de los objetivos de esta tesis.

## Descripción del sistema de orientación

### 3.1 Introducción

Los sistemas de navegación inercial dependen completamente del comportamiento de instrumentos electromagnéticos que responden a las fuerzas inerciales y gravitacionales. Es importante mencionar que son diseñados para vehículos como barcos y aeronaves principalmente. Su función fundamental es mostrar, en un período de horas o días, la posición, la velocidad, el cabeceo y la orientación del vehículo.

Para conocer estos parámetros es necesario apoyarse en instrumentos tales como: el giróscopo, la brújula y los acelerómetros, que en combinación con algunos otros elementos, obtienen la información requerida. Es por esto que en este capítulo procederemos a describir cada uno de estos dispositivos, así como la elección correcta de un sistema integral de orientación correlacionado con el espacio geográfico (Peralta et al, 1993).

### 3.1.1 Corrección de la información adquirida

#### a) Giróscopo

El giróscopo es un dispositivo electromecánico para detectar el movimiento de rotación alrededor de tres ejes cartesianos, e independientes del movimiento de giro que pueda poseer todo el montaje, figura 3.1.1.1. En operación el giróscopo posee dos propiedades importantes: la inercia giroscópica o rigidez, y la presesión, las cuales se basan en el principio de conservación de momento angular, en donde el momento angular de un cuerpo respecto a un eje dado permanece constante a menos que una fuerza sea aplicada para cambiarlo.

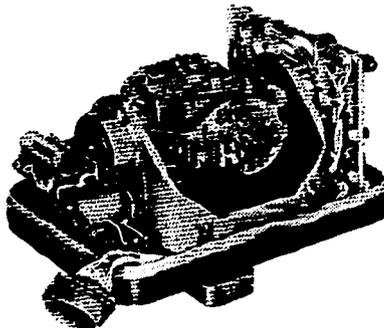


FIGURA 3.1.1.1 Imagen de un Giróscopo Vertical

### Rigidez

Esta propiedad resiste cualquier fuerza la cual tiende a cambiar el plano de rotación del rotor de un giróscopo y depende de tres factores:

- a) la masa del rotor
- b) el momento angular del rotor y
- c) la distancia de la masa al eje de rotación del radio de giro.

### Precesión

El movimiento de precesión consiste en la oscilación que presenta un disco o volante en rotación y cuya trayectoria describe un ángulo sólido respecto a un eje de referencia, ortogonal al plano del volante, (Ver figura 3.1.1.2).

El giróscopo clásico consiste en el volante que gira alrededor del eje  $aa'$ , y apoyado en un anillo "A" llamado portacuna, de modo que el anillo pueda girar sobre el eje  $bb'$  y la orquilla sobre un eje vertical  $cc'$ . Estos tres ejes se interceptan en el centro de

gravedad del giróscopo, por lo que estando el volante sin girar, en cualquier posición el conjunto rueda-aro-horquilla se halla en equilibrio estático.

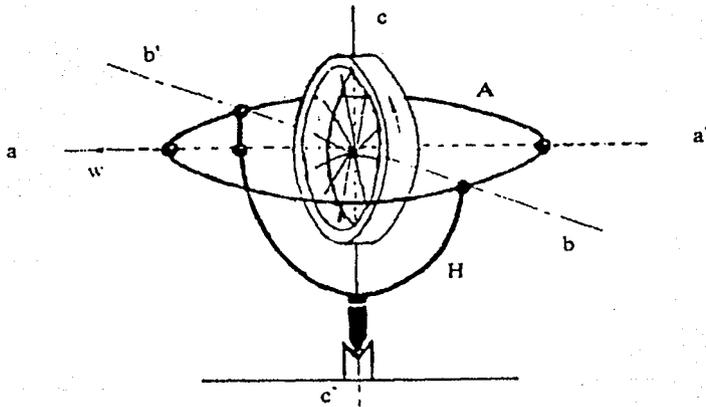


FIGURA 3.1.1.2 Giróscopo Clásico

#### Clasificación y partes de un giróscopo

El giróscopo consta de la explotación del momento angular del volante que gira alrededor de un eje de rotación, ilustrado en la figura 3.1.1.3. El volante está montado de

tal manera que su eje de giro tiene total libertad de orientación. Para lograrlo debe ser instalado en un sistema de cajas o armazón, de tal forma que aunque varíe la posición de los cojinetes que sostienen el armazón por cualquier cambio de posición en la base que lo soporta, no se altere la dirección del eje de rotación del giróscopo.

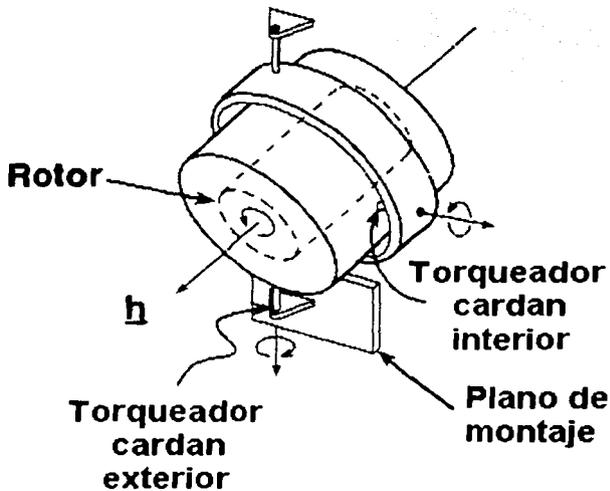


FIGURA 3.1.1.3 Ejes de Rotación del Giróscopo

**Partes básicas**

**Rotor**

Disco giratorio de alta energía cinética de rotación. Giróscopo.

Sistema impulsor del rotor: Alimentador de c.a. de frecuencia precisamente estabilizada.

Soportes del eje de giro del disco o rotor: Cojinetes alojados en una caja o aro llamado cuna o aro interior.

**Cuna**

Soportes del eje de giro de la cuna: Cojinetes alojados en un aro llamado portacuna o aro exterior.

**Portacuna**

Soportes del eje de giro del portacuna: Cojinetes que sostienen todo el sistema sobre la base fijada al vehículo.

Este sistema llamado cardánico o de cunas, mostrado en la figura 3.1.1.4, aísla inercialmente el rotor de la base. Los ejes de giro de la cuna y portacuna están montados

de tal manera que es posible aplicar indicadores de control para conocer la orientación de referencia.

El número de cunas o la naturaleza del soporte determinan el tipo de giróscopo, el cual puede ser de uno, dos o tres grados de libertad.

