



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

"DESPLIEGUE Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PARA  
UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES AÉREAS."

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A N:

**ROBERTO BERMÚDEZ GUERRERO**

**UBALDO MARTÍNEZ ESLAVA**

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. JORGE PRADO MOLINA  
CO\_DIRECTOR DE TESIS: DR. CARLOS RIVERA RIVERA



CIUDAD UNIVERSITARIA. 2001



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.

# RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería por los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestros estudios.

Al Instituto de Geografía de la UNAM, por las facilidades y apoyo brindados.

Al M. en I. Jorge Prado Molina por haber compartido sus conocimientos, así como sus valiosos comentarios y asesorías para el desarrollo de esta tesis.

Al Biólogo Armando Peralta Higuera por haber compartido sus conocimientos y asesorías para el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Gianfranco Bisiacchi Giraldi Jefe del Laboratorio de Instrumentación Espacial, del Centro de Instrumentos de la UNAM, y responsable del proyecto DGAPA IN125698 "Plataforma Giroestabilizada para percepción remota desde aeronaves" por el apoyo para la realización de esta tesis.

Se hace un patente reconocimiento a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM, por el apoyo en forma de beca para la realización de este trabajo.

# DEDICATORIA

**UBALDO**

**Gracias**

A mis hermanos, familiares y amigos que colaboraron de alguna manera en mi formación profesional.

A mi novia por su apoyo incondicional en todo momento.

En especial Hermano Marco Antonio que fue como un Padre, hermano y sobre todo amigo para mí y por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

Y sobre todo Gracias a Dios por haberme guiado durante todos mis estudios

A todos ellos como a mis Padres donde quiera que estén le dedico mi esfuerzo y sacrificio reflejado en esta tesis.

**Roberto:**

A mis padres y hermanos:

por el apoyo y la confianza que depositaron en mí durante mis estudios.

A mis profesores:

por compartir sus conocimientos.

A mis amigos y compañeros:

por la amistad desinteresada que me brindaron.

A cada uno de mis familiares de los cuales recibí

apoyo, consejos y amistad fundamentales para mi completa formación.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES AÉREAS.</b>	<b>1</b>
1.1. Percepción remota.	3
1.1.1. Fotografía aérea e imágenes de satélite.	3
1.1.1.1. Fotogrametría y métodos de interpretación.	5
1.1.2. Videografía y fotografía digital.	6
1.2. Necesidades de compensación durante el vuelo.	6
1.2.1. Plataformas estabilizadas.	8
1.2.1.1. Plataforma basculante	9
1.2.1.2. Mecanización sujeta al vehículo o shapdown	10
1.2.2. Corrección geométrica.	11
1.2.3. Formación de mosaicos.	12
1.3. Sistemas de Posicionamiento Global.	13
1.4. Monitoreo del sistema de adquisición de imágenes.	14
1.4.1. Aumento de imágenes útiles	15
1.5. Programación de sistemas aeroespaciales tolerantes a fallas.	16
<b>2. PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS AEROESPACIALES Y SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.</b>	<b>17</b>
2.1. Tolerancia a fallas y reconfiguración en sistemas aeroespaciales.	17
2.2. Programación de sistemas aeroespaciales.	21
2.3. Lenguajes de programación.	21
2.3.1. Lenguaje C.	22
2.3.2. Lenguaje Cobol.	22
2.3.3. Lenguaje Delphi.	23
2.3.4. Lenguaje Apples en Java.	24
2.3.5. Lenguaje Java.	24
2.3.6. Lenguaje JavaScript vs Java.	25
2.3.7. Lenguaje Visual Basic.	25
2.3.8. Lenguaje Pascal.	26
2.4. Selección del lenguaje de programación.	26
<b>3. SISTEMA DE MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.</b>	<b>28</b>
3.1. Variables consideradas durante las campañas de vuelo, (Altura, velocidad, cobertura, traslape, tiempo de disparo, etc.).	28
3.2. Necesidades de despliegue visual de datos de vuelo.	33
3.2.1. Mapa digital del terreno.	33
3.2.2. Actualización de la posición sobre el terreno con el GPS.	34
3.3. Interfaz y protocolo de comunicación con el GPS.	35

3.3.1. Interfaz GPS-Computadora.	35
3.3.2. Protocolo NMEA	37
3.3.3. GPS Diferencial (GPSD).	38
3.4. Sistemas de coordenadas.	38
3.4.1. Proyecciones cartográficas.	39
3.4.2. Coordenadas geográficas.	39
3.4.3. Proyecciones TM (Transversal Mercator) y UTM (Universal Transversal Mercator).	40
3.4.4. Necesidad de Transformación entre coordenadas.	42
3.5. Interfaz con el programa de control de la plataforma portacámaras.	42
<b>4. DESPLIEGUE, GRAFICACIÓN, MONITOREO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.</b>	43
4.1. Rutina de configuración y asignación de valores iniciales.	43
4.1.1. Configuración del sistema.	44
4.1.2. Datos iniciales.	45
4.2. Rutina de despliegue de imágenes digitales del terreno bajo estudio.	48
4.2.1. Configuración de mapas.	48
4.2.2. Visualización de las líneas de vuelo.	52
4.3. Rutina de vuelo (pantalla principal).	52
4.3.1. Monitoreo del levantamiento	52
4.3.2. Control del disparo de la cámara.	56
4.3.3. Almacenamiento de archivos de datos del gps.	59
4.3.4. Actualización de la posición del mapa digital del terreno con los datos del GPS.	60
4.4. Programa para el levantamiento entre dos o más zonas UTM y para líneas largas.	61
<b>5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	62
5.1. Pruebas de funcionamiento.	62
5.1.1. Pruebas de funcionamiento en tierra.	63
5.1.2. Pruebas de funcionamiento en vuelo.	68
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	73
<b>APÉNDICE A</b>	
Transformación entre coordenadas geográficas y UTM	75
<b>APÉNDICE B</b>	
Diagramas del Sistema	85
<b>APÉNDICE C</b>	
Listado del programa	90
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	115

## RESUMEN.

El objetivo central de este trabajo fue desarrollar la programación necesaria para desplegar y almacenar en el disco duro de una PC, los datos de orientación y posición asociados a las imágenes digitales adquiridas durante diferentes campañas de percepción remota. También se desarrolló un sistema de planeación de las campañas aéreas y un sistema de monitoreo que a partir de los datos de posición grafica sobre un mapa digital del terreno la ubicación de la nave; esto ayuda a mantener el rumbo correcto durante el recorrido sobre las diferentes líneas de vuelo al momento de adquirir las imágenes. El programa de despliegue y almacenamiento está en comunicación continua con la plataforma donde van montadas las cámaras, para que se almacenen los datos de posición y orientación al momento de la toma. La plataforma tiene un sistema de control que compensa las perturbaciones y desviaciones que ocurren durante el vuelo. Estas desviaciones, son indeseables ya que obligan a realizar un cuantioso trabajo de corrección geométrica en las imágenes.

Los ángulos de orientación, junto con los datos provenientes de un sistema de posicionamiento global, son almacenados en disco duro, para su posterior utilización en la corrección geométrica y en el procesamiento de las imágenes.

Se llevó a cabo una selección del lenguaje de programación más adecuado a esta aplicación, se efectuaron las rutinas de: despliegue y captura de valores iniciales en el menú principal, despliegue de los datos de vuelo, de graficación y actualización en tiempo real del mapa digital del terreno en estudio, y las rutinas de almacenamiento y recuperación de datos.

Se presentan los resultados de las pruebas realizadas en tierra con este sistema y aquellos obtenidos durante una campaña intensiva de adquisición de imágenes, a lo largo y ancho del país en una rejilla de 100 km por lado en el Norte y de 50 km en el Centro, Sur y Sureste; para la validación de la interpretación del Inventario Nacional Forestal 2000.

### **Definición del problema:**

Durante la realización de las campañas de percepción remota es necesario contar con un apoyo visual de la ubicación de la aeronave, para mantener el rumbo correcto, sobre todo durante la realización del barrido secuencial sobre el terreno en estudio. También es necesario contar, entre otros datos, con la información del vector de apuntamiento, para determinar si las imágenes serán

útiles o si tendrán tal distorsión que tengan que ser repetidas, con los consecuentes contratiempos y gastos.

Es necesario contar con la información de la ubicación X,Y,Z de la toma de las imágenes, así como la dirección del vector de apuntamiento de la plataforma, para llevar a cabo la corrección geométrica en tierra. Esta corrección es indispensable para la formación de mosaicos del terreno en estudio y poder llevar a cabo mediciones sobre el mismo.

### **Método.**

Determinación de las variables que es necesario desplegar y/o almacenar.

Determinar el o los lenguajes de programación a utilizar.

Desarrollo de las rutinas de programación (Despliegue, almacenamiento, recuperación de datos).

Pruebas de funcionamiento con datos simulados y pruebas con los sensores de orientación.

Pruebas definitivas y validación de resultados.

# CAPÍTULO 1

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES AÉREAS.

Actualmente se observa el gran beneficio que se obtiene de la percepción remota, por medio de la adquisición de fotografías captadas a través de satélites y las no menos importantes adquiridas por aeronaves. Con las imágenes podemos interpretar y analizar diversos problemas, ya que éstas son el reflejo más cercano con el que podemos contar para tener una idea real de lo que sucede a nuestro alrededor, las cuales nos ayudan a:

- Analizar grandes extensiones de terreno para conocer sus atributos y características.
- Hacer posible la toma de decisiones racionales sobre diferentes aspectos de la organización territorial, tales como: infraestructura, ordenamiento, uso de suelo, tipo y extensión de cultivos, explosión demográfica etc.
- Cuantificar la pérdida de suelo por procesos de erosión, detectar afloramientos de minerales o la contaminación en cuerpos de agua y en suelos.
- y mucho más.

Dada la importancia en nuestro medio de aprovechar las imágenes para realizar diversos estudios y dado su elevado costo y tiempo de adquisición, así como la dependencia para obtener este servicio de compañías extranjeras (para las imágenes satelitales), en el presente trabajo se ha propuesto desarrollar un medio alternativo de percepción remota a través de realizar conjuntamente con el Instituto de Geografía y el Centro de Instrumentos de la UNAM, un sistema de adquisición de imágenes. Por una parte hay que desarrollar una plataforma porta cámaras estabilizada y por la otra, un sistema de despliegue y almacenamiento de datos para monitorear la adquisición de las imágenes aéreas.

El objetivo principal de este trabajo de tesis, es desarrollar la programación necesaria para desplegar y almacenar en una PC, los datos de orientación y posición asociados a las imágenes digitales adquiridas durante diferentes campañas de percepción remota, además de proporcionar apoyo visual de ubicación de la

aeronave para mantener un rumbo correcto e incrementar el número de imágenes útiles, obteniendo así, imágenes fotográficas a menor costo y en tiempos más cortos. La plataforma porta cámaras está siendo desarrollada por otro equipo de trabajo.

En general, el equipo utilizado para realizar un levantamiento de una determinada área de terreno, por medio de fotografía aérea, es el siguiente: Un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que nos proporciona la ubicación del centro de toma de cada imagen; además de guardar la trayectoria que sigue la aeronave durante las líneas de vuelo, cámaras fotográficas que disparan a un determinado intervalo de tiempo, una plataforma estabilizada en la que van montadas las cámaras; la que tiene la finalidad de mantener un apuntamiento vertical hacia el terreno, y por último, una aeronave; una avioneta o helicóptero que, pueden ser especiales o no para vuelos fotográficos. Las naves para aerofotografía cuentan con un orificio de visión vertical hacia la superficie terrestre, por donde apuntan las cámaras y en caso de que la aeronave no sea especial para vuelos fotogramétricos la colocación de las cámaras se debe improvisar, colocándolas de alguna manera a un costado de la aeronave a modo de que el fuselaje de la misma no obstaculice la visión. En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques del sistema.

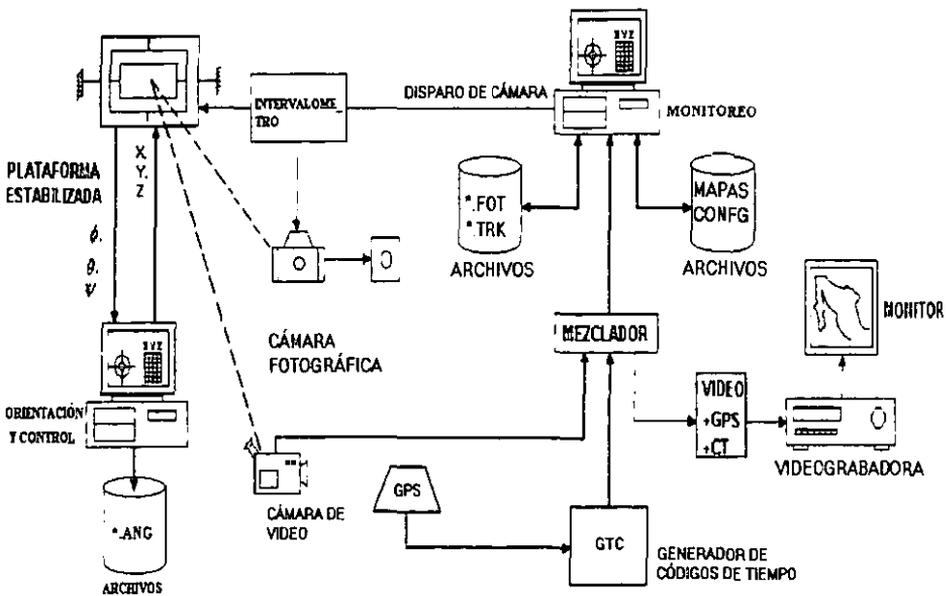


Figura 1.1 Diagrama de Bloques del sistema de adquisición de imágenes.

## 1.1 PERCEPCIÓN REMOTA

La **Percepción remota** se define como:

- 1) La ciencia y arte de obtener información de un objeto mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto.
- 2) El conjunto de las actividades relacionadas con la adquisición y el análisis de datos de sensores remotos, los cuales tienen la característica de ser sistemas fotográficos u opto-electrónicos capaces de detectar y registrar, en forma de imágenes, el flujo de energía radiante reflejada o emitida por objetos distantes (figura 1.2 [20]). Un flujo de radiación electromagnética al propagarse por el espacio puede interactuar con diferentes superficies, siendo reflejado, absorbido o emitido por dichas superficies.

Durante la fase de adquisición de datos por los sensores, se pueden distinguir los siguientes elementos básicos: energía radiante, fuente de radiación, objeto, trayectoria y sensor (éste consiste del sistema óptico donde se forma la imagen y un detector).

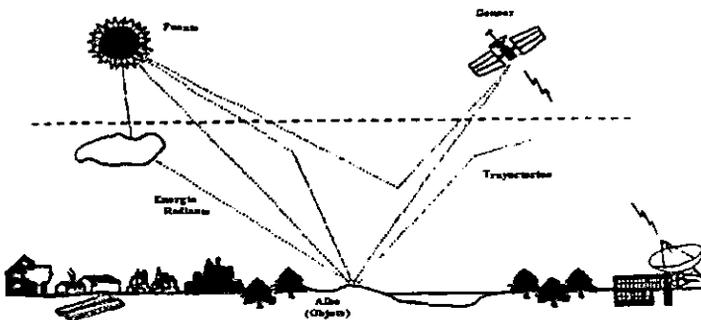


Figura 1.2. Un sistema básico de percepción remota.

### 1.1.1 Fotografía aérea e imágenes de satélite.

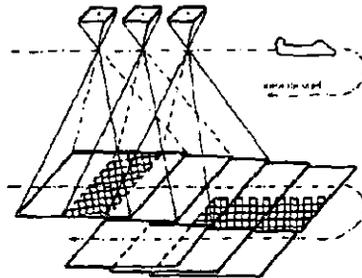
La fotografía aérea y las imágenes de satélite constituyen los elementos principales para llevar a cabo diversos estudios. La diferencia fundamental entre ellas es la gran resolución de la primera y la gran cobertura de la segunda. En esta tesis haremos énfasis en las imágenes aéreas, por tener varios puntos de concordancia con el sistema de adquisición de imágenes que se desarrolla; aunque algunas de las técnicas de análisis se hacen extensivas a las imágenes de satélite.

Un material aerofotográfico se define como el producto obtenido a partir de un sensor remoto que desde un avión registra o imprime la imagen de una zona de la corteza terrestre. Los elementos básicos de la fotografía aérea son de tipo geométrico; a partir de ellos adquiere sus características y define los procesos para llevar a cabo sus estudios cuantitativos. La fotogrametría ha tenido gran importancia debido a que con ella es posible reconocer y encontrar recursos naturales, al igual que proporciona información para la correcta planeación y dirección de proyectos de construcción, de asentamientos urbanos, carreteras, deforestación, inundaciones, invasión de derechos de vía, etc.

Ciertos requisitos indispensables para la toma de las imágenes, como son la ausencia absoluta de nubes y la inclinación apropiada de los rayos solares, hacen necesario el conocimiento actualizado de los datos meteorológicos y la intervención oportuna del personal con su equipo, apenas se presenten condiciones favorables para el vuelo fotográfico. En un país como México, con una gran diversidad de regiones climáticas en las que se presentan fuertes variaciones aun en el curso de pocas horas, la realización de dichos levantamientos sólo se hace posible con una adecuada planeación y conocimiento de la zona de estudio, además de que el levantamiento se realice de forma rápida y tratando de evitar los errores, esta es una de las razones más importantes por las que se hace necesaria la realización del sistema de monitoreo que se desarrolla en este proyecto de tesis.

### **Toma física de las fotografías aéreas.**

La toma física de la fotografía aérea, (figura 1.3 [1]) sigue un proceso que consiste en cubrir totalmente el área de estudio con líneas o transectos de vuelo. Estas líneas se orientan con respecto al terreno en estudio y tienen la finalidad de obtener secuencial y longitudinalmente todas las fotografías necesarias, sobreponiéndose una sobre el área de la anterior entre un 50% y un 65% aproximadamente y entre líneas de vuelo, un traslape de 30% del área, esto permite generar estéreo-pares indispensables para la identificación de objetos mediante la observación del relieve en las imágenes, lo cual, es necesario cuando se realizan estudios geográficos y topográficos para la obtención de mapas precisos de una cierta zona.



*Figura 1.3. Esquema de la toma de la fotografía aérea.*

Si la cámara con la cual se toman las fotografías, sufre de una desviación de más de 3 grados, las imágenes adquiridas no pueden alcanzar el porcentaje de traslape requerido, por consiguiente se pierde el efecto de estereoscopia y las imágenes son inútiles para este propósito.

Las fotografías aéreas, pueden subdividirse en *Oblicuas* y *Verticales*: en las primeras, el eje óptico de la cámara forma un ángulo menor de  $90^\circ$  con el plano del terreno. Se considera que una fotografía es *vertical*, cuando el eje óptico de la cámara en el momento de la exposición, tiene una desviación máxima de  $3^\circ$ . Las fotografías verticales son las más útiles ya que, aunque no son proyecciones verdaderamente ortogonales de la superficie, debido principalmente a las distorsiones producidas por los lentes de la propia cámara; proporciona una mejor imagen, ya que solo se utiliza la parte central de la fotografía, que es donde se tiene menos error.

### 1.1.1.1 Fotogrametría y métodos de interpretación.

En la fotogrametría existen dos áreas de estudio específicas, la métrica y la interpretativa. La primera consiste en la ejecución de medidas precisas de las fotos y otras fuentes de información que determinan la localización relativa de puntos específicos sobre el terreno. Esto permite encontrar distancias, áreas, ángulos volúmenes, elevaciones, medidas y así poder clasificar objetos; este tipo de fotogrametría encuentra su aplicación más común en la preparación planimétrica, topográfica y de cartas geográficas.

La fotogrametría interpretativa, se encarga del reconocimiento e identificación de objetos a través del análisis sistemático de las imágenes, en donde para su obtención, también se usan una gran variedad de sensores e instrumentos de percepción remota incluyendo cámaras multiespectrales, barredores térmicos, etc. En este caso no se realizan mediciones con las imágenes, su uso es cualitativo.

Antes de realizar las mediciones sobre las fotografías, es necesario hacer una corrección geométrica de las mismas. Dicha corrección consiste en minimizar la distorsión causada por el sistema de adquisición de la imagen y conseguir una representación lo más plana posible del terreno. Como mínimo se necesita tener tres puntos de control sobre el terreno, cuya localización se conozca con exactitud. También es necesario conocer el centro de toma de cada imagen para poder formar el mosaico del terreno bajo estudio.

Una gran diferencia con respecto a las imágenes de satélite, es que en éstas últimas no es posible la observación estereoscópica de toda la imagen, restringiendo su interpretación a dos dimensiones (en un plano). Con artificios como la sobreposición de los modelos digitales del terreno (curvas de nivel), es posible obtener imágenes de satélite en 3D.

## 1.1.2 Videografía y Fotografía Digital.

La aparición de las cámaras de video y posteriormente las de fotografía digital; equipadas con sensores de estado sólido CCD, introducen al equipo televisivo y a las cámaras digitales a las tareas de teledetección, que no se había podido lograr antes por las distorsiones inherentes del vidicon, en caso del video.

La combinación de este tipo de cámaras CCD, en conjunto con filtros de interferencia en sectores bien delimitados del espectro electromagnético, dio lugar a una nueva tecnología que se ha denominado, en concordancia con la literatura internacional: *videografía multispectral* y *fotografía digital multispectral de alta resolución*.

Los filtros más usados en video, colocados frente al sistema óptico, se seleccionan con base en las características del terreno y sus propiedades (tabla 1.1):

FILTRO	$\lambda$ (nm)	ANCHO DE BANDA (nm)	TRANSMITANCIA (%)
Azul	452	110	70
Verde	550	100	66
Rojo	655	150	56

Tabla 1.1 Filtros de interferencia más utilizados.

Otros filtros manejados son los del infrarrojo cercano, con centros en los 750 y en los 850 nanómetros. Los filtros rojo, verde y azul han demostrado ser suficientes para la mayoría de las misiones que se han llevado a cabo en la banda visible, sin embargo, para cada misión es necesario realizar pruebas preliminares para determinar cuales son los filtros más adecuados, dependiendo del problema específico que se quiera abordar.

En el caso de la fotografía digital, la separación de bandas ha sido a partir de la imagen en color (rojo, verde y azul). Además de que se cuenta con imágenes infrarrojas de 900 nm hasta 1.1 micras.

## 1.2 NECESIDAD DE COMPENSACIÓN DURANTE EL VUELO.

El principal uso que tiene la fotografía aérea y uno de los propósitos de esta tesis es el lograr un sistema completo para realizar fotogrametría, a un menor costo e innovando con el desarrollo de un sistema basado en la utilización de cámaras y video digital, para lo cual es necesario lograr que las fotografías se obtengan lo más

verticalmente posible. Durante la toma de las imágenes existen fuerzas y factores que desvían el apuntamiento fuera de la vertical y es difícil que la aeronave pueda ser conducida sin alguna desviación en alguno de sus ejes.

### Fuerzas perturbadoras.

Uno de los principales problemas que se tiene al llevar a cabo la adquisición de imágenes aéreas, son las perturbaciones que sufre la aeronave durante el vuelo, dichas perturbaciones se presentan debido a diferentes factores como pueden ser: la turbulencia, los vientos laterales, o simplemente debido a errores humanos durante el vuelo. De la compensación de estas fuerzas se ocupa la plataforma, ya que cuenta con movimientos independientes de la nave.

Las perturbaciones afectan a la aeronave en los tres ejes de referencia, sin embargo, la experiencia en la adquisición de imágenes demuestra que el movimiento que se presenta de forma más frecuente es el de guiñada (sobre el eje Z), esto debido a que durante el vuelo se presentan vientos que chocan de forma lateral contra la aeronave, lo cual provoca los efectos de deriva y giro sobre el eje mencionado (figura 1.4).

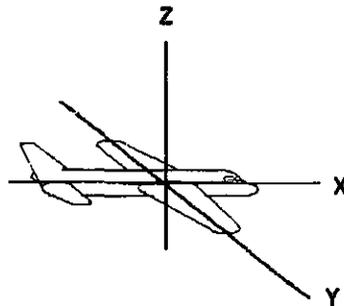


Figura 1.4. Ejes de referencia de una aeronave.

Este error puede ser corregido haciendo girar la cámara durante el vuelo manualmente, pero esto en algunos casos no es posible lograrlo, además de que no garantiza que la cámara tenga la posición correcta. Obviamente los movimientos de rotación (sobre el eje X) y de cabeceo (sobre el eje Y) modifican el ángulo de apuntamiento de las cámaras, causando a su vez, que las imágenes presenten deformaciones con respecto a la vertical (imágenes oblicuas, que no son útiles para hacer mediciones).

La desviación máxima permitida de un equipo de adquisición de imágenes para lograr tomas útiles, es de 3 grados (figura 1.5 [6]), aunque esto también depende de la altura de vuelo y de la cobertura y traslape necesarios en una misión específica.

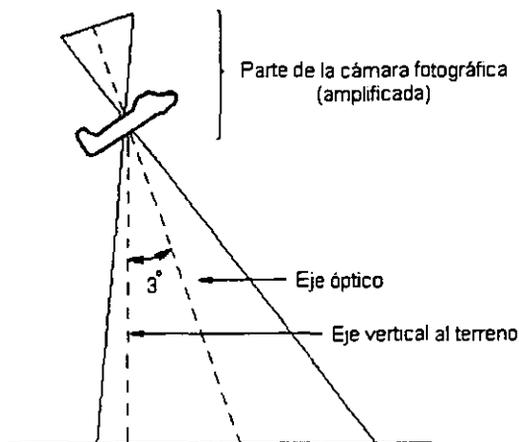


Figura 1.5. Esquema de la fotografía aérea con inclinación no mayor que 3 grados.

### 1.2.1 Plataformas Estabilizadas.

En esta sección, se hace una breve reseña de los dos tipos principales de plataformas que se han desarrollado para propósitos de estabilización en muy diversas aplicaciones. La plataforma analítica es la que se utilizará en este sistema por ser la más sencilla, de menor peso y costo.

La utilización de plataformas estabilizadas, del tipo de anillos basculantes, hace su aparición como una tecnología ya madura en los años cuarenta. Este tipo de plataformas eran compatibles con aeronaves de gran tamaño, como bombarderos, misiles balísticos, submarinos, barcos y vehículos terrestres. Fueron varios los factores que causaron que este tipo de plataformas basculantes cayeran en desuso, para la mayoría de las aplicaciones:

- Su complejidad mecánica y su bajo desempeño inherente, debido al mantenimiento tan grande que era necesario proporcionarle, para asegurar que su operación fuera confiable en todo momento.
- La necesidad de una plataforma mucho más pequeña en virtud del espacio reducido en aviones militares, misiles y aeronaves piloteadas de manera remota.
- El gran éxito en el desarrollo de nuevas generaciones de sensores ópticos e inerciales, parte fundamental en la realización del concepto largamente esperado de la plataforma analítica.

- El progreso dramático y revolucionario de minicomputadoras cada vez más poderosas, las cuales proveen los medios para llevar a cabo cálculos precisos en tiempo real, de las relaciones matemáticas en la llamada plataforma analítica.

### 1.2.1.1 Plataforma Basculante.

La plataforma estabilizada inercialmente en tres ejes, provee un sistema de referencia inercial a bordo, siendo esto la base para la navegación inercial. Esto es una implementación directa de la segunda ley de Newton. Este tipo de plataformas, utilizan giróscopos colocados de manera ortogonal para mantener a la tercia de sensores de fuerza específica (acelerómetros) en una posición fija dentro del sistema de referencia, montados en la misma plataforma. De esta manera, la tercia de acelerómetros, mide los componentes Cartesianos del vector de aceleración del vehículo, con respecto al espacio inercial. Por medio de los acelerómetros montados en la plataforma, e.g.,  $A_x$ , se lleva a cabo la nivelación local, la cual es continuamente monitoreada por los giróscopos, pero éstos no realizan ninguna medición en la plataforma inercial, únicamente tratarán de mantener alineada a la plataforma en el espacio inercial. Al mismo tiempo, el sistema determina la componente de velocidad inercial instantánea y la distancia recorrida.

Una vista esquemática en isométrico de una plataforma estabilizada en tres ejes, se muestra en la figura 1.6 [1]. Aquí es posible apreciar la ubicación de los acelerómetros y los giróscopos. Los marcos basculantes externo ( $G_0$ ) e interno ( $G_1$ ) son fácilmente identificables, al igual que su sistema de sensado y sus servomotores que proporcionan un par para superar la fuerza de fricción en los rodamientos. Entre la plataforma estabilizada y el cuerpo de la aeronave debe de existir un aislamiento mecánico.

- $A_x, A_y, A_z$  – Acelerómetros
- $g_x, g_y, g_z$  – Giróscopos
- $P_\phi, P_\theta, P_\psi$  – Transductores
- $x, y, z$  – Ejes de la plataf.
- SA – Ejes de giro
- IA – Ejes de entrada
- OA – Ejes de salida
- $G_0$  – Marco externo
- $G_1$  – Marco interno

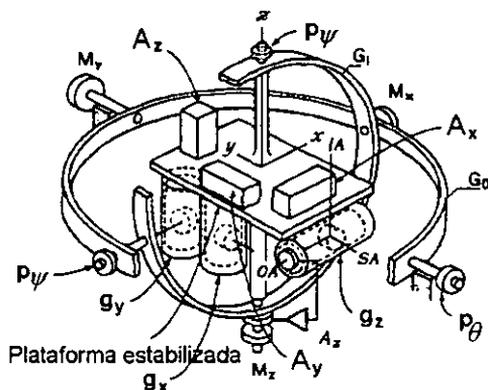


Figura 1.6 Vista en perspectiva de una plataforma con anillos pivoteados en tres ejes.

### 1.2.1.2 Mecanización sujeta al vehículo o *strapdown*.

Estos sistemas sustituyen a los marcos basculantes con una computadora, la cual simula su presencia electrónicamente y de esta forma se reemplazan mecanismos con electrónica. En contraste con la plataforma basculante, la cual aísla a los sensores inerciales de los movimientos rotacionales del vehículo; en la mecanización sujeta a la nave, los seis sensores inerciales están rígidamente sujetos al cuerpo del vehículo. De esta manera, todas las mediciones inerciales se llevan a cabo con respecto a un sistema de ejes fijo al cuerpo del vehículo y no con respecto a un sistema inercial, como en la plataforma basculante. La terna de acelerómetros

$a_b = [a_{x_b}, a_{y_b}, a_{z_b}]^T$  debe ser transformada a un sistema de ejes de referencia geográfico o espacial. Esto puede efectuarse mediante un algoritmo computacional, que lleve a cabo la transformación de Euler. Los ángulos de Euler pueden ser calculados a partir del algoritmo, de nueve parámetros, de los cosenos directores. Se reconoce fácilmente que este proceso de transformación es el equivalente analítico de la plataforma mecánica de anillos basculantes o pivoteados. Es por ello que a esta metodología se le conoce como *plataforma analítica* (figura 1.7 [1]).

En contra de la simplicidad mecánica de este método, es necesario enfrentar los siguientes retos:

- Los estrictos requisitos que deben cubrir los giróscopos, ahora expuestos a variaciones en la orientación del vehículo, los cuales deben ser dos órdenes de magnitud superiores a los utilizados en plataformas mecánicas basculantes; no obstante, deben mantener la misma estabilidad y resolución. Esto implica un rango dinámico de  $10^8$  para un sistema de navegación inercial de la clase de 1 milla náutica/hora.
- Los sensores ya no se encuentran protegidos contra las vibraciones de la nave, como era el caso en la montura anti-vibratoria de la plataforma mecánica basculante. Esto impone severas especificaciones en lo que respecta a la robustez de los componentes inerciales, lo que a su vez motiva hacia la búsqueda de nuevas iniciativas de diseño.
- Este concepto impone también requisitos muy estrictos al algoritmo de control digital, el cual debe proveer a la plataforma una orientación con una precisión del orden de un microradián durante varias horas.

Después de la revisión de las características principales sobre los dos tipos básicos de plataformas, es más o menos simple llegar a la conclusión que la plataforma de tipo sujeta al vehículo es la más conveniente para ser desarrollada.

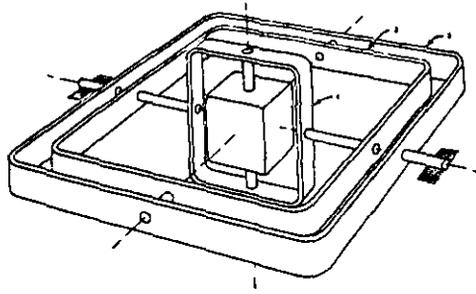


Figura 1.7 Forma general de una plataforma analítica.

### 1.2.2 Corrección Geométrica.

Una vez realizada la toma de imágenes se procede a su análisis. El procesamiento de imágenes se realiza fundamentalmente para corregir errores de grabación, distorsiones geométricas, combinar imágenes, resaltar características, sintetizar pares de imágenes para facilitar el estudio del relieve y clasificación de patrones (figura 1.8 [25]).

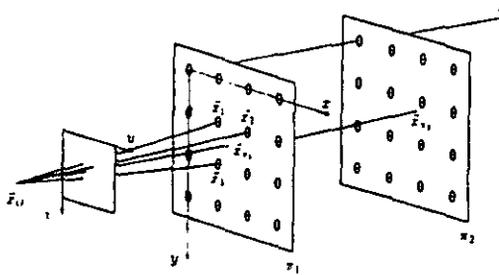


Figura 1.8 Proceso de corrección geométrica.

Durante la obtención de las imágenes, uno de los principales problemas que se enfrenta es el de la distorsión geométrica que se presenta por la distancia variable entre la superficie y el ángulo de toma, causadas por irregularidades del vuelo (alabeo, cabeceo, guiñada) que no son lineales y que sin embargo, se pueden corregir si se conocen los cambios ocurridos durante la toma. Con las coordenadas del centro de toma y el vector de apuntamiento es posible crear mosaicos de la zona específica y además corregir y ajustar la escala al unir las imágenes.

Para obtener los datos de la deriva de la plataforma portacámaras, ésta ha sido instrumentada con diferentes sensores para obtener información de la inclinación, la aceleración, la dirección de vuelo, la posición (X, Y, Z) y el tiempo. Todos estos parámetros son adquiridos durante el vuelo y almacenados, para posteriormente corregir geoméricamente las imágenes.

### 1.2.3 Formación de Mosaicos.

Un mosaico aerofotográfico es el arreglo de las fotografías aéreas que cubren una región, ajustadas o no a una escala uniforme, recortadas y ensambladas ordenadamente, para dar la impresión de un todo continuo del área que se trate. Posteriormente, puede dividirse en hojas de trabajo para su mejor manejo. Los diversos tipos de mosaicos dependen básicamente del control cartográfico o apoyo de algún otro tipo que se emplee al elaborarlos; de acuerdo con esto, se consideran tres tipos de mosaicos:

- (1) Mosaicos no controlados .
- (2) Mosaicos semicontrolados y controlados.
- (3) Mosaicos ortofotográficos.