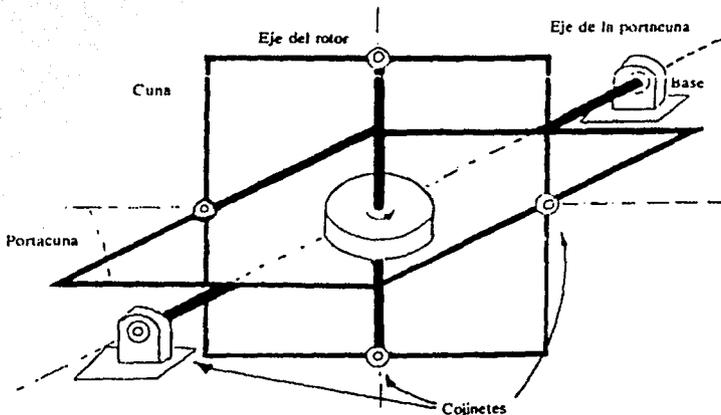


FIGURA 3.1.1.4 Sistema Cárdico

**Nota:** Debido a que el giróscopo utilizado en esta tesis consume una corriente de 10Amp, fue necesario integrarle optoacopladores para efectuar una conexión segura entre este y el subsistema, ya que este emplea una corriente muy pequeña y puede ser afectado por corrientes inducidas.

**b) Brújula**

La brújula es el instrumento de navegación y orientación más antiguo, su funcionamiento se basa en el aprovechamiento del magnetismo terrestre para orientar a una aguja imantada en una dirección fija; cualidad que, a pesar de existir en la actualidad instrumentos radioeléctricos de navegación, no ha podido ser reemplazada del todo. Además de ser el instrumento más sólido, debido a que no tiene más limitaciones que los polos magnéticos de la tierra y las perturbaciones por campos espurios asociados a su montaje y ambiente de operación.

Para el buen funcionamiento de este instrumento es necesario hacer una adaptación con otros dispositivos, ya que por sí sola, presenta una gran variedad de errores dentro de los cuales podemos mencionar:

- a) Errores de construcción y montaje, que, por ser constantes pueden corregirse fácilmente en la lectura.
- b) Errores debidos a la acción de imanes permanentes a bordo, y de otros instrumentos.

Estos errores dependen del rumbo que lleve el aeroplano y su relación o compensación resulta más difícil.

- c) Durante el vuelo pueden aparecer errores que suelen ser función de la inclinación magnética, del rumbo del aeroplano y de las aceleraciones del viraje.

La brújula utilizada en esta tesis se define como un sensor para aeronáutica comercial, el cual consta de una caja hermética, que utiliza como transductor una bobina suspendida dentro de un fluido, amortiguando de esta manera las vibraciones del vuelo y permitiendo la orientación de la aeronave con respecto al Norte, aun en inclinaciones de  $\pm 45^\circ$  en los ejes de alabeo y cabeceo.

La brújula emplea un magnetómetro toroidal con un núcleo flotando libremente en su centro, el cual esta formado por la bobina, de acero inoxidable, envuelta en una cinta magnética, figura 3.1.1.5 (esquema eléctrico de la brújula). La orientación se obtiene a través de una señal de excitación de campo que es aplicada al núcleo y que a su vez interactúa con el campo magnético terrestre, produciendo un campo asimétrico de flujo en el núcleo, y que es detectado por dos bobinas, permitiendo procesar de esta manera la señal resultante.

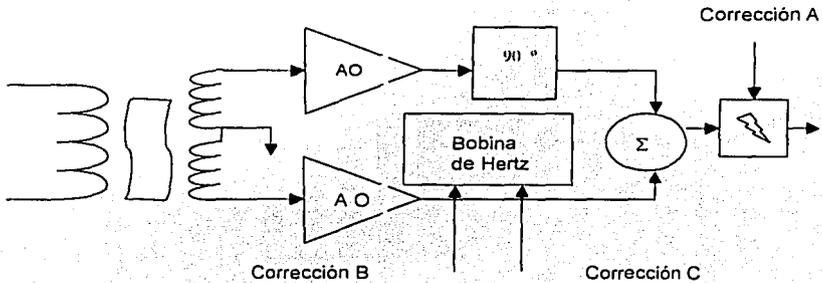


FIGURA 3.1.1.5 Representación de esquema eléctrico de la Brújula

### c) Acelerómetros

Los acelerómetros son sensores de fuerza que sirven para indicar las aceleraciones a las que se somete el avión con respecto a sus ejes, e incluso tienen como cometido mantener las maniobras del avión dentro de sus límites de resistencia, actuando de esta manera como medidores de sobrecarga, ya que indica la medición de aceleraciones en términos de unidades de gravedad en los tres ejes cartesianos.

Para que el vector de aceleración sea determinado en el espacio, es necesario tener tres acelerómetros en tres orientaciones ortogonales. Para conocer la orientación de los ejes de los acelerómetros es necesario combinarlo con el uso del giróscopo, que funciona como detector de dirección de lo que se denomina plataforma inercial; que es el soporte físico de los acelerómetros y giróscopo, y que deberá ser orientada y estabilizada en posición correcta y libre de vibraciones y oscilaciones perturbadoras (precesión), antes del vuelo.

Los acelerómetros pueden trabajar en configuraciones tanto de lazo cerrado como de lazo abierto. Los empleados en este caso, poseen la configuración de lazo abierto, de tal manera que están provistos de una masa suspendida en una caja y colocada en posición cero con respecto de una cuerda.

Además, poseen un sistema de amortiguación, entre la masa y la caja, el cual le ofrece una respuesta real correspondiente a una función de transferencia dinámica propia.

Cuando las aceleraciones son aplicadas a la caja del sensor, la masa es colocada en cero, o posición neutral, y la fuerza resultante en la cuerda provee la aceleración

necesaria de la masa para moverla con la caja. Para un solo sensor, el desplazamiento de la masa con respecto a su posición neutral en la caja, es proporcional a la fuerza específica aplicada a lo largo de su eje de detección.

Los acelerómetros usados en estos experimentos están elaborados con materiales piezoresistivos, que tienen como característica cambiar su resistencia bajo la influencia de presión física o trabajo mecánico. Al ser aplicada una sollicitación la resistencia interna cambia y permanece fija hasta reestablecer el estado original del material. En la figura 3.1.1.6 se muestra la estructura del circuito de detección de fuerza de un elemento piezoresistivo.

### **3.2 Integración del sistema de orientación**

Una vez conocida la estructura del subsistema y el funcionamiento de cada uno de los sensores externos (giróscopo, brújula y acelerómetros) se integran estos para formar un sistema de navegación que conoce su orientación espacial; con la presencia del GPS, la orientación del equipo se conoce en relación al espacio geográfico: objetivo central de esta tesis, [Langley, 2000].

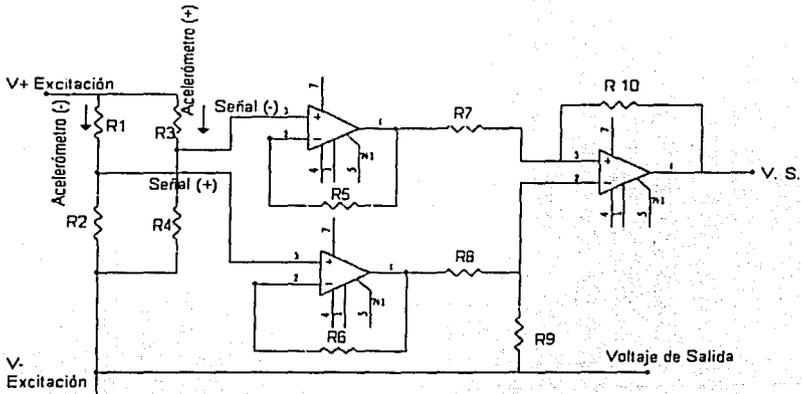


FIGURA 3.1.1.6 Circuito de Elemento Piezoresistivo

Primero es necesario procesar las señales obtenidas de cada componente e introducidas al microcontrolador, para ello requerimos de los siguientes circuitos: un circuito de reloj, un circuito que proporcione un voltaje bajo para reestablecer la tarjeta y una interfaz RS232 para el puerto serial.