*Figura 1.9 Mosaico a color no controlado de Pijijiapan, Chiapas, México. Formado a partir de imágenes digitales.*

### **Mosaicos no Controlados**

Consisten de la integración directa de las fotografías aéreas, basadas exclusivamente en sus sobreposiciones laterales y longitudinales, las cuales estarán recortadas y colocadas en la posición relativa en que fueron tomadas durante el vuelo (figura 1.9).

### **Mosaicos Semicontrolados**

Son aquellos en cuya construcción se emplea algún elemento gráfico para fijar, en forma aproximada, la posición de los accidentes principales existentes en el área (ríos, caminos o poblaciones).

### **Mosaicos Controlados**

Para la construcción de estos mosaicos se emplea un control gráfico, topográfico o fotográfico, para fijar exactamente la posición de los principales accidentes de un área, puede considerarse que en los mosaicos controlados la escala horizontal es precisa.

### **Mosaicos Ortofotográficos**

Son mosaicos elaborados mediante equipo ópto-mecánico, o comúnmente electrónico que compensa analíticamente las diferentes fuentes de error normales en las fotografías aéreas, integrando así materiales de un alto grado de precisión cuyo uso sustituye, en algunas cosas con ventaja, a los mapas elaborados por medios sólo fotogramétricos o topográficos.

## **1.3 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.**

El sistema de Posicionamiento global (GPS, Global Positioning System) es un método de posicionamiento y navegación por tierra, mar y aire; basado en la interpretación de señales emitidas por un grupo de satélites y recibidas por receptores en el espacio aéreo y sobre la Tierra. El GPS no es el primer sistema de radio navegación, ni tampoco es el primero que tenga cobertura mundial como sistema de navegación basado en satélites; sin embargo, fue creado con base en uno de los sistemas existentes adicionándole mejoras importantes.

El sistema GPS consta de tres segmentos: el segmento del espacio, el de control y el del usuario. El segmento del espacio es un grupo de 24 satélites que componen el sistema GPS, 21 de los cuales están en operación y 3 están de reserva. Los satélites

operan en órbitas circulares a 20,200 kilómetros sobre la Tierra, y están ordenados en seis planos orbitales, separados 55 grados entre sí. Los satélites tienen un periodo orbital de 12 horas, aproximadamente. Su disposición asegura que en cualquier tiempo al menos 5 satélites estarán a la vista por el usuario en cualquier lugar del Mundo. Un mínimo de cuatro satélites se requieren para el posicionamiento de precisión.

El Sistema GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares, que sustituyeran al antiguo sistema, el cual estaba basado en las mediciones Doppler sobre la constelación **Transit**. Para ello, aprovecharon las condiciones de la propagación de las ondas de radio de la banda L en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pudiera incluir la información necesaria que permita posicionar un objeto en el sistema de referencia apropiado.

Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible el sistema que resolvería la incógnita de nuestra posición en la Tierra.

El GPS proporciona la siguiente información:

- \* Mensajes de navegación.
- \* Efemérides radiodifundidas por los satélites.
- \* Datos meteorológicos.
- \* Almanaque del estado de los satélites.
- \* Archivo de observación.

Estos datos pueden ser almacenados en una PC para ser tratados con un programa de post-proceso, o bien tratados *in situ* y así obtener los resultados en tiempo real.

El usuario debe saber que los datos citados anteriormente pueden ser transformados a un formato estándar independiente en modo ASCII y ser tratados por cualquier programa de proceso de datos de GPS.

En la actualidad este sistema es crucial para nuestros levantamientos, ya que toda la misión está basada en la utilización de un receptor de este tipo, como se explica posteriormente.

#### **1.4 MONITOREO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.**

Aunado al problema del apuntamiento, también se cuenta con el inconveniente de no contar con un sistema de monitoreo que permita determinar si la adquisición de

imágenes se está realizando de manera adecuada, es decir, si se están grabando correctamente las imágenes, o si se está recorriendo la zona sobre la línea de vuelo o existe alguna deriva. Recordemos además que las cámaras se encuentran bajo condiciones ambientales bastante severas, como son: baja presión atmosférica, temperaturas aproximadas de hasta 10 °C bajo cero y diferentes modos de vibración, lo que también se considera un problema grave.

El sistema aquí presentado permite monitorear los diferentes parámetros que intervienen tanto en el apuntamiento de la plataforma, como en la determinación en tiempo real de la posición geográfica de la aeronave y la supervisión del conjunto de cámaras durante el vuelo. Este sistema da la oportunidad de hacer la planeación del vuelo, establecer las trayectorias, altura de vuelo, cobertura de las imágenes y demás parámetros que intervienen en la campaña.

#### **1.4.1 Aumento de imágenes útiles.**

Al utilizar plataformas autoestabilizadas y contar con un sistema que nos permita llevar a cabo la planeación y el monitoreo durante los levantamientos aéreos estaremos aumentando la cantidad de imágenes útiles en cada campaña. Es necesario también evitar errores humanos, lo cual es posible desde la planeación de cada levantamiento, proporcionando la posibilidad de que la misma computadora realice los cálculos tediosos para cada caso.

Otra de las necesidades más importantes, es la de proporcionar al operador del equipo de adquisición de imágenes, la posibilidad de visualizar en la pantalla de una computadora durante el vuelo, su posición, velocidad, altura y dirección, logrando una mejor navegación sobre las líneas y evitando la carencia o la repetición de alguna de ellas al darnos la posibilidad de monitorear que la aeronave no se salga del rumbo deseado. También se conoce en todo momento cual es el avance del trabajo en general y se puede replantear una mejor forma de cubrir en su totalidad las líneas, teniendo en cuenta la necesidad de combustible para la aeronave. Todo esto redundará en una mejor planeación de la campaña y, por tanto, en una disminución enorme en gastos.

Como ya se ha mencionado, la realización de mosaicos de imágenes tiene una gran variedad de aplicaciones, el llevar a cabo la corrección de imágenes la formación de los propios mosaicos es una tarea muy difícil y tardada, una vez obtenidas las imágenes; con este sistema se pretende proporcionar los elementos necesarios para llevar a cabo esta labor de una forma más rápida y si es posible de manera semiautomática, lo que impactará de una manera positiva en los estudios de percepción remota.

## **1.5 PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS AEROESPACIALES TOLERANTES A FALLAS.**

Es de suma importancia al realizar sistemas aeroespaciales, tomar en cuenta la tolerancia a fallas debido a factores muy diversos como son: la vibración, las aceleraciones, las temperaturas, fallas en la energía, etc. Los diversos factores que pueden provocar una falla en el sistema deben ser tomados en cuenta durante el desarrollo del mismo, es este caso el sistema debe ser capaz de guardar su configuración en archivos que sean fáciles de cargar por el usuario, en caso de que el sistema falle y sea necesario reiniciarlo.

Es importante que el sistema pueda ser restablecido lo más rápidamente posible ofreciendo simplicidad al usuario. Se planteó la necesidad de que al cargar nuevamente el sistema, esto se dé con el menor número de pasos, es decir, tener toda la planeación grabada en archivos los cuales puedan ser cargados de forma sencilla y rápida. También se consideró que todos los datos se fueran guardando al momento de ser adquiridos y que los archivos no quedaran abiertos, evitando la posibilidad de que ante una eventual falla toda la información se perdiera.

En el siguiente capítulo se hacen algunas precisiones sobre la filosofía de programación de este sistema.

# CAPÍTULO 2

## **PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS AEROESPACIALES Y SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.**

En este capítulo se hacen algunas consideraciones sobre la manera en que se deben concebir los sistemas aeroespaciales, desde el punto de vista de su funcionamiento. Es bien sabido que esta clase de sistemas son, la gran mayoría de las veces, muy costosos y una falla en su funcionamiento puede resultar en graves consecuencias. Es por ello que se han implementado algunas estrategias para minimizar las fallas, o en la eventualidad de que éstas ocurran, que no sean catastróficas.

La tolerancia a fallas, es un mecanismo ideado para mejorar la fiabilidad de los sistemas. Es un aspecto muy importante del diseño ya que su finalidad es lograr que el usuario pueda continuar con el trabajo a pesar de alguna falla. Es de suma importancia al realizar sistemas aeroespaciales tomar en cuenta factores tan importantes como son: la vibración, la aceleración, los gradientes de temperatura y la baja presión atmosférica.

Todos aquellos puntos del sistema susceptibles a tener una falla deben estar perfectamente identificados mediante el análisis y las pruebas exhaustivas realizadas en tierra (puntos singulares de falla) y debe evaluarse la posibilidad de que el sistema sea capaz de reconfigurarse para continuar su operación, aunque no de la manera originalmente prevista (reconfiguración).

### **2.1 TOLERANCIA A FALLAS Y RECONFIGURACIÓN EN SISTEMAS AEROESPACIALES.**

La tolerancia a fallas (TF) es un concepto con el que convivimos diariamente. En la naturaleza existen muchos ejemplos de la tolerancia a faltas; en el cuerpo humano tenemos dos pulmones, dos riñones y en sistemas como en las redes de neuronas del cerebro, se tiene una redundancia mayor. Esto quiere decir que dependiendo del tipo y la importancia de las funciones, el nivel y la forma de redundancia varían. Un ejemplo típico de tolerancia a faltas es la llanta de refacción del automóvil; en caso de una pinchadura es necesario detener la marcha a fin de sustituir la llanta

ponchada, en otras palabras, se suspende el viaje. Existen casos en los que no se permite la suspensión del servicio o trabajo, que en este caso particular es la toma de la fotografía aérea, resulta muy costoso el hacer descender la aeronave, es por ello que en este caso se tomaron las medidas necesarias para garantizar en la medida de lo posible, la continuidad del trabajo.

***Se considera que un sistema es tolerante a fallas cuando tiene la capacidad de autodiagnosticarse, detectar y aislar la falla, y finalmente, reconfigurarse para continuar en funcionamiento.***

### **Concepto de fiabilidad.**

Se considera que un sistema se encuentra en operación, cuando entrega el servicio de acuerdo con lo especificado. Una falla es una condición anormal dentro del sistema que puede generar un error en su estado, desviándose el servicio de lo especificado [Laprie, J. C., 1995].

### **Sistemas redundantes.**

Debido a que la redundancia implica un incremento en el costo del sistema o equipo, la primera pregunta que surge es la siguiente: ¿es necesaria, o cuántos elementos redundantes son los adecuados?. Por tanto, es necesario establecer una medida de la fiabilidad con la que se debe trabajar. Las medidas comunes son la confiabilidad y la disponibilidad; la primera es la probabilidad de que el sistema opere correctamente durante un periodo T, mientras que la segunda es la probabilidad de que el sistema esté operativo en un instante t [Frankel, E. G., 1988].

### **Diseño de los sistemas TF.**

Para el diseño de los sistemas TF se consideran dos etapas fundamentales: el modelado y la definición de las fases de la TF. En la primera se especifican los requerimientos de fiabilidad, se definen los componentes del sistema y su interconexión (arquitectura) y en la segunda etapa se especifica de manera detallada la forma de implantar las cuatro fases de la TF [Anderson, T., et al., 1981].

Definir el nivel de redundancia es un proceso iterativo [Frankel, E. G., 1988]. Para ello se establece una configuración inicial donde a determinados componentes se les define cierto nivel de redundancia. Asociado con esta configuración se utiliza, para cada componente, una tasa de riesgo constante para que falle  $\lambda$  (que es el inverso del tiempo promedio entre fallas, TPEF) y una tasa de éxito de reparación también constante  $m$  (que es el inverso del tiempo promedio de reparación de la falla, TPRF), en el cual se definen estados de operación del sistema y sus posibles transiciones en función de los estados operativos de cada uno de sus componentes. Con este modelo se evalúa la confiabilidad o disponibilidad para el periodo considerado y se

verifica que cumpla con lo requerido; en caso contrario se modifican los niveles de redundancia (e incluso la configuración) y se repite el proceso.

## **Fases de la TF.**

Se consideran cuatro fases de implantación de la tolerancia a fallas [Anderson, T., et al., 1981]: detección de errores, evaluación y confinamiento del daño, recuperación del estado del proceso y continuación del servicio.

La detección de errores más común en los sistemas basados en procesadores, es la comparación de resultados. Cuando ocurre una discrepancia se procede a ejecutar diagnósticos para determinar el elemento dañado, o en ciertos casos se somete a "votación". Cuando ocurren fallas que causan el fin de la operación, los mecanismos de temporización (watch dog) son muy utilizados. Los diagnósticos en línea también lo son; sin embargo, algunas veces resultan contraproducentes debido a que pueden poner en riesgo la operación de las tareas en ejecución, al contender por los mismos recursos. Un aspecto importante en el diseño del esquema TF, es la detección de errores, que es la definición del tipo de errores y fallas que el sistema será capaz de detectar. No se debe esperar que el sistema se recupere de una falla que no haya sido considerada en el diseño.

La evaluación y confinamiento del daño se puede realizar a diferentes niveles, de acuerdo con la configuración; sin embargo, generalmente se tiende a considerar que todo el módulo ha fallado una vez que se detecta un error.

Para poder seguir con las funciones después de una falla, es necesario restablecer el sistema en un estado donde no exista error. Existen varias técnicas para esto, dependiendo del nivel de redundancia y la forma de coordinación entre los elementos. En general, la operación de los elementos redundantes puede clasificarse en asíncrona y síncrona, dependiendo de cómo se ejecutan las funciones en dichos elementos, como es el caso para los sistemas de votación, o de si el elemento primario envía al sistema a uno de los estados de respaldo de manera periódica, "puntos de respaldo" (check points) respectivamente.

## **Detección de errores en nuestro sistema**

Se incorporaron dos tipos de mecanismos para la detección de errores: diagnósticos en tiempo real de ciertos elementos, y temporizadores. Enviando mensajes al usuario de la falla evidente del sistema y asegurándose de que la información hasta antes de la falla quede guardada y no sea reemplazada o borrada,

En particular, el diagnóstico en tiempo real fue: a la salida de disparo de la cámara, al controlar la cámara a través del puerto paralelo, detectar el momento de disparo y mostrar el resultado en pantalla incrementando el contador de disparos, con ello se

tiene la certeza de que el dispositivo está en funcionamiento o en que momento se deja de usar.

En lo que respecta a los temporizadores, se revisó periódicamente la adecuada recepción de los datos del GPS a través del puerto serial, dicha revisión se da cada 2 segundos, y en caso de que se detecte un error en los datos, en ese momento se envía un mensaje al usuario. Este elemento del sistema es fundamental, ya que las imágenes sin los datos geográficos de su captura, son inútiles; bajo esta situación, el programa entra en una pausa, la cual permite al usuario buscar las causas de la falla, que en este caso se pueden deber a:

- Falla en el cable o sus conexiones a la antena o al propio GPS.
- Mal funcionamiento (no se tienen suficientes satélites captados, o falla de la batería).

Con la pausa en el programa se puede evaluar la falla y tomar la decisión más adecuada. Esto permite seguir operando el equipo después de que la nave de un giro de 360° para retomar la línea de vuelo.

### **Recuperación del estado y continuación del servicio.**

Es importante que el sistema pueda ser restablecido lo más rápidamente posible, cargando nuevamente el sistema con el menor número de pasos, es decir, tener toda la configuración y los pasos a seguir grabados en archivos, que puedan ser cargados de forma sencilla y rápida.

Una característica del sistema es que el usuario puede considerar tres modos de operación: manual, semiautomática y automática. Dada la necesidad de que el usuario tenga un total control del sistema y de evitar una falla irreparable.

**Automático:** En este modo de operación la computadora se encarga de calcular de acuerdo a la velocidad y la altura, el momento de disparo de la cámara, en este caso el usuario solo debe decidir el momento en que se comenzarán a adquirir las imágenes.

**Semiautomático:** Al encontrarse el usuario con que los cambios en la altura del terreno son demasiados bruscos, que la altura de vuelo no se alcanza, o que hay un cambio inesperado de planes por cuestiones climáticas o de tráfico aéreo, en ese momento toma la decisión de controlar de manera independiente el intervalo de disparo para seguir cumpliendo básicamente con la cobertura y sobreposición necesarias. La computadora almacena los datos de posición de cada imagen y sigue dando el servicio de visualización general y a detalle de la posición y avance del trabajo.

**Manual:** Este modo de operación es necesario en este sistema en el momento en que una falla grave ocurriera, como por ejemplo, la falla total de la computadora. Se

tiene la opción de operar la cámara con un intervalómetro independiente, y almacenar los datos de posición en la propia memoria del GPS, aunque los datos no van a quedar sincronizados con la obtención de la imagen, es posible después con un programa realizado para esta aplicación (programa "tiempo") determinar los datos asociados a cada imagen.

Finalmente, durante la ejecución del programa se cuidó el aspecto de la sincronización de los procesos que se llevan a cabo durante la adquisición de imágenes, se trató de evitar que dichos procesos no se traten de realizar en un mismo momento o en un instante crítico (como es la escritura de datos en archivos), dando prioridad a procesos importantes (recepción y almacenamiento de datos, y control de disparo de la cámara), realizando los menos importantes en momentos en donde la máquina no se encuentra efectuando cálculos complicados o tardados (como en la graficación o la transformación de coordenadas).

En este sistema se aplicaron los fundamentos de un sistema tolerante a fallas, aunque es necesario llevar a cabo las estadísticas de fallas de los elementos, para determinar los tiempos promedio de falla durante los levantamientos, sin embargo, se considera que los principios aplicados nos permitieron disminuir los errores durante la operación del sistema y con la experiencia de muchas horas de vuelo; se corrigieron algunos otros, lo que ha redundado en un sistema más confiable.

## **2.2 PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS AEROESPACIALES**

La necesidad de contar con un buen nivel de confiabilidad en la totalidad del sistema, es importante para el usuario, y dentro de los sistemas aeroespaciales esto es vital, como se ha mencionado. Durante el desarrollo de esta tesis esto se tomó muy en cuenta, ya que los costos de una falla durante un levantamiento aerofotográfico son elevados y uno de los objetivos primordiales del desarrollo de nuestro sistema es el disminuir lo más posible todo gasto no primordial.