El circuito de reloj de 8MHz y conformado por un cristal en paralelo a una resistencia de  $100M\Omega$  y dos capacitores en serie (figura 3.2.1), que determina la velocidad a la que se ejecutan las instrucciones se conecta a las terminales XTAL y EXTAL del encapsulado, habilitando la interfaz para el circuito de reloj compatible con CMOS y controlando así la circuitería interna generadora del pulso de tiempo.

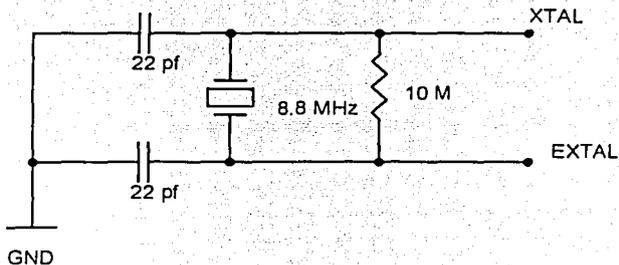


FIGURA 3.2.1 Circuito de Reloj

El circuito que comunica el microcontrolador y la PC, se basa en un circuito integrado Max232, que posibilita la comunicación serial y se conecta a las terminales del puerto D, que a su vez se habilitan para la transmisión y recepción de datos y se



A continuación se procede a elaborar cada uno de los programas, microcontrolador-PC, los cuales se mostraran en el apéndice A de este escrito.

## PRUEBAS Y EVALUACION DEL SISTEMA

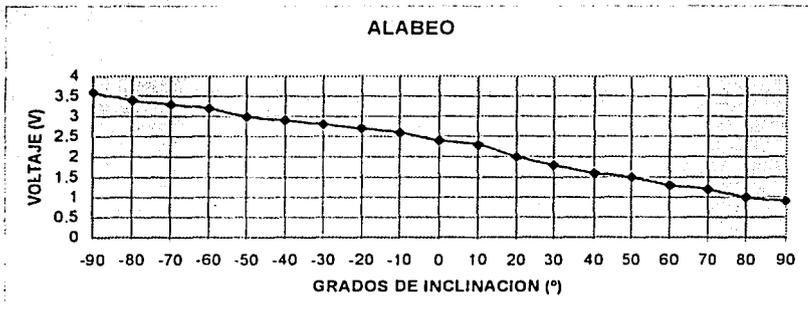
Este capítulo mostrará, que una vez que cada uno de los componentes ha sido acondicionado, se puede evaluar el funcionamiento de los dispositivos externos por separado; para posteriormente evaluar el sistema funcionando en conjunto. Las pruebas consistieron en lo siguiente: adquisición de datos, digitación de las señales, comunicación con la PC y por último la evaluación completa del sistema, que integra un programa que muestra los datos y puntos de ubicación sobre la imagen de mapas de la zona de sobrevuelo [Velocci, 1991].

Para describir el comportamiento de los parámetros a evaluar se diseñaron gráficas en función del voltaje o en función de los parámetros entre si con el fin de visualizar su desempeño.

### 4.1 Adquisición de datos

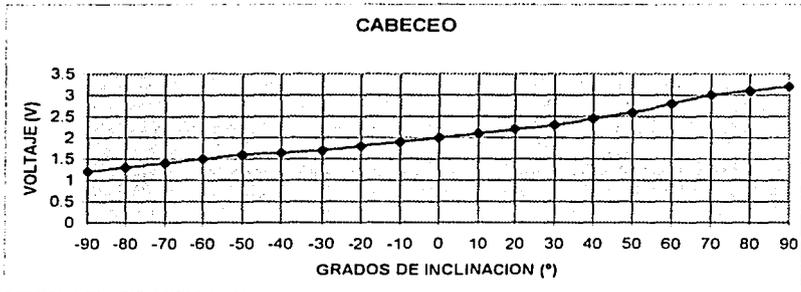
El primer elemento evaluado fue el giróscopo, que posee dos salidas analógicas, (alabeo y cabeceo), y que varían en amplitud de voltaje según su inclinación respecto a

"g" (eje vertical). La gráfica 4.1.1 muestra la variación de voltaje, de  $\pm 1V$ , y que debe ser amplificada para obtener una mejor resolución en grados de inclinación, e indica la salida de alabeo, así como la gráfica 4.1.2 la de cabeceo.



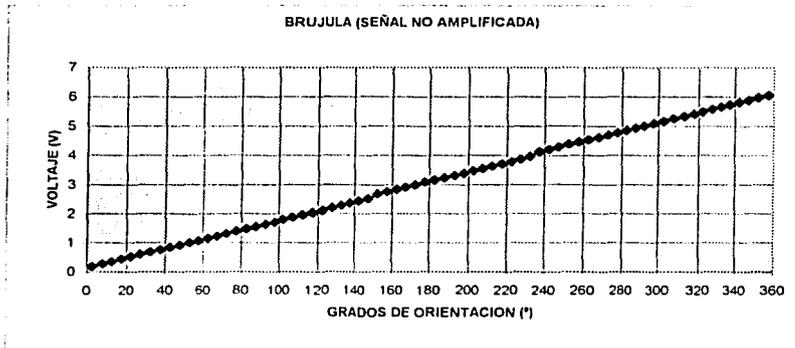
GRAFICA 4.1.1 Resolución de parámetros electromecánicos del ALABEO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

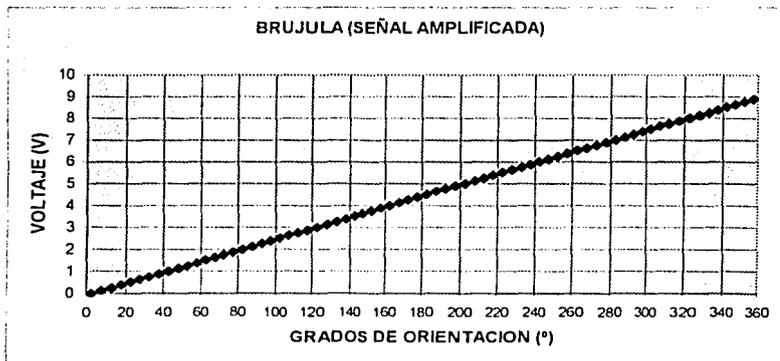


**GRAFICA 4.1.2 Resolución de parámetros electromecánicos CABECEO**

En el caso de la brújula electrónica, las mediciones se efectuaron alejadas de campos magnéticos para evitar errores por efectos externos. En la gráfica 4.1.3 se muestran los valores que entran al amplificador. Una vez obteniendo la máxima estabilidad, se establecen los valores de las señales a la salida del amplificador, como se muestra en la gráfica 4.1.4.

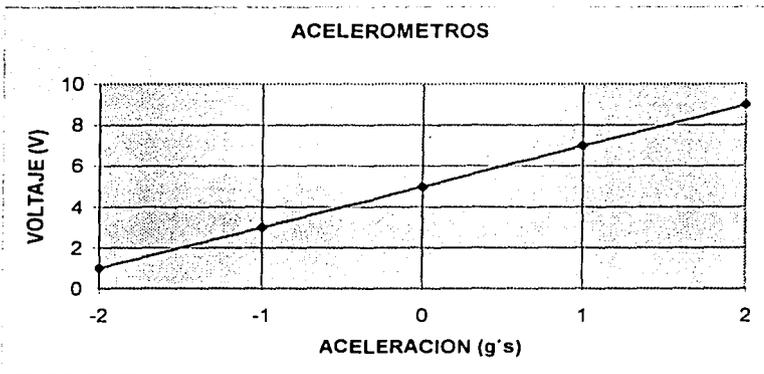


GRAFICA 4.1.3 Equivalencia en Vcd por cada 10° de movimiento antes del Amplificado



GRAFICA 4.1.4 Equivalencia en Vcd por cada 10° de movimiento después del Amplificador

Los acelerómetros fueron ajustados a 5 Vcd para obtener una aceleración de 0g, estado natural de la gravedad, logrando para  $-2$  g un voltaje de +1 Vcd y para 2 g un voltaje de 9 Vcd,. Ver gráfica 4.1.5.



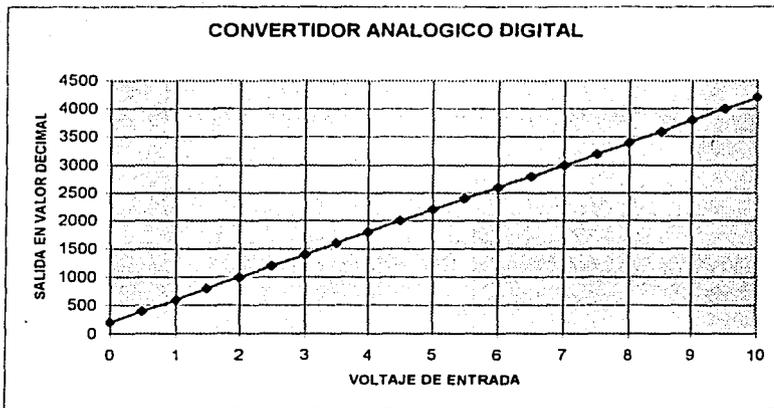
**GRAFICA 4.1.5** Equivalencia en Vcd de la Variación en la Aceleración

#### 4.2 Digitación de señales

Como se mencionó anteriormente, todas las señales obtenidas de los componentes son analógicas. Debido a que el microcontrolador utilizado requiere de señales digitales para su lectura fue necesario integrar un convertidor analógico-digital, al cual, a su vez, le fue

integrado un circuito multivibrador estable (reloj), en una frecuencia de 10 KHz. Además, de los dos potenciómetros para calibración, uno se dedica a eliminar la compensación de la señal analógica y el otro de la precisión de la conversión: lo anterior con el fin de aprovechar al máximo la velocidad de conversión analógica-digital.

Por último se conecta el circuito, en la frecuencia correcta, a una fuente variable de 0 V a 10 V, obteniendo de esta manera valores en forma hexadecimal, necesarios para la lectura del microcontrolador. Ver gráfica 4.2.1.



GRAFICA 4.2.1 Conversión de Niveles de Voltaje Obtenidos de los dispositivos empleados

## 4.3 Comunicación con la PC

Para llevar a cabo la comunicación entre la PC y la tarjeta de adquisición de datos, por medio del microcontrolador, se requirió de una interfaz RS232 o puerto serial con conector DB9. Además de anexar al microcontrolador un circuito de reloj y comunicación para reiniciarlo formado por un CI MAX232 y el conector. Figura 4.3.1.

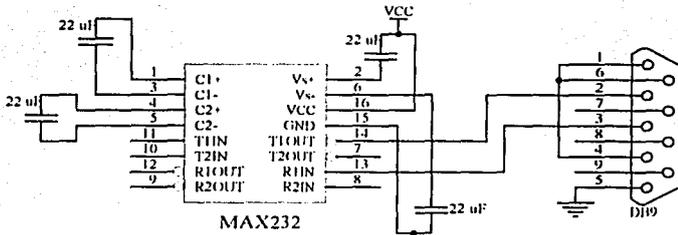


FIGURA 4.3.1 Interfaz Serial "RS232"

Para llevar a cabo la comunicación entre el subsistema y la PC, fue necesario programar la memoria del microcontrolador en Pcbug11, que es el lenguaje de

programación que opera el microcontrolador, y fue grabado en el microcontrolador en modo de prueba. Una vez probado el programa se procedió a manejar el microcontrolador en modo simple, que es el estatus en el cual el microcontrolador realiza las funciones de manera automática.

Paralelamente al programa del microcontrolador, se elaboró un programa en la PC basado en lenguaje VB (Visual Basic). El programa mantiene conexión directa con el microcontrolador enviando un dato al último con el fin de que al ser recibido, el microcontrolador confirme la operación creando un ciclo en el cual los datos proporcionados por cada uno de los dispositivos externos (brújula, giróscopo, acelerómetros) son enviados uno a uno en un tiempo que también es programado.

Se comprobó que la comunicación entre ambos elementos era confiable en el tiempo y en la aparición de cada dato, y se procedió a evaluar el sistema completo, integrando cada uno de los dispositivos externos ya mencionados y añadiendo el GPS, referido en el capítulo 2, y que es puesto en funcionamiento aproximadamente unos 20 minutos antes de comenzar el vuelo, con el fin de obtener el posicionamiento preciso para el despegue de la aeronave equipada con este nuevo sistema.

El GPS se conecta directamente a uno de los puertos seriales de la PC y se activa por medio de un programa, previamente cargado, exclusivo para este dispositivo. Una vez enlazado a los satélites necesarios para el posicionamiento, el GPS envía cadenas de caracteres indicando la latitud, longitud, altitud, número e identificación de satélites visibles, la hora GMT, la fecha, y algunos otros parámetros. Estas cadenas contienen un encabezado de identificación y son recibidas y leídas por el programa elaborado en VB.

El programa fue cargado previamente con imágenes de zonas de posibles vuelos utilizando el método de escaneo y digitación de imágenes, las cuales son mostradas en la pantalla a bordo de acuerdo a las coordenadas que sean proporcionadas por los dispositivos externos y situados geográficamente con el GPS para obtener su orientación geográfica.