Un aspecto muy importante es la adecuada selección del lenguaje de programación que será utilizado, tomando en cuenta sus diversas características. En la siguiente sección se presentan las diferentes opciones que fueron consideradas y se describe cual fue el lenguaje seleccionado y por qué.

## **2.3 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN [24]**

Se tomaron en cuenta los más apropiados para nuestra aplicación y se evaluaron sus ventajas y desventajas, para tener un punto de comparación, al momento de la realización de esta tesis, dicha comparación nos dio una visión más clara de que tipo

de lenguajes de programación son adecuados para las distintas ramas en las que la ingeniería esta involucrada, y que en cada caso, es necesario evaluar cual es el lenguaje y compilador que cumple con los requisitos que impone la aplicación y obtener los mejores resultados en un tiempo más corto, además de tomar en cuenta los tiempos de práctica y aprendizaje y considerar la disponibilidad de compiladores y editores de cada lenguaje.

En la actualidad existen numerosas opciones de programación, y los que a nuestra consideración son los más apropiados: Cobol, Pascal, C, C++, Visual C, Visual C++, Visual Basic, Delphi, Java, Applets en Java y Java Script.

A continuación se hace mención de sus características principales:

### **2.3.1. Lenguaje C**

El lenguaje C permite realizar programación intermedia entre los lenguajes ensambladores y los de alto nivel; con gran poderío basado en sus operaciones a nivel de bits (propias de ensambladores) y la mayoría de los elementos de la programación estructurada de los lenguajes de alto nivel, por lo que resulta ser el lenguaje preferido para el desarrollo de diversos sistemas y aplicaciones profesionales. Otra característica que C comparte con otros lenguajes de alto nivel, es la posibilidad crear nuevos tipos de datos a partir de los ya existentes. Además de que C heredó capacidades del lenguaje ensamblador, como la manipulación directa de mapas de bits, apuntadores y otros. Es por este motivo que C está particularmente bien adaptado a la programación de sistemas.

Este lenguaje no implementa ningún tipo de comprobación de errores al tiempo de la ejecución; el compilador asume que aquello que se le pide, aunque parezca extraño, procede de un programador experimentado, que sabe exactamente lo que quiere; esto implica que ciertas tareas, que en otros lenguajes de más alto nivel son largas, se puedan realizar rápidamente en C; pero también que ciertos errores comunes que son localizados en otros lenguajes al tiempo de compilar, pueden quedar ocultos durante mucho tiempo al programar en C. Por otra parte, su manejo de gráficos es pobre y automáticamente implica el descarte de este lenguaje.

### **2.3.2. Lenguaje COBOL**

COBOL hasta hace algunos años era el lenguaje de programación más utilizado en todo el mundo gracias a su gran capacidad para manejar grandes archivos de datos con facilidad y potencia.

Por supuesto que hoy en día hay mejores lenguajes, pero COBOL sigue siendo un lenguaje estable, seguro, potente, fiable, rápido y sobre todo independiente de la plataforma. Solo con tener un "runtime" para UNIX y otro para MS-DOS, Windows, etc., el mismo programa objeto funciona perfectamente (hay algunos defectos por la tabla de caracteres ASCII). COBOL es un lenguaje compilado, es decir, existe el código fuente escrito con cualquier editor de textos y el código objeto (compilado) dispuesto para su ejecución con su correspondiente "runtime".

COBOL no se concibió para cálculos complejos matemáticos o científicos, de hecho solo dispone de comandos para realizar los cálculos más elementales, suma, resta, multiplicación y división, su empleo es apropiado para el proceso de datos en aplicaciones comerciales, utilización de grandes cantidades de datos y obtención de resultados ya sea por pantalla o impresos.

Con la llegada del sistema operativo Windows, son muchos los que intentan proveer al COBOL de esa interface gráfica, Objective Cobol, Visual Object Cobol de Microfocus, Fujitsu PowerCobol, Acucobol-GT, Vanguis y Cobol-WOW de Liant (RM), etc., que están consiguiendo que este lenguaje siga presente en el mercado actual. Y son muchos usuarios los que siguen dependiendo del Cobol-85 para el desarrollo de sistemas.

### **2.3.3. Lenguaje Delphi**

Delphi tiene la facilidad de la programación visual de las herramientas tipo RAD (Rapid Application Development) de que carece C++. Delphi se puede ejecutar con cualquier tipo de Windows disponible.

Delphi es algo más que el sucesor del famoso Pascal 7.0 de Borland. Dispone no sólo de un compilador muy rápido (más que la gran mayoría de los compiladores de C++, como ya era tradicional en Turbo Pascal), sino también de potentes herramientas para la creación visual y manejo de bases de datos, aplicaciones multimedia, enlace DDE, OLE, creación de DLLs, VBX, etc. Es una herramienta de desarrollo de programas que permite la creación de aplicaciones para Windows 3.x, Windows95 y Windows NT. Las aplicaciones pueden colocarse de forma muy sencilla en la pantalla según el principio de módulos. Para ello se dispone de una paleta dotada de una gran variedad de componentes, algo así como los bloques de construcción de cada programa. Esta paleta es denominada por Borland VCL (Visual Component Library), o biblioteca de componentes visuales. Tiene un aspecto similar a Visual Basic,

Delphi no solo dispone de componentes para la creación sencilla de entornos de aplicaciones como cuadros de lista, conmutadores o cuadros de diálogo terminados, sino que cubre con sus componentes muchos temas de la programación bajo Windows: se incluye entre los mismos un centro de control para la creación de

aplicaciones multimedia, así como componentes que actúan "debajo" del entorno, como tipos de listado muy variados y contenedores generales de datos. Uno de los aspectos más destacados lo constituyen los componentes que Borland ha incluido en Delphi para el desarrollo de aplicaciones completas de bases de datos.

Delphi dispone del Object Pascal, un lenguaje de programación que está a la altura del C++ y que incluso lo supera en algunos aspectos. Este lenguaje surge a partir del desarrollo del Borland Pascal 7.0, un lenguaje importante en la programación de computadoras personales. El Object Pascal es totalmente compatible con el Borland Pascal 7.0. lo que permite que programas desarrollados con este último puedan ser convertidos a Delphi.

#### **2.3.4. Lenguaje Applets en Java**

El funcionamiento del Web está basado en el paradigma cliente/servidor. Un servidor almacena páginas Web en formato html y los clientes las consultan. Los clientes corresponden a programas de navegación en el Web como por ejemplo Netscape, Internet Explorer, etc. Una página Web se transmite del servidor al cliente por medio de la red Internet, en el momento en que el cliente la consulta.

Un applet es un programa escrito en Java que anima una porción de la página Web. Al igual que el resto de los medios audiovisuales, el applet está almacenado en el servidor y se transmite al cliente por medio de Internet. La ventaja de los Applets con respecto a otros medios audiovisuales es que el usuario puede interactuar con un applet, gracias a que se trata de un programa. Un applet puede desplegar texto, imágenes, sonido y realizar animaciones gráficas, pero todo esto bajo el control de un programa que se transmite por la red y que interactúa con el usuario.

Un applet se ejecuta completamente en la máquina del cliente. Esto significa que una vez que fue transmitido, la velocidad de la interacción no depende de la velocidad y latencia de la red. Si es necesario, el applet también se puede comunicar con el servidor. Para que un programa de navegación en el Web pueda ejecutar un applet es necesario que posea un intérprete de Java. Actualmente Netscape, Internet Explorer y Microsoft Explorer cumplen con este requisito.

#### **2.3.5. Java**

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos (OOP) similar al C++, el cual tiene la capacidad de crear aplicaciones que pueden ser colocadas dentro de una página web. Al introducir una aplicación Java en una página Web se le conoce como un "applet". Esos códigos Applets son compilados en el servidor y después son ejecutados con un "browser".

JavaScript es un lenguaje compacto basado en Script (fragmentos de programa) usado para el desarrollo de aplicaciones en Internet.

Java Applet es un programa Java que puede ser incluido dentro de una página html, tal como lo son las imágenes. Usando un "browser" compatible con Java, se puede visualizar la página que contiene un JavaApplet, los códigos applet son transferidos a su sistema y ejecutados por el "browser".

### **2.3.6. JavaScript vs. Java**

Java no es JavaScript, existen grandes diferencias. Las técnicas usadas dentro de Java y JavaScript son diferentes, ya que el segundo es un lenguaje basado en Script y Java es un lenguaje de programación. Los diferentes lenguajes tienen distintos propósitos. JavaScript no supervisa los datos, pero soporta la mayor parte de las expresiones de sintaxis de Java y algunas de sus construcciones de control de flujo básicas.

Los programas Java consisten exclusivamente de clases y sus métodos. Los requerimientos de Java para la declaración de clases, métodos escritos y el tipo de seguridad hacen la programación más compleja en la escritura del JavaScript.

En conclusión, JavaScript descende de una línea pequeña, de un tipo de lenguajes dinámicos como el HyperTalk y dBASE. Estos lenguajes ofrecen herramientas de programación mucho más abiertas por su facilidad en la sintaxis, en su construcción y con requerimientos mínimos para la creación del objeto.

### **2.3.7. Lenguaje Visual Basic**

Es uno de los lenguajes más populares en el mundo. Es un producto con una interfaz gráfica de usuario para crear aplicaciones para Windows basado en el lenguaje Basic, QuickBasic y en la programación orientada a objetos.

VISUAL BASIC está concentrado en dos tipos de objetos: ventanas y controles, para crear una aplicación gráfica se crea la ventana y sobre ella se dibujan: etiquetas, botones, cajas de texto, listas desplegables, temporizadores, marcos, barras de desplazamiento etc., y se escribe el código relacionado a cada uno de estos controles los cuales se activan o desactivan por medio de sucesos. Esto quiere decir que cada objeto está ligado a un código que permanece inactivo hasta que se dé el suceso que lo activa.

VISUAL BASIC provee de herramientas que permiten crear objetos sin escribir código. También incluye un entorno de desarrollo que permite realizar todas las tareas de edición, ejecución y mantenimientos de programas. Hay dos ediciones: estándar, profesional. La versión estándar esta disponible en 32 bits y su utilización es al entorno de Windows. La edición profesional es de 16 y 32 bits y en esta se pueden crear controles personalizados, acceso a bases de datos, generador de informes a partir de bases de datos y compilación de OLE.

Los programas en los lenguajes convencionales se ejecutan de arriba abajo. En los antiguos lenguajes de programación la ejecución comienza en la primera línea y se desplaza con el flujo del programa a distintas partes según se necesite. En Visual Basic el núcleo del programa es un conjunto de diferentes partes de código que son activadas por, y que solamente responde a, los sucesos que se les han indicado que reconozcan.

La mayor parte del código de programación indica el modo de responde a determinados sucesos, como un click del ratón, al realizar un programa crea un documento llamado proyecto, para referirse a la combinación de códigos de programación e interfaz de usuario que hace que sea posible una aplicación en este lenguaje, además se crea un formulario que es la ventana y sobre esta se dibujan los controles, botones, cajas de texto etc., cada proyecto puede tener múltiples formularios los cuales se pueden agregarse según se necesite, es decir, cada proyecto puede tener distintas formas.

### **2.3.8. Lenguaje Pascal**

Lenguaje de alto nivel desarrollado a principios de los años 70 por Nyklaus Wirth, en la Universidad Técnica de Zurich, Suiza; para enseñar programación estructurada. El nombre fue elegido en honor de Blaise Pascal (1623-1662), un brillante científico y matemático francés. En este lenguaje, que es muy similar en su ambiente de programación al C o turbo C, se tienen las mismas desventajas que en éstos, además de que no presenta un ambiente de despliegue gráfico, como lo tienen los lenguajes visuales, sin embargo, sigue siendo una herramienta poderosa y muy utilizada aún en la actualidad.

## **2.4 SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN**

Cada lenguaje suele ser más poderoso que otro, dependiendo de la utilización que se le dé y de las necesidades específicas, sin embargo, esto es muy relativo, debido al tipo de clasificación que cada programador haga de él, es decir, por su complejidad, por su disponibilidad, su versatilidad, etc. Así hay lenguajes poderosos

en el área del manejo de registros y direcciones de memoria, ya sea directamente o por medio de apuntadores, en bases de datos, manipulaciones directas de bytes, para realizar operaciones aritméticas, para programar creativamente paginas Web, etc.

El desarrollo del programa para el Despliegue y Almacenamiento de datos de Imágenes Aéreas, exige el manejo de una gran diversidad de gráficos, ya sea en la parte de la presentación donde se requiere una gran cantidad de botones para realizar alguna acción que facilite la introducción de datos iniciales, dibujos que faciliten el manejo del programa, cajas de texto, círculos, líneas, barras de desplazamiento etc. Además se necesita trabajar con imágenes dinámicas en pantalla, como es el caso del mapa digital de terreno bajo estudio, sobre el cual se va trazando y actualizando en tiempo real, la posición geográfica de la nave, a través del GPS.

Se requiere de menús desplegables de fácil manejo para abrir, cerrar y guardar archivos, un constante monitoreo del ratón para manipulación de controles, así como también la necesidad de hacer divisiones de pantalla para asignar a cada división ciertos atributos y que el lenguaje permita utilizar una sola zona de la pantalla para visualizar distintos tipos de datos, y poder tener dos o más pantallas enlazadas entre sí, y que facilite la interfaz ya sea con otras aplicaciones de Windows o con los puertos por donde constantemente se va a estar recibiendo información (ya sea de algunos sensores o del GPS).

El lenguaje que más se adaptó a todas estas necesidades fue VISUAL BASIC, ya que es un lenguaje de mediano nivel que nos facilita la creación de una gran variedad de aplicaciones de Windows, en breve tiempo, en comparación con otros lenguajes de programación. Como ya se mencionó, nos facilita el manejo de imágenes ya sea dinámicas o estáticas, el diseño y enlace de pantallas, así como la creación de líneas, círculos, menús, cajas de texto, barras de desplazamientos para texto o imágenes, con la capacidad de hacer visible o invisible cada control, lo que permite contar con la ventaja de aprovechar una sola zona de la pantalla para tener distintos datos. En VISUAL BASIC el programador no tiene que preocuparse por lo que está haciendo el ratón, en donde estaba el usuario dentro del menú, si se estaba realizando un click o un doble click en un punto determinado de la pantalla.

Adicionalmente cuenta con un adecuado manejo de puertos, lo cual forma parte de nuestras principales necesidades, así como también la facilidad de programar operaciones aritméticas, los errores de programación son más fáciles de detectar y resolver, lo que no sucede en otros lenguajes de programación. Por estas razones seleccionamos VISUAL BASIC como lenguaje de programación.

# CAPÍTULO 3

## **SISTEMA DE MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.**

La realización del sistema de monitoreo se llevó a cabo con base en las necesidades anteriormente expresadas, y del análisis del sistema de adquisición de imágenes mencionado, tomando siempre en cuenta que deberíamos proveerlo con las mejores posibilidades para lograr su mejor funcionamiento.

El contar con un sistema de monitoreo durante las campañas aerofotográficas, significa tener una herramienta indispensable para lograr un control global de todo el trabajo que se tiene que realizar. Proporciona seguridad a todo aquel que utiliza el sistema; ya que permite tener una visión de las variables más importantes durante el levantamiento como son: la velocidad de la aeronave, el rumbo, la altura sobre el terreno, etc. Nos ayuda a determinar nuestra posición geográfica exacta, en tiempo real, y la grafica sobre un mapa digital del terreno, ya sea en coordenadas geográficas o en UTM (Universal Transversal Mercator). Esto proporciona al piloto y al navegante, una visión real de cómo se va realizando el trabajo, dando la facilidad de corregir la dirección del avión en el momento en que éste se localiza fuera de la línea de vuelo o que se considere que ha sido sobrepasado el intervalo de error que se puede tolerar. Durante la adquisición de imágenes a velocidades que sobrepasan los 300 km/h, es fácil que se pierda el rumbo, pero con la ayuda del monitoreo se disminuye la posibilidad de que se tengan que repetir líneas o partes de las mismas sin necesidad.

El sistema aquí presentado, también nos proporciona apoyo en la planeación previa de los levantamientos, dando una idea precisa, de cual es el área que se desea tomar, cuantas imágenes de obtendrán, etc. Se verifican en mapas adecuados, las alturas del terreno en estudio; para ver si es posible realizar este trabajo con determinado tipo de aeronave, debido a la altura que se necesita para cumplir con los requerimientos de resolución y cubrimiento.

### **3.1 VARIABLES Y DATOS CONSIDERADOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE VUELO. (ALTURA, VELOCIDAD, TRASLAPE, TIEMPO DE DISPARO, ETC.)**

Las variables consideradas durante el vuelo son las siguientes; velocidad, sobreposición longitudinal, sobreposición lateral, resolución de pixel, resolución de

cámara, altura de vuelo, cobertura (Distancia longitudinal, Distancia lateral), y tiempo de disparo de las cámaras. Algunas de estas variables son calculadas en la preparación previa al vuelo (tiempo de planeación), deben ser introducidas al programa para que éste lleve a cabo los cálculos pertinentes y las podemos dividir en dos grupos principales que son:

- Variables proporcionadas por el usuario.
- Variables calculadas.

### **Variables proporcionadas por el usuario.**

Son particulares de cada levantamiento, es decir, tienen necesidades y características bien definidas; como el detalle deseado en cada fotografía y la cámara que se utilizará. Estas variables son: La velocidad de vuelo, las sobreposiciones longitudinal y lateral, la resolución de pixel, la resolución de la cámara y el número de fotos por disco (ya que hay de diferente capacidad).

- $v$  = Velocidad de vuelo.

Esta variable depende principalmente del tipo de aeronave disponible, de sus velocidades mínima y máxima, de la altura máxima alcanzable (techo de operación) y de la velocidad con la cual la cámara pueda guardar las fotografías; ya que muchas veces ésta última es una limitante que no permite llevar a cabo los transectos de una forma más rápida. Esta variable debe ser determinada cuidadosamente por el usuario, pero principalmente dependerá de la velocidad que pueda alcanzar y mantener el avión, la cual es conocida por el piloto.

La sobreposición lateral (Slat), como longitudinal (Slong), se miden en porcentaje. Con ellas se delimita el traslape entre cada una de las fotografías como antes se mencionó.

- $S_{lon}$  = sobreposición longitudinal.

La sobreposición Longitudinal (Slong): Esta variable determina el traslape entre imágenes consecutivas, considerando que cada imagen es rectangular. Como se muestra en la figura 3.1, es el porcentaje de la imagen que deseamos se traslape con la imagen anterior y la subsecuente. La sobreposición del 60% es la más utilizada, y con ella es posible obtener pares estereoscópicos, que permiten lograr el efecto de 3 dimensiones; con lo cual se facilita la identificación de objetos de toda índole, sobre el terreno.

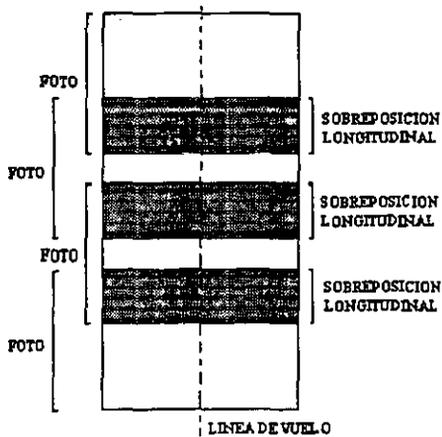


Figura 3.1. Sobreposición longitudinal en las fotografías.

- Slat = sobreposición lateral.

Esta variable delimita el traslape entre imágenes sobre su parte larga, esta sobreposición debe tener un mínimo en porcentaje de 30%, es muy importante porque un menor porcentaje implica que el mosaico no se pueda completar a que queden huecos, con las consecuentes dificultades que implica, como la necesidad de repetir parte del trabajo, aumentando en gran medida los gastos. Aquí se hace particular énfasis en la herramienta grafica del sistema, que permite monitorear en tiempo real evitando errores, o pudiendo solucionarlos en el momento que ocurren.

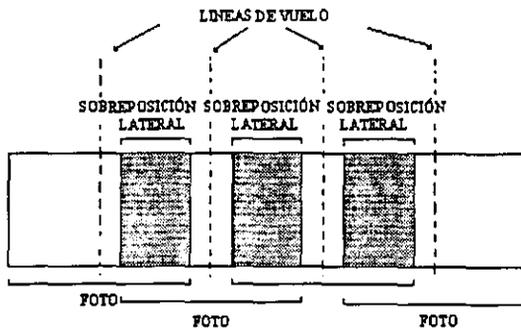


Figura 3.2. Sobreposición lateral en las fotografías.

- $R_t$  = resolución de pixel.

Con esta variable se pretende que el usuario proporcione un estimado de la resolución que se desea obtener en cada imagen, es decir, el detalle necesario en la fotografía de acuerdo al estudio a realizar sobre la zona del levantamiento. Esto nos indica el tamaño de los objetos en el terreno que podemos identificar y en nuestro caso entre los más utilizados se dan entre 0.8m a 1.5m. Entre mayor es esta variable, menor es el detalle que podremos observar de cada imagen.

- RESX = resolución de cámara.

Se refiere al número de píxeles o elementos útiles de imagen que tiene cada una de las líneas del CCD de la cámara. Este dato lo proporciona el fabricante, por supuesto esto es solo en el caso de cámaras digitales, las cámaras utilizadas en la UNAM, son KODAK DCS420 con una resolución de 1524 píxeles y Nikon D1 con 2000 píxeles por línea.

- NF = número de fotos (cantidad de imágenes posibles de almacenar en disco)

Este dato se toma de las especificaciones del fabricante del elemento de almacenamiento de las imágenes, pero también depende de la calidad de imagen que se seleccione en la cámara. Esta variable tiene como principal objetivo el dar un aviso al usuario sobre el número de imágenes adquiridas y el momento oportuno para cambiar el dispositivo de almacenamiento, antes de llegar a su capacidad máxima.

### **Variables Calculadas**

Estas variables son el resultado del procesamiento de varias fórmulas, a partir de los datos proporcionados por el usuario. Es parte de lo que el programa desarrollado intenta automatizar para facilitar la planeación del vuelo y evitar realizar todo esto a mano, o repetir cálculos cada que se cambie alguna variable.

- $H_i$  = Altura de vuelo.

De ella dependerá cual será el área que comprenda la fotografía (cobertura), y de los detalles que sobre el terreno se desee analizar, cuanto más alto se vuele, se captará mayor área de terreno; pero a su vez se pierde detalle. Al tener una altura baja la fotografía captará menor área del terreno pero con una mejor resolución. Este parámetro debe ser calculado conforme a las necesidades de cada levantamiento. Como ya se dijo, la altura de vuelo depende de la cobertura de la cámara, y ésta a su vez de la cobertura de cada lente o distancia focal del mismo. Haciendo una pequeña

prueba, colocando la cámara a 1 m de distancia de una superficie plana y con marcas bien definidas, después se toma una fotografía, se mide la superficie que se ha captado y se observa que para el caso específico del lente que se utiliza y la cobertura de la cámara es de 86 cm por 56 cm; esto nos indica que para una altura cualquiera, el 86% se abarca del terreno a lo largo y un 56% a lo ancho. Si tenemos fija la resolución de la cámara y basados en la cobertura tenemos:

Calculo de Hi:

RESX = resolución de cámara

Rt = resolución de pixel

Hi = (Rt \* RESX) / 0.86 = altura de vuelo

- Dlon= Distancia longitudinal.

Esta variable es calculada a partir de la sobreposición longitudinal (Slon), junto con la altura de vuelo. Además el factor de 56% del ancho de cobertura del lente, nos sirve para obtener la distancia entre fotografías sobre la línea de vuelo (Dlon), es decir, indica la distancia que se debe tener entre cada imagen. Por lo tanto tenemos:

$$Dlon = (Hi * 0.56) * (1 - (slon / 100))$$

- Dlat =Distancia Lateral.

Esta variable nos indica cual es la separación que debe existir entre las líneas de vuelo. Para el cálculo de esta variable intervienen Slat junto con la resolución de pixel y la resolución de la cámara. Esta variable es importante ya que si no trazamos las líneas de vuelo con la distancia correcta, la sobreposición no será alcanzada en nuestras imágenes, con los problemas ya descritos con anterioridad.

Es tan malo no alcanzar la sobreposición, como sobrepasarla, teniendo en cuenta que cada línea adicional representa un mayor tiempo de vuelo y mayor cantidad de imágenes para formar el mosaico.

$$Dlat = (Rt * RESX) * (1 - (Slat / 100))$$

- Ti= Tiempo de disparo

Es el tiempo de disparo de la cámara. Este intervalo depende enteramente de dos variables muy importantes, la distancia entre cada fotografía (Dlon), y de la velocidad del avión, al poder obtener la velocidad en tiempo real, por medio del GPS, y alimentando estos datos directamente a la computadora, se puede automatizar el proceso, haciendo más precisas las tomas.

$$T_i = (D_{lon} / v)$$

En donde  $v$  es la velocidad del avión, y para las primeras tomas nos basamos en la aproximación a la velocidad que desarrolla la aeronave, posteriormente la velocidad se toma en tiempo real, durante el levantamiento, para corregir este parámetro.

### 3.2 NECESIDADES DE DESPLIEGUE VISUAL DE DATOS DE VUELO.

Una de las grandes dificultades en la navegación aérea, es el poder contar con datos precisos de la dirección de la nave, su velocidad, su altura etc., pero sobre todo, la localización y vista general de donde se encuentra en todo momento, siendo esta una necesidad primaria en la realización del sistema de monitoreo. Esto se logra con la utilización de dos elementos, como son el sistema GPS y la computadora. El GPS envía datos precisos cada segundo y la computadora los recibe, ordena y despliega, dando además la facilidad de trabajar con la función: mapa móvil.

¿Qué es la función mapa móvil?

Se trabaja en el modo MAPA MÓVIL, cuando se observa en la pantalla de la computadora un mapa, y en él, en tiempo real, la figura de un coche o un barco, o cualquier móvil, que se desplaza, indicándonos la posición actual en todo momento. Además de saber por donde se transita, se puede ver un registro de donde ya se ha pasado (track), dándonos la certeza de que parte del levantamiento ya se ha realizado.

El programa de la computadora es capaz de dibujar un punto visible en la posición del mapa en la que nos encontremos, ya que el GPS esta enviando información a través de enunciados (sentences) con protocolo NMEA.

#### 3.2.1 Mapa digital del terreno.

El mapa digital del terreno bajo estudio es mostrado en la pantalla principal del programa, en este se muestra la zona que se desea fotografiar, las líneas que debe seguir la aeronave, su posición y la localización del lugar donde se toma cada una de las fotografías.

Diferentes tipos de mapas

Comúnmente se dividen en mapas topográficos y mapas temáticos. Los primeros muestran la distribución y asociación espacial de rasgos naturales o artificiales del paisaje, como las fronteras, las redes de transporte (carreteras, líneas de ferrocarril,

canales, senderos y aeropuertos etc.), los cursos y masas de agua (ríos y lagos), los asentamientos humanos (pueblos y ciudades), la forma y altitud del terreno. En el mapa temático se resalta un atributo en particular, este atributo refleja tanto la geología de una zona como el porcentaje de población escolarizada en un tiempo determinado o el resultado de las últimas elecciones generales, etc.

Una distinción sustancial entre diferentes mapas es la escala. Los mapas temáticos se realizan generalmente a pequeña escala, donde la exactitud en el posicionamiento de los elementos que se representan no es tan importante, como el reflejar correctamente las características estructurales básicas de distribución de dichos elementos en el espacio.

Pero cuando el área de estudio es un espacio más concreto, como el de una ciudad, los mapas suelen tener una escala relativamente grande. Éstos muestran un detalle mayor, reflejando, por ejemplo, el tipo de terreno y las características de los predios. Estos mapas suelen realizarse a escalas entre 1:500 a 1:5,000 y no se necesita generalizar o simplificar la información contenida. El usuario sólo necesita saber el tipo de proyección cartográfica que se ha utilizado.

Por el contrario, los mapas de pequeña escala suelen aparecer con unos niveles elevados de generalización o simplificación. Las carreteras y otros elementos pueden llegar a moverse de sitio para evitar el amontonamiento de información y facilitar la legibilidad del mapa; siempre que los diferentes elementos que lo componen se hallen a la misma distancia entre sí. En los casos más extremos (mapas de escala 1:1,000,000 y más pequeñas) el resultado es, a menudo, que la información cuantitativa que se puede obtener (como, por ejemplo, la distancia entre dos lugares) es muy imprecisa.

En esta tesis se da como una recomendación, el utilizar los mapas topográficos de gran escala, los cuales deben ser lo más actualizado posible, ya que este proporciona una referencia de la ubicación en todo momento.

### **3.2.2 Actualización de la posición sobre el terreno con el GPS.**

En el mapa Móvil se muestra la posición de la aeronave en tiempo real, además de la altura, velocidad y dirección. Utilizando estas variables es posible llevar a cabo una graficación referenciada sobre el mapa móvil, de los diferentes movimientos seguidos por la aeronave, a lo que llamamos: Actualización de Posición Sobre el Terreno.

La actualización de la posición es la parte fundamental de un Mapa Móvil, afortunadamente se cuenta con una herramienta muy utilizada y confiable que es el GPS, con él se logra que la velocidad, la altura, la posición y la dirección sean actualizadas a intervalos de 1 segundo. Estas variables son el resultado de someter toda la información proveniente del GPS a un proceso de selección. La actualización de la posición sobre el terreno se puede realizar debido a que el mapa digital

utilizado se encuentra perfectamente georeferenciado, por esta razón cada coordenada enviada por el GPS se puede graficar sobre el mapa.

### 3.3 INTERFAZ Y PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN CON EL GPS.

Una de las interfaces mas importantes del sistema de adquisición de imágenes es aquella entre el GPS y la computadora, el primero juega la función de un emisor y la segunda, la de un receptor. El medio de comunicación es un cable especial que une al GPS con el puerto serial de la computadora; todo esto a través de un protocolo de comunicación llamado NMEA-0183, el cual es un estándar utilizado por los GPS de la marca GARMIN que usamos. La transmisión de datos se realiza a intervalos de un segundo; tiempo suficiente para sincronizar la computadora y el GPS, tomando en cuenta que la velocidad a la que transmite el GPS 12XL GARMIN, es de 4,800 bauds.

#### 3.3.1 Interfaz GPS- computadora.

La mayoría de los GPS cuentan con una interfaz para PC, no siendo la excepción el GARMIN 12XL. A continuación se da una pequeña explicación sobre la forma en la que interactúa el GPS con la computadora. El GPS GARMIN 12XL, que se muestra en la figura 3.3, se comunica a 4,400 BAUDIOS en paquetes de datos de 8 bits sin paridad y con un bit de paro (stop).



Figura 3.3. GPS Garmin 12XL

El Cable de conexión entre el GPS y la computadora es especial debido a la entrada propia que presenta cada marca de GPS, sin embargo, en todos los modelos que fue posible analizar, el mismo fabricante proporciona información suficiente para poder realizar una conexión a la computadora.

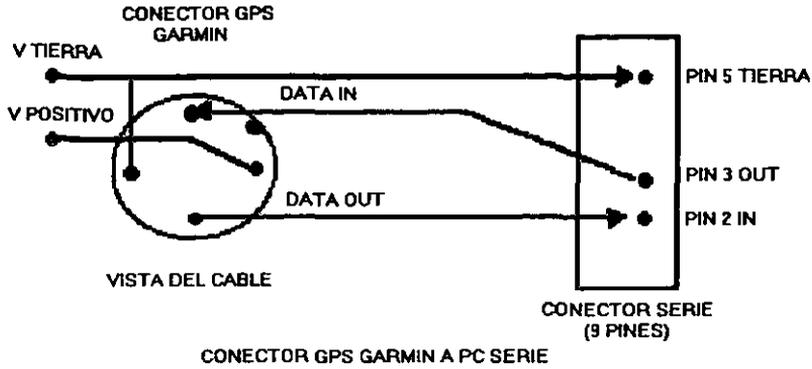
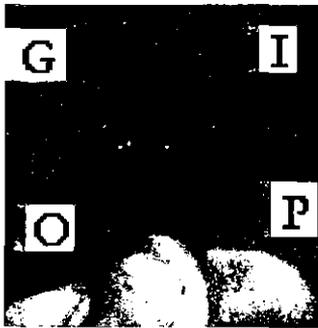


Figura 3.4 Diagrama de conexión GPS-computadora

Específicamente para la mayoría de los modelos de GARMIN tenemos un diagrama (figura 3.4 [22]) que nos indica como fluye la información entre los dispositivos.



A)



B)

Figura 3.5 Conexión del GPS a la computadora . Puerto serial de 9 pines

Tanto la entrada especial del GPS, como la entrada de 9 pines al puerto serial lo podemos observar en la figura 3.5.

**Protocolo:**

Cada interfaz tiene un protocolo de comunicación asociado, el cual especifica las reglas que deben cumplir los programas para transmitir y recibir datos en forma ordenada. En este caso se tienen dos protocolos que son utilizados por el GPS para la comunicación con la computadora que son: el NMEA y su propio protocolo de comunicación llamado GARMIN, este último solo se utiliza para la interacción del GPS con programas que el propio fabricante ha diseñado, en forma general, para determinadas aplicaciones. El protocolo NMEA se ha tomado como un estándar de comunicación en la gran mayoría de los GPS, con ello se facilita enormemente la programación de sistemas propios, con un protocolo ya conocido y bien definido.

**3.3.2. Protocolo NMEA. (National Marine Electronics Association)**

NMEA es un protocolo que se usa para la navegación tanto marítima, como aérea y terrestre. Los GPS utilizados para el desarrollo del Programa (SADI) transmiten su información con este protocolo. Por medio del NMEA [21] se envía una serie de enunciados de información que contienen: posicionamiento, puntos de destino (waypoints), satélites que están proporcionando la información, intensidad de las señales, velocidad, etc.

Para poder comprender dichos enunciados es necesario saber como se componen y cuáles son sus funciones principales. A continuación se da un ejemplo donde se explica el contenido de un enunciado. Para ello se toma la lectura de un archivo, que puede ser editado con cualquier procesador de texto.

\$GPGGA,161555,4321.1752,N,00823.0447,W,2,08,02.3,0009,M,-053,M,02,0508\*4F

El significado es:

\$GPGGA....."Talker" (GPS). Identifica el enunciado, ya que hay muchos otros diferentes.

\$......identificador de inicio del enunciado.

161555..... horas, minutos y segundos.

4321.1752, N.....latitud Norte

00823.0447, W....longitud Oeste

2..... Calidad de la posición

08.....Número de satélites captados por el receptor.

2.3.....Degradación horizontal de la posición.

0009,M.....Altitud en metros sobre el nivel medio del mar

-053,M.....Altura del Geoide sobre el elipsoide WGS84  
02.....Intervalo en segundos desde la última posición  
0508.....Número de identificación de la estación GPS (Finisterre)

La anterior es un solo enunciado de los casi cuarenta que proporciona el protocolo NMEA cada segundo.