#### **4.4 Funcionamiento del sistema**

Posterior a la conexión del GPS a la PC, conectado en el puerto serial 1, se procedió a conectar el subsistema en el puerto serial 2, así como la brújula electrónica, el giróscopo vertical y tres acelerómetros (uno para cada eje X,Y,Z). Ya integrados, se procede a

ejecutar el programa en VB, llamado Sistema de Navegación Inercial, y que funciona de la siguiente manera:

Primero, el programa requiere es una contraseña que puede ser cambiada por el usuario una vez ya ejecutado, figura 4.4.1.

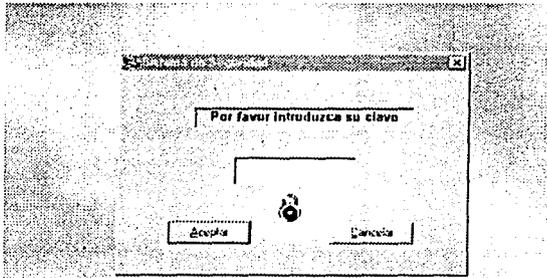


FIGURA 4.4.1 Ventana de acceso al Sistema Navegación Inercial

Una vez dentro aparecerá una pantalla con 3 menús, (ver figura 4.4.2), el primer desplegado llamado SOS, tiene como submenús:

DESCRIPCION, en el cual se explica el funcionamiento del sistema.

SALIR en donde el programa terminará sus funciones automáticamente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

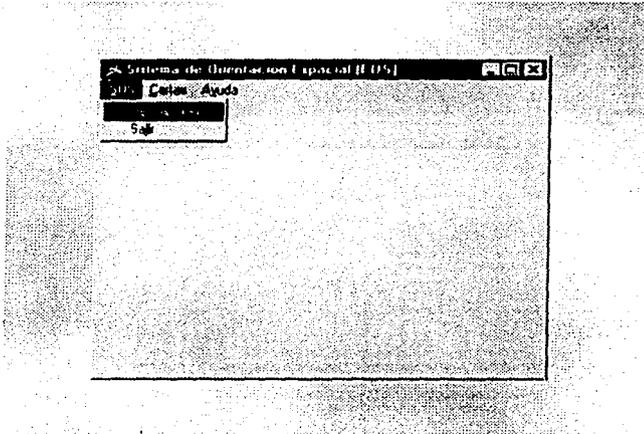


FIGURA 4.4.2 Submenús de SOS

El siguiente menú llamado CARTAS, hace la invitación al usuario para elegir la imagen correspondiente a la zona de vuelo que se este evaluando. En este desplegado aparecen dos submenús: CIUDAD UNIVERSITARIA Y SOBREVUELO D.F. como ejemplo, ver figura 4.4.3.

En cada uno de ellos se tendrá un acceso para elegir las imágenes de la zona que se esté sobrevolando. Es recomendable usar unidades de disco cargados con las imágenes de cada vuelo, debido a que la memoria RAM de la PC, podría ser insuficiente.

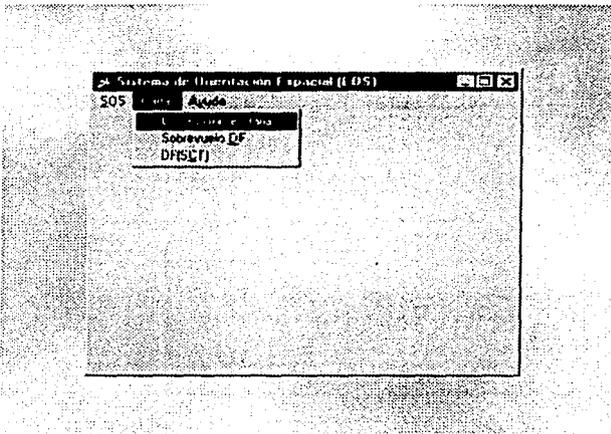


FIGURA 4.4.3 Submenús de CARTAS

Una vez dentro de cualquiera de los submenús de CARTAS, aparecerá la siguiente pantalla con la elección de la imagen que se selecciona dependiendo de la zona de vuelo. En el momento en el que comience el trayecto, todos los dispositivos comenzarán a producir los datos correspondientes de cada zona mostrada en la pantalla

proporcionando los parámetros, con ayuda de los programas cargados en la PC, un dato por cada movimiento registrado por el sistema mostrando también sobre la imagen (mapa de la zona de sobrevuelo), figura 4.4.4, punto a punto la posición actual y la trayectoria en relación al plan de vuelo.

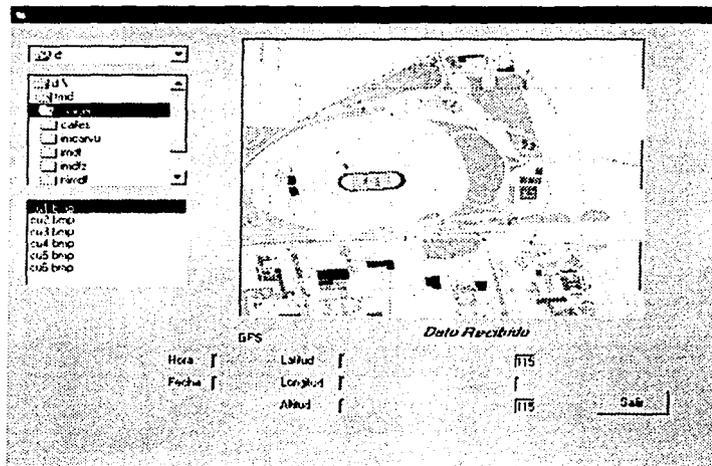


FIGURA 4.4.4 Cartas de sobrevuelo

En el menú AYUDA, se encuentra una herramienta útil para el usuario en caso de presentarse alguna falla en el programa ejecutado, figura 4.4.5.

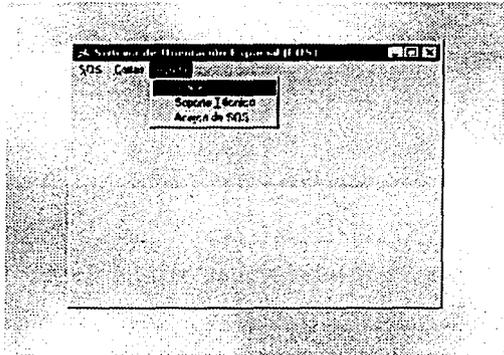


FIGURA 4.4.5 Submenús de Ayuda

Como se puede observar este programa fue elaborado de forma interactiva y sencilla, para que cualquier usuario, sin tener que conocer a fondo los equipos computacionales, sea capaz de operar el sistema, denominado SOS (Sistema de Orientación Espacial), y que ayudará a cubrir, por ejemplo, las necesidades de información o para planificar la asistencia a las poblaciones que se encuentren en casos de desastre.

Con este último punto se demuestra que la elaboración de equipos con utilidades prácticas para la ayuda de la población no requiere de grandes costos y si de un gran interés por mantener en alto la investigación científica y sus beneficios para nuestro país.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

1) Esta tesis cumple con la integración y programación de un equipo para ser utilizado a bordo de una aeronave. Para esto se ha adaptado un subsistema que es controlado por un programa, y que en conjunto tienen como uno de sus objetivos presentar a los pilotos de la aeronave su posición real mediante una pantalla, en la que se despliegan imágenes de zonas geográficas mostrando sobrepuesta la trayectoria exacta de vuelo.