### **3.3.3 GPS Diferencial (GPSD).**

El GPSD es un sistema que permite aumentar la precisión en las mediciones de GPS. Hasta hace unos cuantos meses, la precisión estaba degradada intencionalmente, debido a la disponibilidad selectiva (Selective Availability SA), pero también se degrada por interferencias durante el paso de las ondas por la ionosfera, y por otros fenómenos. Las distorsiones SA se daban con el propósito de provocar un error hacia todos los GPS utilizados por civiles, ya que como se mencionó, el sistema GPS fue diseñado para uso militar.

Las distorsiones intencionales o disponibilidad selectiva, desaparecieron el 1 de mayo del 2000, pero se siguen produciendo las interferencias causadas por la ionosfera, etc. de manera que sigue siendo válido el uso del GPSD. Éste aumenta la precisión que se alcanza con los posicionamientos obtenidos con el GPS convencional. Para hacer un GPSD, alguien (alguna empresa, el gobierno, una comunidad autónoma, etc.) debe colocar un receptor GPS en una posición fija, conocida de la tierra, que esté recibiendo señales permanentemente de los satélites. Como el sistema está en una posición fija, es posible saber cual es la desviación de la posición real y corregir en tiempo real enviando una señal al vehículo móvil que cuenta con un GPS adaptado para recibir la corrección. Otra forma de corrección se puede dar fuera de línea, es decir, guardando los datos de desviación en un archivo para su posterior utilización. De esta forma podemos corregir las distorsiones o variaciones que se producen, aumentando significativamente la precisión.

### **3.4 SISTEMAS DE COORDENADAS**

En esta sección se hace mención sobre los principales tipos de proyecciones cartográficas y los sistemas de coordenadas que hemos utilizado en el desarrollo de este trabajo. Es de crucial importancia, hacer una correcta selección del sistema de coordenadas dependiendo del tipo de aplicación. En el programa se desarrollaron dos versiones, para manejar coordenadas UTM y coordenadas geográficas, esto se explicará con detalle más adelante.

### **3.4.1 Proyecciones de los mapas**

Para representar la totalidad de la superficie terrestre sin ningún tipo de distorsión, un mapa debe estar representado sobre una superficie esférica como en un globo terráqueo. Un mapa plano no puede representar con exactitud la superficie redondeada de la Tierra. Para mostrar grandes porciones de la superficie con precisión, la superficie esférica de la Tierra debe transformarse en una superficie plana. El sistema de transformación se denomina proyección. Cuando una superficie esférica se transfiere a un plano modifica su geometría y se distorsiona, pero existen muchas transformaciones que mantienen una o varias de las propiedades geométricas del globo. Dependiendo de la extensión y ubicación de la zona a representar en el plano o mapa, el cartógrafo elegirá un determinado tipo de proyección.

La clasificación de las proyecciones se establece en función de figuras geométricas: un cono o un cilindro, que pueden cortarse y extenderse sobre una superficie plana; éstas son las formas más utilizadas. De este modo, clasificaremos las proyecciones en tres grupos fundamentales: cónicas, cilíndricas y azimutales (o planas). Otras clasificaciones tienen en cuenta el aspecto de la retícula y la relación de la superficie esférica con el plano (secante, tangente, transversal u oblicua); y otras se definen en función de sus atributos o propiedades principales, hablando así de proyecciones conformes, equivalentes, equidistantes, etc. En el siguiente párrafo explicaremos como se obtiene la proyección cilíndrica, por ser la de mayor interés para nosotros.

#### **Proyecciones cilíndricas**

Al realizar este tipo de proyección se está considerando a la superficie del mapa como un cilindro que rodea al globo terráqueo, tocándolo en el ecuador; mientras que los meridianos y paralelos son líneas rectas que se cortan perpendicularmente entre sí (proyección cilíndrica simple). En algunas proyecciones cilíndricas encontraremos que, debido a la curvatura del globo terráqueo, los paralelos de latitud más próximos a los polos aparecen cada vez menos espaciados entre sí. El mapa resultante representa la superficie de la Tierra como un rectángulo con líneas paralelas equidistantes de longitud y líneas paralelas de latitud con separación desigual. Como las formas de las áreas se van distorsionando a medida que se acercan a los polos, este tipo de proyección no suele utilizarse para regiones que no estén comprendidas entre los 40° N y los 40° S.

### **3.4.2 Coordenadas geográficas**

Las coordenadas geográficas toman como referencia los meridianos (longitud) y los paralelos (latitud). Por acuerdo internacional, la longitud se mide hasta 180° Este y hasta 180° Oeste a partir de los 0°, en el meridiano de referencia que pasa por Greenwich, Inglaterra. La latitud se mide hasta 90° Norte y hasta 90° Sur, a partir de

0° sobre el ecuador. La localización de un punto en el mapa puede definirse con precisión por los grados, minutos y segundos de latitud y longitud. Los mapas están orientados de tal manera que, generalmente, el norte verdadero ocupa la parte superior de la lámina.

### 3.4.3 Proyecciones Mercator Transversal (TM) y Mercator Transversal Universal (UTM)

La proyección de Mercator Transversal (TM), es una proyección cilíndrica y como ya se mencionó este tipo de mapas son muy exactos en las regiones ecuatoriales, pero se distorsionan bastante cuando nos acercamos hacia latitudes mayores. Sin embargo, las direcciones se representan con gran fidelidad y esto tiene especial importancia para la navegación. Toda línea que corte dos o más meridianos con el mismo ángulo se representa en el mapa de Mercator como una línea recta. Una línea con estas características se denomina línea de rumbo. Al utilizar esta clase de mapas, el navegante puede trazar una ruta dibujando simplemente una línea entre dos puntos y leer la dirección de los puntos cardinales directamente.

Las exigencias para la utilización gráfica del sistema implican limitarlo a una zona estrecha en longitud geográfica, a ambos lados del Meridiano Central. Áreas extensas serán divididas en Husos y sobre cada uno de ellos se establecerá un sistema diferente donde será aplicado un mismo juego de fórmulas. En cada zona del sistema TM (Figura 3.6 [9]) se extenderá en longitud hacia el Este y hacia el Oeste 30° más allá del límite estricto para dar una superposición de 1° sobre los husos comunes a dos sistemas.

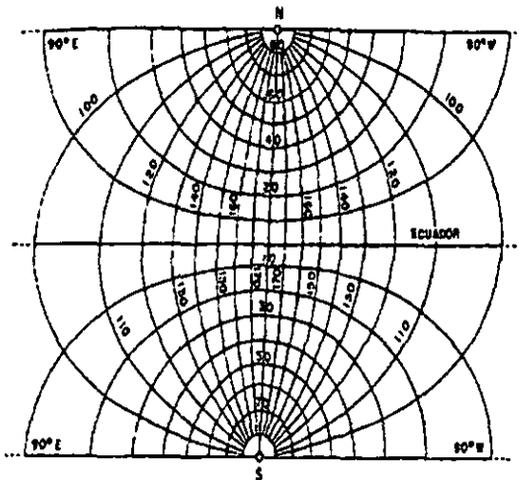


Figura 3.6. Transformadas de meridianos y paralelos correspondientes a la proyección TM

Al Este y al Oeste del Meridiano Central el factor de escala de la proyección TM es siempre mayor que 1, de modo que todas las distancias en la proyección plana conforme TM, serán mayores que las longitudes correspondientes del elipsoide de referencia. El recurso evidente para disminuir los valores máximos que alcanza el factor de escala en los extremos E y O de un sistema TM, es adoptar valores de este factor menores a la unidad sobre el Meridiano Central.

La proyección TM tiene otra variante muy utilizada en cartografía: la proyección UTM (*Universal Transversal de Mercator*), que es una proyección cilíndrica transversal secante. Está basada en la proyección Mercator, en la que el cilindro es tangente a un meridiano; pero su "universalidad" se consigue empleando distintos cilindros tangentes a los meridianos, separados entre sí, por 6°. En cada proyección, sólo el meridiano de origen de cada huso de 6° y el Ecuador aparecen como líneas rectas.

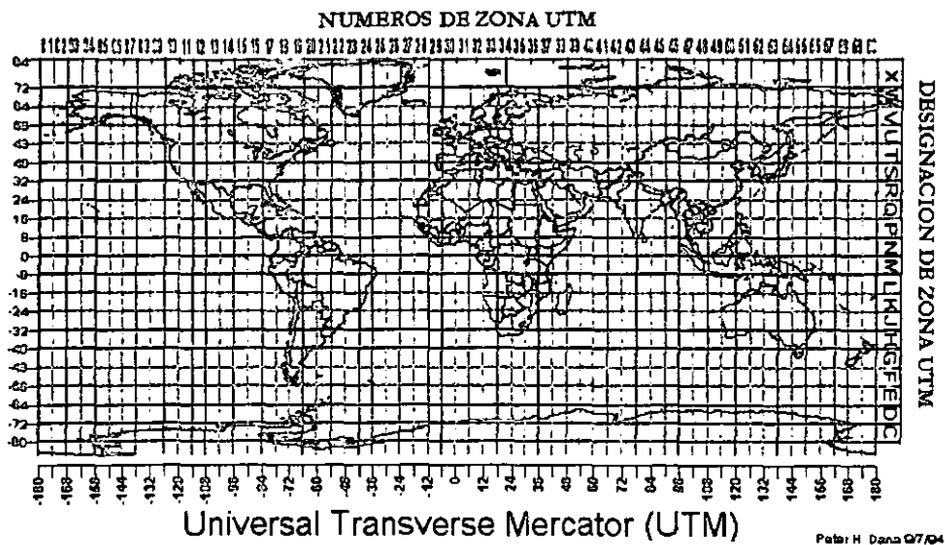


Figura 3.7 Sistema Transversal Universal de Mercator.

En el presente proyecto de tesis se utiliza la proyección UTM para ubicar un punto específico dentro de un mapa, dicha proyección se muestra en la figura 3.7 [21], esta es esencial para poder proporcionar al usuario una visión lo más aproximada a la real al ubicarse dentro del mapa. Esto es práctico cuando los levantamientos se llevan a cabo en una zona UTM, pero cuando se involucran dos o más zonas, entonces en mejor utilizar coordenadas geográficas.

La Tierra se ha dividido en 60 zonas meridianas de 6° de longitud, para cada cual se establece un Meridiano Central y así la zona del meridiano de Greenwich hasta 6° de

longitud, lo controla el Meridiano Central de 3°. Para la Republica Mexicana se utilizan los siguientes meridianos Centrales al Oeste de Greenwich 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117°.

### **3.4.4 Necesidad de Transformación entre Coordenadas.**

Uno de los puntos importantes del programa desarrollado, es presentar al usuario los datos necesarios en todo momento. En la pantalla principal donde se despliega el mapa de la zona bajo estudio se observa el mapa móvil, y el desplazamiento de la nave sobre las líneas. El manejo gráfico de la posición debe tener la posibilidad de manejarse en coordenadas geográficas y su contraparte en proyección UTM. Debido a que el GPS, por convención en el protocolo NMEA, solo entrega coordenadas geográficas, fue necesario investigar y programar la transformación entre los dos tipos de coordenadas.

La transformación de coordenadas de Geográficas a UTM, se menciona en un apéndice completo (APÉNDICE A), en el cual se describen las constantes y ecuaciones necesarias para obtener una transformación adecuada y con la cual se tiene un error de aproximadamente: 1 a 3 metros, que no es significativo.

## **3.5 INTERFAZ CON EL PROGRAMA DE CONTROL DE LA PLATAFORMA PORTACÁMARAS**

La computadora controla el instante en el que debe ser tomada cada fotografía, esto se logra enviando un pulso a través del puerto paralelo, que se conecta a un dispositivo electrónico muy sencillo, que utiliza relevadores para realizar el disparo de la cámara, este mismo pulso es captado por la computadora que controla la plataforma y en el instante en que recibe este pulso son tomados los datos de: alabeo, cabeceo y guiñada como 3 variables  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , con estos datos recuperados en el preciso instante de la toma es posible trabajar posteriormente con cada imagen, corrigiéndola geoméricamente y formando los mosaicos de la zona de estudio, complementando el sistema de adquisición de imágenes.

# CAPITULO 4

## DESPLIEGUE, GRAFICACIÓN, MONITOREO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.

Al inicio del proyecto se analizó la mejor forma de presentar la información en pantalla de todos los procesos involucrados en la realización de los levantamientos aéreos, y se determinó que sin duda la sencillez y facilidad en su manejo, al llevar a cabo la planeación en tierra como durante las campañas fotográficas, deberían ser primordiales.

Así, la interfaz entre la computadora y el usuario debe ser lo más comprensible y sencilla posible, utilizando herramientas gráficas que faciliten el funcionamiento del programa, y que éste pueda ser manejado por cualquier usuario involucrado en el tema de levantamientos aéreos.

La manera de presentar los resultados, también depende de los procedimientos establecidos para llevar a cabo los levantamientos, por esta razón desde un inicio se determinó la necesidad de utilizar tres rutinas principales. Así en la primera, se deben realizar las operaciones referentes a la planeación del vuelo. En la segunda es necesario desplegar la zona de estudio ubicada en un mapa digital y mostrar las líneas de vuelo. En la tercera se requiere supervisar las variables críticas del sistema y almacenar los datos, tanto de recorrido de la aeronave, como de posición geográfica de cada toma fotográfica.

Con base en lo anterior, el programa fue dividido en tres partes, asignando a cada rutina una pantalla de presentación, las cuales se denominaron: Pantalla de configuración y estimaciones ("CONFIG"), Pantalla de Mapas ("MAPAS") y Pantalla principal ("PANT1").

### 4.1 RUTINAS DE CONFIGURACIÓN Y ASIGNACIÓN DE VALORES INICIALES

En esta pantalla se lleva a cabo una configuración del programa, debido a la necesidad de elaborar un plan de vuelo en el que se obtenga: el tiempo de disparo, distancia lateral entre líneas, distancia longitudinal entre fotografías y la altura sobre el terreno; por lo que se deben asignar valores iniciales, también se

debe especificar la forma de comunicación con el dispositivo GPS a través de los puertos. Para ello se ha destinado una pantalla de configuración "Config". Dentro de la misma pantalla existen campos en los que se deben proporcionar los nombres de los archivos que serán generados durante el vuelo.

#### 4.1.1 Configuración del Programa

En la pantalla "Config" se presentan dos opciones para elegir el puerto de comunicación, tres opciones para elegir velocidad de transmisión, un campo para introducir el nombre del archivo de recorrido y otro para el nombre de archivos de datos de posición de cada fotografía, una opción de no guardar datos de levantamiento, un campo para resolución de cámara, un campo para velocidad, otro para sobreposición longitudinal, otro para sobreposición lateral, para resolución de pixel, un campo más para anotar el número máximo de fotografías por disco, los botones "salir " y "Continuar" y por último, en la parte superior izquierda, un menú "desplegable".

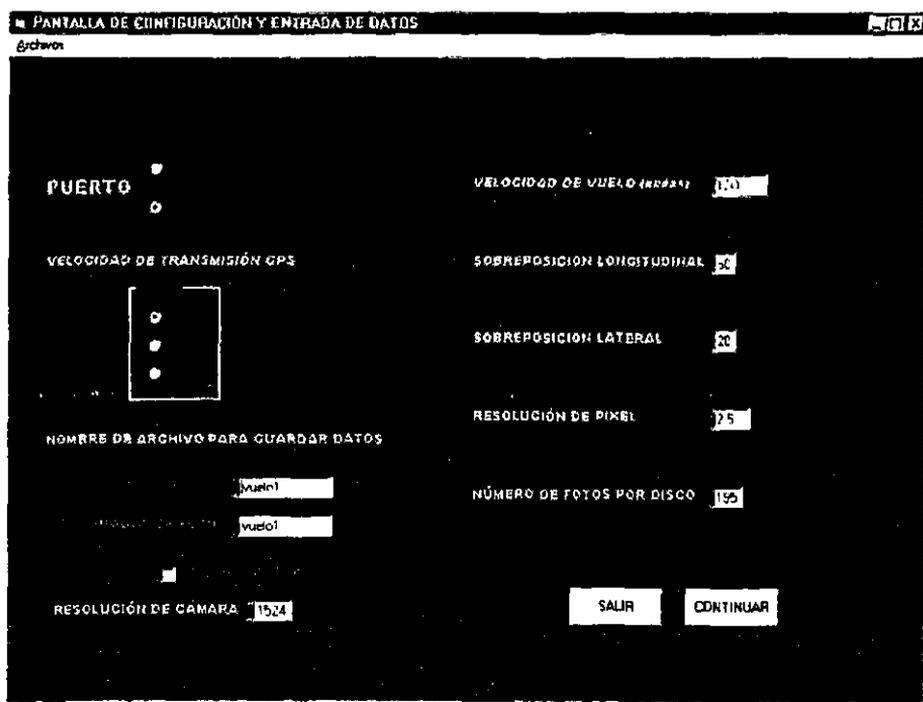


Figura 4.1 Pantalla "Config" (ejemplo de datos del proyecto de vuelo de Texcoco)

La forma en que se introducen los datos en la pantalla Config es la siguiente:

Se selecciona el puerto serial de la computadora en el cual se conectará el GPS, solo se da opción a dos puertos que son los más comunes en cualquier computadora: Com1 o Com2.

Se selecciona la velocidad de transmisión a 4,800, 9,600 o 14,400 bauds, que corresponden a la velocidad que transmiten los GPS, a partir de este dato se elige un tamaño de buffer y un intervalo de tiempo en el cual se recibe la información, sincronizando la computadora con el GPS.

El valor de la velocidad de transmisión depende del GPS que se utilice (el GPS GARMIN 12XL utilizado, transmite a 4,800 bauds).

#### 4.1.2 Datos iniciales

Los siguientes datos que se introducen corresponden a valores de variables iniciales:

Los primeros dos campos son para asignar el nombre de los archivos de recorrido y de coordenadas de fotografía. Estas son cadenas de caracteres que se deben proporcionar antes de ejecutar la pantalla principal donde se crean los archivos de recorrido con extensión "trk" y el archivo de fotografías con extensión "fot".

Velocidad de vuelo: se debe proporcionar en nudos debido a que esta unidad es más comprensible para pilotos y navegantes, para su utilización se convierte a m/s.

Resolución de cámara: este es un dato que se debe tomar de las especificaciones del fabricante, en unidad de pixel (para las cámaras KODAK DCS 420 la resolución es de 1524 pixeles).

Sobreposición longitudinal: Es un dato que se toma en porcentaje y el valor más utilizado es del 30%.

Sobreposición lateral: Es un dato que se toma en porcentaje y el valor más utilizado es del 60%.

Resolución de pixel: Esta variable va de acuerdo a las necesidades específicas de cada levantamiento y es un valor en metros de acuerdo al detalle que se desee observar en las imágenes, como ya se explicó.

También la pantalla Config contiene un menú desplegable, y dos botones. El menú contiene las siguientes opciones: Cargar datos anteriores y Guardar datos.

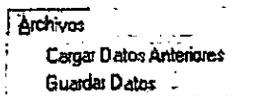


Figura 4.2 Menú disponible en la pantalla Config.

Cargar datos anteriores: Carga en la pantalla "Config", archivos con extensión "udo" los cuales contienen datos de configuraciones de algún levantamiento en particular o de alguno realizado con anterioridad, son archivos con formato generado por el propio programa, los cuales son de fácil lectura en cualquier editor de texto.

Los datos anteriores se cargan por medio de una pantalla auxiliar llamada "Archi", que se muestra en la figura 4.3.

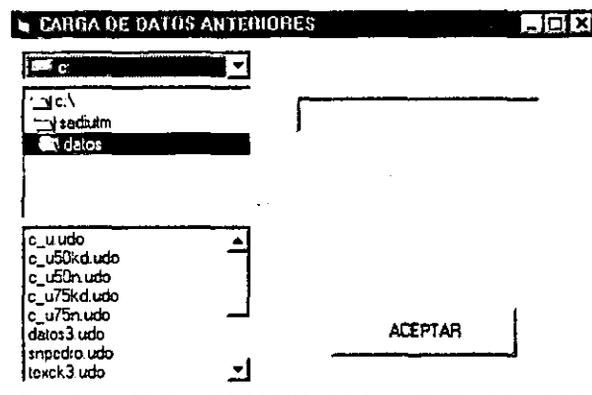


Figura 4.3 Pantalla "Archi" para cargar datos previamente capturados

En dicha pantalla, aparece seleccionado el directorio C:\sadiutm\datos, donde se encuentran los posibles archivos con extensión "udo", esta pantalla contiene un campo en el cual se introduce el nombre del archivo de configuración y un botón que se utiliza para cargar el archivo seleccionado. En caso de que el archivo no se encuentre en este directorio se puede realiza una búsqueda de su ubicación en cualquier directorio o disco. Para seleccionar el archivo, también puede darse un click sobre el propio archivo y automáticamente el nombre del archivo aparecerá en el campo, seguido de un click en el botón de aceptar para cargarse en la pantalla de "Config".

Guardar datos: guarda las variables de configuración en un archivo al cual se le asigna un nombre y le coloca una extensión “.udo”. Para guardar los datos de configuración en un archivo se utiliza otra pantalla auxiliar llamada “Salvar”, y que se muestra en la figura 4.4.

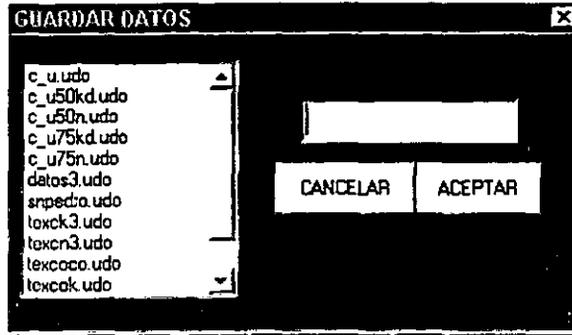


Figura 4.4 Pantalla “Salvar”

En esta pantalla aparece un campo en el que se teclea el nombre del archivo en donde se guardan los datos de configuración y se debe dar un click sobre el botón de aceptar. En el caso de que se oprima el botón de cancelar o aceptar antes de teclear el nombre del archivo, la pantalla desaparece y vuelve a la pantalla de “Config” sin crear el archivo de configuración.

El directorio donde se guardan los archivos con extensión “.udo” es:

**C:\sadiutm\Datos**

Por esta razón cuando se requiere cargar un archivo de configuración aparece este directorio. Por sencillez los botones de la pantalla “Config”, llevan un título que hace referencia a la acción que realiza.

**Botón Continuar:** Al hacer click sobre este botón, el programa realiza un proceso de prevención de errores, es decir, se confirma que cada campo de la pantalla Config se hayan llenado correctamente, además se realizan los cálculos de la fase de planeación ( dion, dlat, etc.), para posteriormente desplegar la pantalla de Mapas. En caso de encontrar algún error se muestra un mensaje.

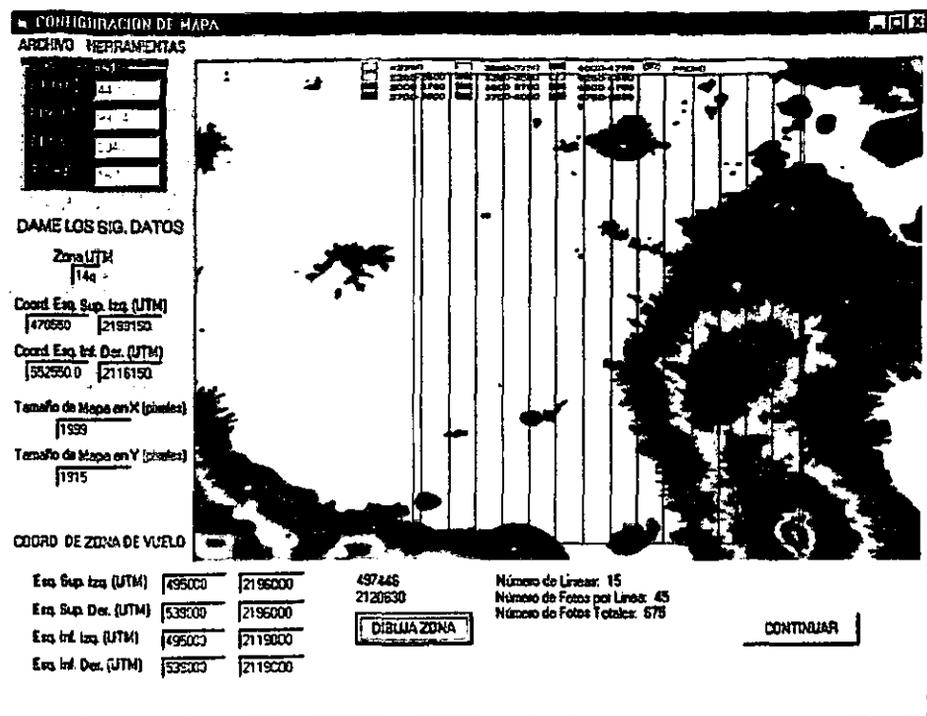


Figura 4.6. Pantalla Mapas, (ejemplo de datos de vuelo de Texcoco, Méx.)

Zona UTM: este dato indica a que zona UTM corresponde el área mostrada en el mapa digital y se obtiene directamente del mapa.

Coord. Esq. Sup. Izq: Se refiere a la Coordenada UTM (X, Y) de la Esquina superior izquierda del mapa.

Coord. Esq. Inf. Der: Se refiere a la Coordenada UTM (X, Y) de la Esquina inferior derecha del mapa.

Tamaño de mapa en X, Y (pixeles): en estos campos se introduce el tamaño en píxeles del mapa, que corresponden al ancho y largo del mapa digital. Cabe mencionar que es necesario que este tamaño sea de un máximo de 2000 por 2000 píxeles, ya que es una de las restricciones del programa para su correcto funcionamiento.

Coordenadas de zona de vuelo: para especificar estas coordenadas existen dos columnas con cuatro campos cada una, que se localizan en la parte inferior izquierda de la pantalla (figura 4.6) , en los dos primeros campos se teclea la coordenada (X, Y) de la esquina superior izquierda, los dos siguientes campos son

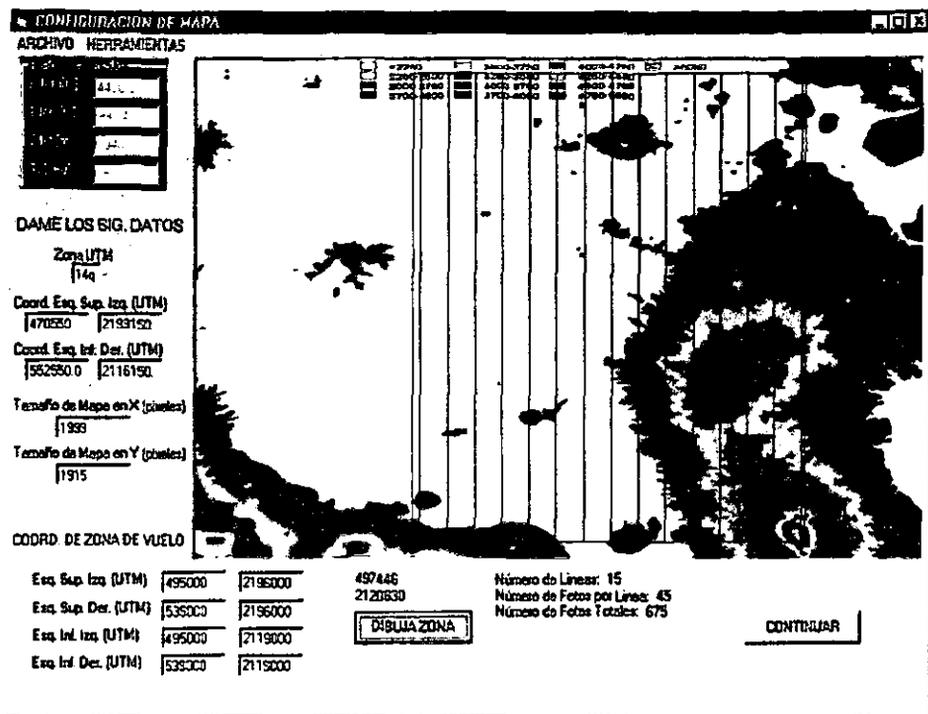


Figura 4.6. Pantalla Mapas, (ejemplo de datos de vuelo de Texcoco, Méx.)

Zona UTM: este dato indica a que zona UTM corresponde el área mostrada en el mapa digital y se obtiene directamente del mapa.

Coord. Esq. Sup. Izq: Se refiere a la Coordenada UTM (X, Y) de la Esquina superior izquierda del mapa.

Coord. Esq. Inf. Der: Se refiere a la Coordenada UTM (X, Y) de la Esquina inferior derecha del mapa.

Tamaño de mapa en X, Y (píxeles): en estos campos se introduce el tamaño en píxeles del mapa, que corresponden al ancho y largo del mapa digital. Cabe mencionar que es necesario que este tamaño sea de un máximo de 2000 por 2000 píxeles, ya que es una de las restricciones del programa para su correcto funcionamiento.

Coordenadas de zona de vuelo: para especificar estas coordenadas existen dos columnas con cuatro campos cada una, que se localizan en la parte inferior izquierda de la pantalla (figura 4.6) , en los dos primeros campos se tecldea la coordenada (X, Y) de la esquina superior izquierda, los dos siguientes campos son

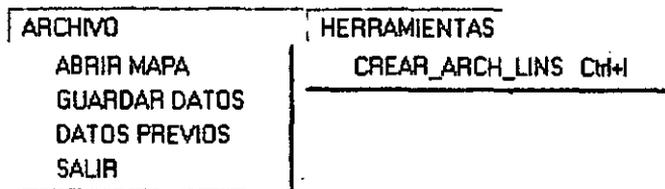
para teclear la coordenada (X, Y) superior derecha, los dos siguientes para la coordenada (X, Y) inferior izquierda, y los dos últimos para la coordenada (X, Y) inferior derecha, con estos datos queda especificada la zona de vuelo sobre el mapa digital. Las coordenadas se piden en proyección UTM y sirven para delimitar la zona de vuelo por medio de un cuadrado o un rectángulo sobre el mapa.

**Botón de continuar:** Botón localizado en la parte inferior derecha de la pantalla (figura 4.6), este botón al ser activado se encarga de revisar que todos los campos de configuración se hayan completado debidamente, si es así, carga la siguiente pantalla (pantalla principal) en caso contrario, manda el mensaje de error (figura 4.5).

**Botón Dibujar Zona:** Botón localizado en la parte inferior derecha de la pantalla (figura 4.6), primero lleva acabo la verificación de los datos de cada campo de configuración, mostrando en el mapa la zona de estudio delimitada y las líneas de vuelo. Realiza las operaciones necesarias para determinar: la cantidad de líneas de vuelo para cubrir la zona en estudio, las coordenadas de los extremos de cada línea, el número de fotografías por línea y el número de fotografías totales, a partir de los datos de configuración de mapa y de los datos calculados en la pantalla "Config".

#### Menú Desplegable

Este menú contiene los encabezados de: Archivo y Herramientas, en Archivo se encuentran las opciones de: Abrir mapa, Guardar datos, Datos previos y Salir. Herramientas contiene la opción de: Crear el archivo de líneas (Figura 4.7).



*Figura 4.7 Menú de la pantalla de Mapas*

**Abrir mapa:** Esta opción ejecuta una pantalla auxiliar, cuyo objetivo es la elección y carga del mapa digital. Su expresión gráfica se muestra en la figura 4.8.

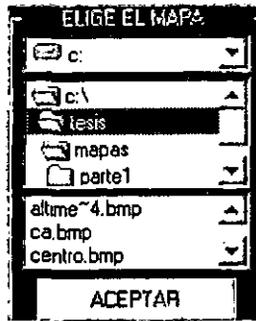


Figura 4.8 Pantalla auxiliar para cargar mapa digital.

Al elegir un mapa a través de la pantalla auxiliar (figura 4.8), éste debe estar en formato bmp, el cual se propuso utilizar debido a que es muy empleado por los usuarios finales, por lo tanto la pantalla auxiliar "Cargar Mapa" solo muestra archivos con extensión ".bmp".

Crear Archivo de líneas: Esta opción guarda las coordenadas extremas de cada línea de vuelo en un archivo con extensión ".lin", una vez que se capturaron dichas líneas, por medio del botón "Dibujar zona". El archivo generado es como el que se muestra a continuación:

```
sadiutm
Archivo:texcoco.lin
Coordenadas UTM de puntos extremos de líneas de vuelo
zona14q
lineas  EASTING  NORTHING  EASTING  NORTHING
lin 1    495960.12  2188500   495960.12  2119000
lin 2    499160.52  2188500   499160.52  2119000
lin 3    502360.92  2188500   502360.92  2119000
lin 4    505561.32  2188500   505561.32  2119000
lin 5    508761.72  2188500   508761.72  2119000
lin 6    511962.12  2188500   511962.12  2119000
lin 7    515162.52  2188500   515162.52  2119000
lin 8    518362.92  2188500   518362.92  2119000
lin 9    521563.32  2188500   521563.32  2119000
lin 10   524763.72  2188500   524763.72  2119000
```

Parte del listado de líneas de vuelo de Texcoco.

**Guardar datos:** Al hacer click sobre la opción Guardar Datos, se verifica que todos los campos estén correctamente llenos y muestra la pantalla auxiliar "Salvar" (figura 4.4) . En la pantalla Salvar se genera un archivo en donde se guardan los datos de Configuración de mapa con extensión ".sig".

**Datos previos:** Esta opción carga en la pantalla de "Mapas", un archivo con extensión ".sig" que contiene configuraciones que fueron guardadas con anterioridad, utilizando la pantalla auxiliar "Cargar Datos" (figura 4.3).

**Salir:** Esta opción cierra el programa y regresa a Windows

## **4.2.2 Visualización de líneas de vuelo**

Para lograr la visualización de las líneas de vuelo, se toman las coordenadas de la zona bajo estudio y se determina cual es el lado mayor del rectángulo que conforma dicha zona. Teniendo el lado mayor se calculan las coordenadas de las líneas de vuelo, las cuales son paralelas a dicho lado. La distancia entre las líneas es determinada por  $dlat$  (distancia lateral) y la primera línea se coloca a treinta por ciento de  $dlat$  para que cubra una parte fuera de la zona de vuelo, para garantizar que ésta sea cubierta completamente. Cuando la zona de vuelo representa una forma cuadrada, las líneas se trazan de sur a norte, por convención con el usuario.

Por último se realiza un cálculo de la cantidad de fotografías por línea y la cantidad de fotografías totales, tomando como referencia  $dlat$  (distancia longitudinal) y la longitud de la línea.

## **4.3 RUTINAS DE VUELO (PANTALLA PRINCIPAL)**

Estas rutinas se encargan de realizar el despliegue y visualización tanto del mapa móvil como de las variables más críticas en el proceso de captura de imágenes, almacenado los datos de posición de cada fotografía, así como del control de la señal de disparo enviada a la cámara digital.

### **4.3.1 Monitoreo del levantamiento**

En la pantalla "Pant1" es donde se ejecuta la rutina de vuelo, que permite monitorear el levantamiento propiamente dicho.