2) El trabajo realizado comprende además, el conocimiento práctico de cada uno de los dispositivos integrados en el subsistema, como lo son una brújula electrónica, un giróscopo vertical y tres acelerómetros, y que apoyados por un GPS (Sistema Global de Posicionamiento) proporcionan con exactitud la trayectoria recorrida y la orientación del apuntamiento de diversos sensores; todo esto bajo el control de programas interactivos para lograr la comunicación subsistema-computadora-usuario, incluyendo programas de adquisición, manipulación y análisis de datos e imágenes.

3) Debido a que el programa de control, por diversas conveniencias, fue elaborado en ambiente WINDOWS y que su tamaño es considerable, por el manejo de imágenes, es necesario utilizar una computadora, como mínimo, 486 con 8 MB de memoria RAM.

4) El presente trabajo me ha permitido comprobar que los sistemas de navegación inercial pueden basarse en sistemas automatizados, idóneas para eventos y procesos repetitivos. Se concluye que sus ventajas son diversas, dependiendo del tipo de aplicación, pero su característica más importante destaca al recordar que en los países industrializados la utilización de soluciones para problemas particulares, demandan desarrollo tecnológico específico, adaptado a cada situación: en este caso las condiciones mexicanas.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1) Una de las recomendaciones sobre el equipo utilizado, en este caso la brújula, es que al tomar las mediciones, es necesario por un lado mantener su estabilidad, y también es necesario alejarla de cualquier campo magnético que se encuentre a su alrededor.

- 2) En el caso de los acelerómetros, cabe mencionar que para obtener una corrección más exacta en la aceleración (del GPS) en combinación con la velocidad derivada, es recomendable usar una computadora con mayor velocidad de procesamiento, ya que el tiempo de obtención de datos puede variar dependiendo si dicha velocidad es mayor.
  
- 3) El equipo completo debe colocarse en lugar específico, en el caso del subsistema, aislado de perturbaciones externas y no expuesto al calor, el giróscopo, GPS y acelerómetros deben ir en el centro de gravedad de la aeronave, y la brújula en la parte más alejada del motor.

**BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

- ❖ AERONAUTICA MODERNA  
VAN SICKLE, NEIL D.  
PARANINFO  
MADRID 1985
  
- ❖ AVIATION CARTOGRAPHY  
LIBRARY OF CONGRESS. MAP DIVISION  
WASHINGTON, LIBRARY OF CONGRESS  
USA 1960
  
- ❖ TECNOLOGÍA AEROESPACIAL  
RAMOS ALEGRE, DOMINGO  
DOSSAT  
MADRID, 1987
  
- ❖ STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION TECHNOLOGY  
D.H. TITTERTON  
J.L. WESTON  
ENGLAND 1997
  
- ❖ DIGITAL SIGNAL PROCESSING  
PRINCIPLES, ALGORITHMS AND APPLICATIONS  
JOHN G. PROAKIS  
EUA 1979

## **Bibliografía Consultada**

---

- ❖ APRENDA VISUAL BASIC YA  
MICHAEL HALVORSON  
McGRAW-HILL  
ESPAÑA 1996
  
- ❖ LA ESENCIA DE VISUAL BASIC 4  
MARK STEVEN HEYMAN  
PRÉNTICE HALL HISPANOAMÉRICA  
MEXICO 1996
  
- <http://ribera.tel.uva.es/~jpozdom/telecomunicaciones/portadagps.html>
- <http://www.analogdevices.com>

## APÉNDICE A

### PROGRAMA PRINCIPAL PC EN LENGUAJE VISUAL BASIC

#### FRM PASSWORD

##### BOTONES ACEPTAR

```
Private Sub cmdAceptar_Click()  
Static iTries As Integer 'Para contar los intentos  
Dim IWait As Long  
If UCase(txtPassword) = txtPassword.Tag Then 'Si concuerda...  
    imgLocked.Picture = imgUnlocked.Picture 'Despliega un candado abierto...  
  
    Refresh  
    IWait = Timer: While IWait + 1 > Timer: Wend 'Espera un segundo  
    frmMenuSist.Show 'Muestra el formulario principal  
    Unload Me 'Descarga esta forma  
    Else 'Si no....  
        iTries = iTries + 1 'Incrementa uno iTries...  
        If iTries = 3 Then 'Si hay tres intentos... ¡Está fuera!  
            MsgBox "Lo siento...Clave Incorrecta", vbCritical, "Acceso denegado!"  
            End  
            Else 'En caso contrario intente de nuevo  
            MsgBox "Presione OK e intente de nuevo", vbInformation, "Clave Incorrecta!"  
            txtPassword.SelStart = 0 'Resaltalo  
            txtPassword.SelLength = Len(txtPassword) 'Tecleando antes...  
            txtPassword.SetFocus 'Movido aquí, desde abajo  
            End If  
        End If  
    End Sub
```

#### CANCELAR

```
Private Sub cmdCancelar_Click()  
End  
End Sub
```

**FRM MENUSIST**

**BOTON DE SALIDA**

```
Private Sub mnuSalir_Click()  
Unload Me  
End  
End Sub
```

**FRM COM23**

**LLAMADA DE IMÁGENES**

```
Private Sub mnuCU_Click()  
frmCom23.Show  
End Sub
```

**FRM CU**

**UNIDAD LECTORA A UTILIZAR**

```
Private Sub Drive1_Change()  
Dir1.Path = Drive1.Drive  
End Sub
```

**DIRECTORIO EN DONDE SE ENCUENTRA LA IMAGEN**

```
Private Sub Dir1_Change()  
File1.Path = Dir1.Path  
End Sub
```

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## ELECCIÓN DE LA IMAGEN

```
Private Sub File1_Click()  
SelectedFile = File1.Path & "\" & File1.filename  
Image1.Picture = LoadPicture(SelectedFile)  
End Sub
```

## FRM CONTROLES

### CONTROLES PARA UNIDAD DE LECTURA

#### LECTURA DE IMAGEN

```
Private Sub Form_Load()  
iRows = Screen.Height  
iCols = Screen.Width  
WallPaper 'Ejecuta el procedimiento WallPaper  
End Sub 'definido más adelante
```

#### EN CDROM

```
Private Sub cmdChange_Click(Index As Integer)
```

```
Dim x As Integer  
Select Case Index 'Lo evalúa...  
Case CDROM 'Se hizo click en el botón CDROM  
For x = 1 To iTotalPics 'Llena el arreglo de  
imgWallPaper(x).Picture = imgCDRom.Picture 'Ilustraciones de CDRom  
Next  
Case DISK 'Se hizo clic en el disco  
For x = 1 To iTotalPics 'Llena con ilustraciones de disco  
imgWallPaper(x).Picture = imgDisk.Picture
```

```
Next
Case MOUSE                'El usuario requiere ratones
For x = 1 To iTotalPics    'Por lo tanto pone ratones
    imgWallPaper(x).Picture = imgMouse.Picture
Next
Case MAC
For x = 1 To iTotalPics
    imgWallPaper(x).Picture = imgMac.Picture
Next
End Select
End Sub
```

## LECTURA DEL CD

```
Private Sub imgWallPaper_DbIClick(Index As Integer)
Dim iPic As Integer      'Representará la ilustración actual,
                        'que es la ilustración del control
                        'sobre el que se hizo doble clic
iPic = IIf(imgWallPaper(Index).Picture = imgCDRom.Picture, CDROM, iPic) '¿En cual
iPic = IIf(imgWallPaper(Index).Picture = imgDisk.Picture, DISK, iPic) 'ilustración
iPic = IIf(imgWallPaper(Index).Picture = imgMouse.Picture, MOUSE, iPic) 'se hizo clic
iPic = IIf(imgWallPaper(Index).Picture = imgMac.Picture, MAC, iPic)
```

```
Select Case iPic          'Ahora lo evalúa
Case CDROM                'Si fue CDROM
    imgWallPaper(Index).Picture = imgDisk.Picture 'cambia a disco
Case DISK
    imgWallPaper(Index).Picture = imgMouse.Picture 'Si fue disco

Case MOUSE                'Si fue ratón
    imgWallPaper(Index).Picture = imgMac.Picture 'cambia a Mac
```

## Apéndice A

---

```
Case MAC 'Si fue Mac
imgWallPaper(Index).Picture = imgCDRom.Picture 'regreso a CDRom
End Select
End Sub
```

### EN DISCO DE 3/2

```
Private Sub cmdChange_Click(Index As Integer)
```

```
Dim x As Integer
```

```
Select Case Index 'Lo evalúa...
Case CDROM 'Se hizo click en el botón CDRom
```

```
For x = 1 To iTotPic 'Llena el arreglo de
imgWallPaper(x).Picture = imgCDRom.Picture 'Ilustraciones de CDRom
Next
```

```
Case DISK 'Se hizo clic en el disco
```

```
For x = 1 To iTotPic 'Llena con ilustraciones de disco
imgWallPaper(x).Picture = imgDisk.Picture
```

```
Next
```

```
Case MOUSE 'El usuario requiere ratones
```

```
For x = 1 To iTotPic 'Por lo tanto pone ratones
imgWallPaper(x).Picture = imgMouse.Picture
Next
```

```
Case MAC
```

```
For x = 1 To iTotPic
imgWallPaper(x).Picture = imgMac.Picture
```

```
Next
```

```
End Select
End Sub
```

MOUSE

```
Private Sub cmdChange_Click(Index As Integer)
```

```
Dim x As Integer
```

```
Select Case Index  
Case CDROM
```

```
'Lo evalúa...  
'Se hizo click en el botón CDROM
```

```
For x = 1 To iTotalPics  
imgWallPaper(x).Picture = imgCDRom.Picture 'Ilustraciones de CDROM  
Next
```

```
Case DISK  
'Se hizo clic en el disco
```

```
For x = 1 To iTotalPics  
'Llena con ilustraciones de disco  
imgWallPaper(x).Picture = imgDisk.Picture
```

```
Next
```

```
Case MOUSE  
'El usuario requiere ratones
```

```
For x = 1 To iTotalPics  
'Por lo tanto pone ratones  
imgWallPaper(x).Picture = imgMouse.Picture  
Next
```

```
Case MAC
```

```
For x = 1 To iTotalPics  
imgWallPaper(x).Picture = imgMac.Picture
```

```
Next  
End Select  
End Sub
```

PANTALLA

```
Private Sub cmdChange_Click(Index As Integer)
```

```
Dim x As Integer
```

```
Select Case Index
```

```
Case CDROM
```

```
'Lo evalúa...
```

```
'Se hizo click en el botón CDROM
```

```
For x = 1 To iTotPic
```

```
'Llena el arreglo de
```

```
imgWallPaper(x).Picture = imgCDRom.Picture 'Ilustraciones de CDROM
```

```
Next
```

```
Case DISK
```

```
'Se hizo clic en el disco
```

```
For x = 1 To iTotPic
```

```
'Llena con ilustraciones de disco
```

```
imgWallPaper(x).Picture = imgDisk.Picture
```

```
Next
```

```
Case MOUSE
```

```
'El usuario requiere ratones
```

```
For x = 1 To iTotPic
```

```
'Por lo tanto pone ratones
```

```
imgWallPaper(x).Picture = imgMouse.Picture
```

```
Next
```

```
Case MAC
```

```
For x = 1 To iTotPic
```

```
imgWallPaper(x).Picture = imgMac.Picture
```

```
Next
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

## RECEPCIÓN DE DATOS

### TIMER1

```
Private Sub Timer3_Timer()  
Fecha = MSComm3.Input  
Fecha2 = InStr(Fecha, "$GPZDA")  
Fecha = Mid(Fecha, Fecha2 + 13, 8)  
Label15.Caption = Fecha  
  
End Sub
```

### TIMER2

```
Private Sub Timer1_Timer()  
PosAlt = MSComm1.Input  
PosAlt2 = InStr(PosAlt, "$GPGGA")  
Hora = Mid(PosAlt, PosAlt2 + 7, 6)  
Latitud = Mid(PosAlt, PosAlt2 + 14, 9)  
Longitud = Mid(PosAlt, PosAlt2 + 25, 9)  
Altitud = Mid(PosAlt, PosAlt2 + 43, 4)  
MSComm1.Interval = 100  
Label1.Caption = Latitud  
Label3.Caption = Longitud  
Label4.Caption = Altitud  
  
End Sub
```

### TIMER3

```
Private Sub Timer2_Timer()  
sResponse = MSComm2.Input  
sResponse2 = InStr(sResponse, "RS")  
sResponse3 = Mid(sResponse, sResponse2 + 2, 1)  
sResponse4 = Mid(sResponse, sResponse2 + 3, 1)  
sResponse5 = Mid(sResponse, sResponse2 + 4, 1)  
sResponse6 = Mid(sResponse, sResponse2 + 5, 1)  
sResponse7 = Mid(sResponse, sResponse2 + 6, 1)  
sResponse8 = Mid(sResponse, sResponse2 + 7, 1)
```

## Apéndice A

---

```
sResponse31 = AscW(sResponse3)
sResponse41 = AscW(sResponse4)
Brujula = ((sResponse31 * 255) + sResponse41)
Label1.Caption = Brujula
sResponse51 = AscW(sResponse5)
sResponse61 = AscW(sResponse6)
Gyros1 = ((sResponse51 * 255) + sResponse61)
Label2.Caption = Gyros1
sResponse71 = AscW(sResponse7)
sResponse81 = AscW(sResponse8)
Gyros2 = ((sResponse71 * 255) + sResponse81)
Label3.Caption = Gyros2

End Sub
```

## EVB SOS

### PROGRAMA PRINCIPAL

```
Public sPhrase As String
Public Const CHECKED = 1 'Casillas de verificación

Public Const Red = 4
Public Const Green = 2 'Constantes QBColor
Public Const Blue = 1
```

### PROGRAMA DE COMUNICACIÓN

```
PORTA EQU $1000
DDRA EQU $1001
PORTC EQU $1006
DDRC EQU $1007
PORTF EQU $1005
BAUD EQU $102B
SCCR1 EQU $102C
SCCR2 EQU $102D
SCSR EQU $102E
SCDR EQU $102F
```

## Apéndice A

```
ORG    $FE00
LDS    #03FF

LDAA   #000 ;SE CONFIGURA EL PUERTO A COMO ENTRADA
DDRA   DDRA
STAA   DDRC ;SE CONFIGURA EL PUERTO C COMO ENTRADA

LDAA   #030 ;SE HABILITA VELOCIDAD DE 9600 BAUDIOS
STAA   BAUD
LDAA   #000
STAA   SCCR1 ;SE CONFIGURA PARA TRANSMISION Y RECEPCION DE 8

BITS   LDAA   #008
       STAA   SCCR2
```

### PROGRAMA PRINCIPAL

```
INICIO LDAA   #00F ;SE HABILITA LA LECTURA DE DATOS DE LA BRUJULA
       STAA   PORTF
LEE    LDAA   SCSR
       BEQ    LEE
       LDAB   PORTC
       LDAA   PORTA
       TAP
       STAA   SCDR
       STAB   SCDR
       JMP    INICIO
       ORG    $FFFE
       FCB   $FE
       FCB   $00

END
```

### Programa para transmisión de datos

```
SUMAA EQU    $0000
SUMAB EQU    $0001
RESULT EQU    $0002
BAUD  EQU    $102B

ORG    $0100
```

## Apéndice A

---

	LDS	#\$47
	LDAA	#\$7F
	STAA	SUMAA
	LDAB	#01
	STAB	SUMAB
SUMA	LDAA	@SUMAA
	ADDA	@SUMAB
	STAA	@RESULT
	JSR	TRANISM
	INC	SUMAB
	JMP	SUMA
	END	
TRANISM	LDAA	#\$08
	STAA	\$102D
	LDAA	#\$30
	STAA	BAUD
SDATO	LDAA	\$102E
	ANDA	#\$40
	BEQ	SDATO
	LDAA	#\$02
	STAA	\$102F
	RTS	

### Configuración de puertos y transmisión serial

```
ldaa #$00 ;se configura el puerto a como entrada
staa ddra
staa ddrb ;se configura el puerto c como entrada
ldaa #$02 ;se configura para que bit 2 sea entrada en modo spi
staa ddrd
ldaa #$30 ;se habilita velocidad de 9600 baudios
staa baud
daa #$00
staa sccr1 ;se configura para transmisión y recepción de 8 bits
ldaa #$2c ;habilitar int. por rx e int. generales; se encienden rx y tx
staa sccr2
```

### Salida de datos a la PC

```
inicio Idab #Sff ;se habilita la pc
  ldaa scsr ;leemos bandera de int. y se limpia
  bpl inicio ;espero
  stab scdr ;mandamos dato del acumulador b
  jsr retard
```

```
inicio1 Idab #Sff ;se habilita la pc
  ldaa scsr ;leemos bandera de int. y se limpia
  bpl inicio1 ;espero
  stab scdr ;mandamos dato del acumulador b
  jsr retard
```

```
inicio2 Idab #Sff ;se habilita la pc
  ldaa scsr ;leemos bandera de int. y se limpia
  bpl inicio2 ;espero
  stab scdr ;mandamos dato del acumulador b
  jsr retard
```

### Cargamos los datos de los puertos

```
bruju1 Idab #S07 ;habilito lectura de la brujula
  stab portf
  jsr lect1 ;leemos parte alta
bruju2 Idab #S07 ;habilito lectura de la brujula
  stab portf
  jsr lect2 ;leemos parte baja
gala1 Idab #S06 ;habilito lectura del alabeo del giroscopo
  stab portf
  jsr lect1 ;leemos parte alta
gala2 Idab #S06 ;habilito lectura del alabeo
  stab portf
  jsr lect2 ;leemos parte baja
gcab1 Idab #S05 ;habilito lectura del cabeceo del giroscopo
  stab portf
  jsr lect1 ;leemos parte alta
gcab2 Idab #S05 ;habilito lectura del cabeceo
  stab portf
  jsr lect2 ;leemos parte baja
acelx1 Idab #S02 ;habilito lectura del acelerometro x
```

```

    stab portf
    jsr lect1 ;leemos parte alta
acelx2 ldab #$02 ;habilito lectura del eje x
    stab portf
    jsr lect2 ;leemos parte baja
acely1 ldab #$00 ;habilito lectura del acelerometro eje y

    stab portf
    jsr lect1 ;leemos parte alta
acely2 ldab #$00 ;habilito lectura del eje y
    stab portf
    jsr lect2 ;leemos parte baja
acelz1 ldab #$04 ;habilito lectura del acelerometro eje z
    stab portf
    jsr lect1 ;leemos parte alta
acelz2 ldab #$04 ;habilito lectura del eje z
    stab portf
    jsr lect2 ;leemos parte baja
    jmp inicio

```

**Cargamos los datos de los puertos**

```

lect1 ldaa scsr ;leemos bandera de int. y se limpia
    bpl lect1 ; espero
    ldaa portc ; cargo un dato "x"
    staa scdr ; mando parte alta del contador por el serial
    jsr retard
    rts
lect2 ldaa scsr ;leemos bandera de int. y se limpia
    bpl lect2 ; espero
    ldaa porta
    stab scdr ;mando parte baja
    jsr retard
    rts
retard ldx #$0100
retar dex
    bne retar
    rts

```

### Tabla de vectores de interrupcion (modo simple)

```
org $ffd6 ; direccion del vector de interrupcion de Rx
fcb $fe ; direccion de la rutina para recibir el dato(DAT)
fcb $2f
org $ffe ; vector de reset en modo simple
fcb $fe ; inicio de eeprom (programa principal)
fcb $00
end
```

**REFERENCIAS**

[1] Álvarez, Ramón, "Modelos digitales del terreno", Boletín de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota, UNAM, D.F., Mayo, 1994.

[2] Bastida, Marcelo, "Sistema para orientación espacial de sensores aeroportados en el espacio geográfico", Cuautitlan Izcalli, Edo. de México, Septiembre, 2000.

[3] Hughes, David, "Imaging advances leading to real-time targeting", Aviation Week and Space Technology, Boston, USA, June 6, 1994.

[4] Langley, Richard B., "Basic Navigation with a GPS Receiver", GPS World, Ed. Advanstar Communications, New Brunswick, Canada, Octubre, 2000.

[5] Peralta, R., J. Prado y M. Navarrete, "La alternativa de videogrametría en casos de percepción remota tradicional", UNAM, D.F., Julio, 1993.

[6] Ramírez, Alberto, "Receptor de señales vía satélite (GP2010) del sistema global de posicionamiento (GPS) con diseño y construcción de un filtro previo en microcintas, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, Octubre, 1996.

[7] Velocci, Anthony L., "Sikorsky, Collins to Develop Integrated Avionics for Black Hawk", Aviation Week and Space Technology, Boston, USA, Julio, 1991.