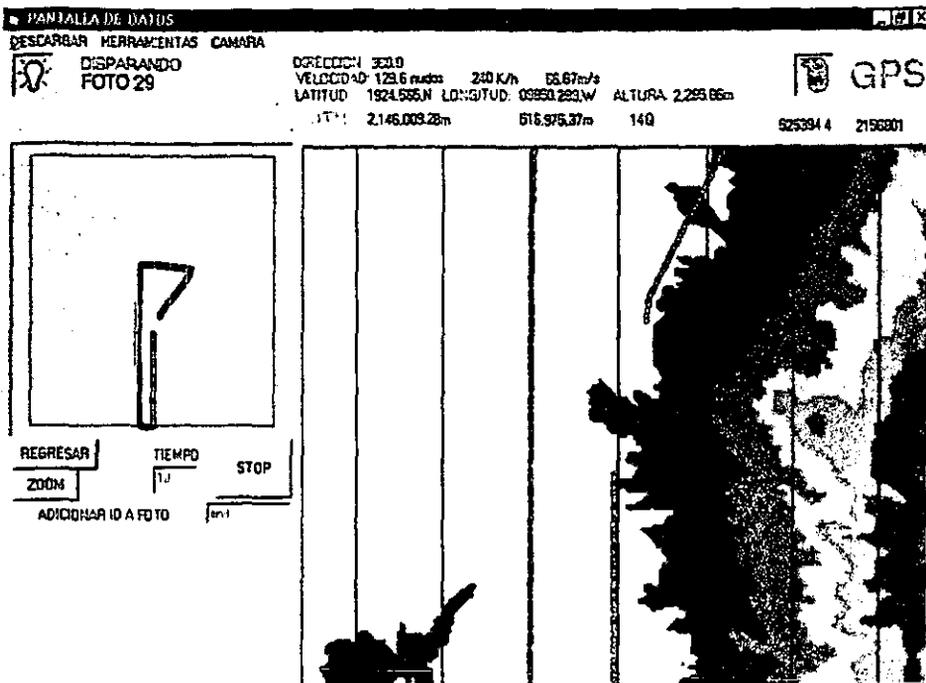


Figura 4.9 Pantalla "Pant1", donde se muestra una simulación de vuelo sobre Texcoco, México.

Esta pantalla tiene un entorno formado por un campo donde se teclea un identificador para referencia del lugar donde se realiza una toma en particular, un recuadro para la visualización general del recorrido sobre las líneas de vuelo, la visualización del área con las líneas de vuelo sobre el mapa digital (mapa móvil), un indicador de toma de fotografía y otro de GPS activo. También se cuenta con etiquetas con los títulos de dirección, velocidad, longitud, latitud y altura, una zona destinada para las coordenadas en UTM de la posición de la aeronave, botones de zoom, regresar y disparar, un mensaje del conteo de fotografías y en la parte izquierda superior un menú desplegable.

A continuación se explica cada una de estas opciones:

**Campo identificador de fotografía:** En este campo se teclea una clave o nombre que permita identificar la fotografía en curso, por ejemplo; Laguna verde, Pico de Orizaba, Estadio Azteca, etc. Todos ellos sirven para localizar fácilmente una fotografía.

**Recuadro para visualización del recorrido:** Este recuadro ocupa un espacio de alrededor del 15% de la pantalla, y en él se visualiza en forma global el levantamiento con la trayectoria ya recorrida y las líneas o transectos faltantes. Por este motivo se cuenta con botones de Regresar y Zoom, con los cuales se logra una visión general y detallada del levantamiento.

**Botón Zoom:** Proporciona una visión en mayor detalle de la trayectoria seguida por la aeronave, observando en tiempo real el desplazamiento de la misma sobre las líneas planeadas.

**Botón Regresar:** Después de observar en forma detallada la trayectoria, este botón nos regresa una visión completa del levantamiento (es decir, quita el zoom).

Cuando la aeronave se aleja más de dos kilómetros de la zona del levantamiento, los botones de Zoom y Regresar desaparecen de la pantalla y en su lugar aparece un mensaje de:

### **Fuera de Zona**

*Este mensaje se visualiza en la parte inferior del recuadro de recorrido.*

**Recuadro de Mapa Móvil (visualización del área de vuelo):** Abarca el 50% de la pantalla y nos sirve para observar, a lo largo del levantamiento, la trayectoria de la aeronave sobre las líneas de vuelo y sobre el mapa de navegación; esto nos da una referencia del lugar sobre el cual se encuentra la aeronave, proporcionando una enorme ayuda de navegación al piloto.

Para proporcionar una ayuda adicional de navegación, se coloca el puntero del mouse sobre los recuadros de visualización de recorrido o mapa móvil, en la parte superior derecha de cada recuadro se muestra una etiqueta en la cual se indican las coordenadas sobre el mapa digital donde se está apuntando. Esto es posible lograrlo gracias a que el mapa móvil está georeferenciado.

**Indicador de fotografía:** Está representado con la figura de un foco, localizado en la parte superior izquierda de la pantalla, el cual se observa encendido en el momento de ser enviada la señal de disparo, y apagado cuando ésta se interrumpe.

**Indicador de Gps:** Está representado gráficamente por un pequeño cilindro, y al momento de hacer un click sobre su área, se inician las rutinas que abren el puerto de entrada de datos procedentes del Gps. Como señal de que el puerto está abierto, el cilindro se incendia. Al hacer un segundo click sobre el cilindro, el puerto de comunicación se cierra, mostrando el cilindro apagado.

Cuando se hace un click sobre el indicador de GPS y no se reciben datos en el puerto de comunicación, aparece el siguiente mensaje (figura 4.10):

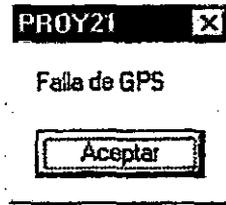


Figura 4.10 Indicación de falla del GPS.

Las causas de la aparición de este mensaje (figura 4.10) pueden ser: que el GPS esté desconectado, apagado, que se haya seleccionado mal el puerto de comunicación, o la mala selección del protocolo de comunicación (NMEA). Este mensaje desaparece de pantalla cuando se da un click sobre el botón de aceptar, y se repite 5 segundos después si no se ha corregido el problema, mientras siga abierto el puerto, (cilindro encendido).

Etiquetas de dirección, velocidad, longitud, latitud y altura:

Cuando se comienza a recibir la información procedente del GPS, ésta es seleccionada, procesada y enviada a la pantalla y a otras rutinas que realizan diversos cálculos de transformación, como son: la velocidad, latitud y longitud. En el caso de la velocidad, al recibirse en nudos se transforma a m/s y km/h, los datos de latitud y longitud son enviados a rutinas que realizan la transformación de coordenadas geográficas a UTM (consultar apéndice B) y después son visualizadas en la pantalla.

La Barra de Menú superior contiene las opciones de Descargar, Herramientas y Cámara como se muestra en la figura 4.11.

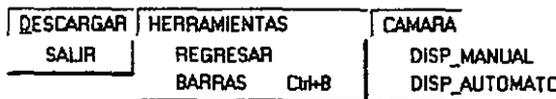


Figura 4.11 Barra de Menú superior.

Descargar: Contiene la opción de salir la cual cierra el programa y regresa a Windows

Menú Herramientas: Contiene las opciones de Regresar y Barras.

**Regresar:** Descarga la pantalla Principal y carga la pantalla de Mapas regresando a la configuración de Mapa, esto da la posibilidad de cambiar a una zona de estudio distinta o simplemente cambiar sus coordenadas y ampliar o reducir la zona sin salir del programa.

**Barras:** Esta opción coloca barras de desplazamiento en el mapa digital tanto en X como en Y, con la finalidad de que se pueda explorar todo el mapa, cancelando el movimiento del mapa y desplazándolo conforme se necesite.

**Cámara:** Contiene la opción de Disparo Manual y Disparo Automático

**Disparo Manual:** Al elegir esta opción aparece un campo con el título de Tiempo, donde se teclea el intervalo de tiempo de disparo deseado y también aparece un botón que tiene por título "Disparo". Una vez que se ha tecleado el dato de tiempo, se da un click sobre este botón para iniciar el disparo de la cámara y cambia el nombre del botón a "Parar" para interrumpir la señal de disparo.

En realidad este es un disparo semiautomático, debido a que el disparo manual es el que se efectúa sin la ayuda de la computadora.

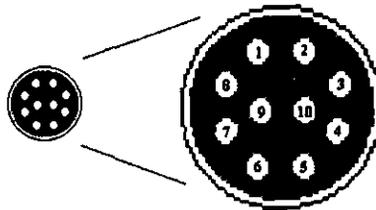
**Disparo Automático:** cancela la opción de disparo manual y en su lugar hace visible un mensaje donde se expresa el tiempo de disparo, calculado a partir de la velocidad en tiempo real que se toma del GPS y del dato dion (distancia longitudinal).

El primer disparo que permite el programa es en modo manual, debido a que se debe dar un valor inicial de tiempo de disparo por el usuario para después pasar al modo automático. Aun cambiando la forma de disparo, el botón debe estar con el título de "Parar", esto nos indica que se sigue enviando la señal de disparo. Una vez que se inicia el primer disparo en Manual, se puede cambiar a Automático y de Automático a manual y así sucesivamente.

#### **4.3.2 Control del disparo de la cámara.**

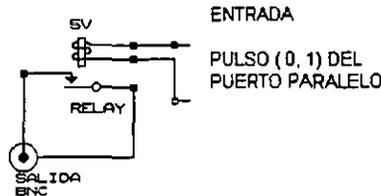
Para lograr el disparo de la cámara, fue necesario saber que éste se repite en un gran número de ocasiones a intervalos de tiempo de entre 4 a 35 segundos. Con repeticiones de hasta 230 disparos continuos. La forma más adecuada de realizar los disparos controlados por la computadora, fue a través de un circuito desarrollado específicamente para esta aplicación. Este circuito controlado por la computadora, realiza la misma tarea que el control remoto empleado en las cámaras. Después de leer los manuales del fabricante y de realizar algunas pruebas, se observó que para el disparo de la cámara solo es necesario poner en corto dos de sus entradas (ver figura 4.12), se debe hacer corto entre los pines 1 y 10, es decir, debe existir un interruptor que se debe cerrar en el momento que se

desea disparar la cámara. Para lograr esto se utilizó un relevador, que precisamente proporciona la obturación y que puede ser controlado con un pulso enviado por la computadora (ver figura 4.13).



ENTRADA DEL CONTROL REMOTO EN LA CAMARA.

Figura 4.12 Diagrama de la entrada del control remoto de la cámara



INTERRUPTOR UTILIZADO PARA EL DISPARO  
(RELEVADOR DE ESTADO SOLIDO)

Figura 4.13 Diagrama esquemático del relevador

A pesar del deseo de controlar en todo momento el disparo de la cámara con la computadora, fue necesario también el considerar en un momento dado la imposibilidad de su uso, y poder realizar los disparos de manera manual, por ello se plantea además la ayuda de un circuito que de la posibilidad de disparar la cámara en intervalos de tiempo fijos y precisos, esto se logró con el diseño y construcción de un temporizador utilizando circuitos LM555, teniéndose la posibilidad de fijar el envío de un pulso de 5 volts en un intervalo de entre 1 a 35 segundos, teniendo dos botones que controlan el inicio y el fin de los disparos.

En la figura 4.14 se muestra el diagrama eléctrico del circuito completo, en este se implementaron además las opciones de utilizar la computadora para enviar los pulsos o que éstos provengan del temporizador, a través de un interruptor que cambia el método de disparo entre manual o automático, a este circuito se le dio el nombre de intervalómetro.

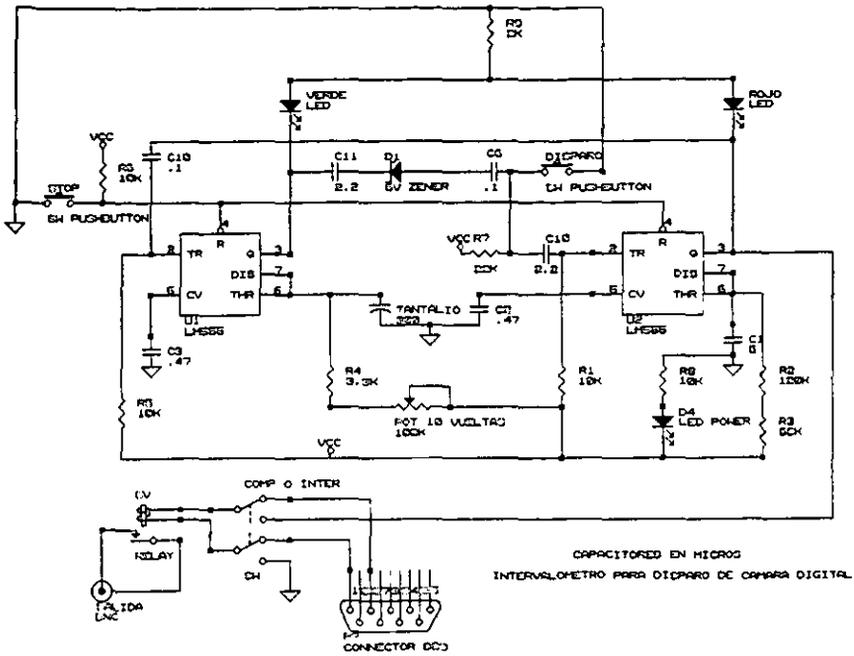


Figura 4.14 Diagrama Esquemático del intervalómetro.

En la figura 4.15 se muestra la imagen del circuito impreso diseñado y construido para la fabricación del intervalómetro.

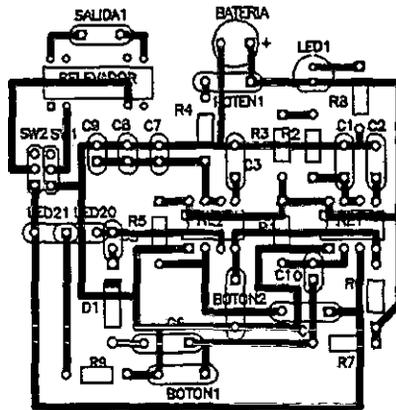


Figura 4.15 Diagrama del circuito impreso del intervalómetro.

### 4.3.3 Almacenamiento de archivos de datos del Gps.

Una vez que se carga en memoria la pantalla Principal "Pant1" se ejecutan las rutinas que tiene por objeto generar los archivos de recorrido ".trk" y de fotografías ".fot", asignándoles un encabezado y los nombres elegidos en la pantalla Config. Cuando se abre el puerto de comunicación con el GPS y se tienen los primeros datos, el programa va agregando éstos al archivo de recorrido ".trk" durante el levantamiento, y una vez iniciado el primer disparo, se agregan los datos al archivo de fotografía.

El archivo de recorrido, lleva en primer lugar un encabezado que es compatible con el programa PCX5 ver 2.09, en el que se puede visualizar la trayectoria del GPS. Este archivo lleva los siguientes datos: identificador "T" (determina que se está generando un archivo de recorrido), Zona UTM, datos de coordenadas (en UTM), fecha y hora. Todo esto en intervalos de un segundo durante todo el recorrido.

```
H SOFTWARE NAME & VERSION
I PCX5 2.09

H R DATUM IDX DA      DF          DX          DY          DZ
M G WGS 84 121 +0.000000e+00 +0.000000e+00 +0.000000e+00
+0.000000e+00 +0.000000e+00

H COORDINATE SYSTEM
U UTM UPS

H ZONE EASTING NORTHING DATE      TIME      ALT      ;track
T 11R 570724 3495060 31-10-00 09:12:50
T 11R 570864 3494863 31-10-00 09:12:51
T 11R 570890 3494828 31-10-00 09:12:52
T 11R 570948 3494747 31-10-00 09:12:53
T 11R 570975 3494708 31-10-00 09:12:54
T 11R 571032 3494629 31-10-00 09:12:55
T 11R 571115 3494514 31-10-00 09:12:57
T 11R 571193 3494409 31-10-00 09:12:58
T 11R 571228 3494361 31-10-00 09:12:59
T 11R 571278 3494297 31-10-00 09:13:00
```

Fig. 4.16 Parte del listado del archivo de recorrido sobre la Sierra de San Pedro Mártir, BCN, México.

Archivo de Fotografía: Lleva un encabezado que es compatible con el programa PCX5 ver 2.09 de GARMIN, en el que se pueden visualizar los puntos de identificación (Waypoints) que en este caso corresponden a las coordenadas donde se tomó cada fotografía. Este archivo lleva los datos de identificador "W" (determina que se está generando un archivo de puntos de identificación), un

identificador de fotografía, las coordenadas de cada imagen en UTM, la fecha (mes-día-año), la hora (hh:mm:ss) y un campo de descripción donde es colocado el dato del identificador de fotografía.

```

H SOFTWARE NAME & VERSION
I PCX5 2.09

H R DATUM          IDX DA          DF          DX          DY
DZ
M G WGS 84        121 +0.000000e+00 +0.000000e+00 +0.000000e+00
+0.000000e+00 +0.000000e+00

H COORDINATE SYSTEM
U UTMA UPS

H IDNT  ZONE EASTING NORTHING DATE      TIME      ALT      DESCRIPTION
W 00001 11R  654375  3436325 31-10-00 09:40:05      Snpedro
W 00002 11R  654378  3435841 31-10-00 09:40:12      lin1
W 00003 11R  654381  3435309 31-10-00 09:40:19
W 00004 11R  654382  3434799 31-10-00 09:40:26
W 00005 11R  654388  3434286 31-10-00 09:40:33
W 00006 11R  654393  3433818 31-10-00 09:40:40
W 00007 11R  654395  3433545 31-10-00 09:40:43
W 00008 11R  654397  3433384 31-10-00 09:40:46
W 00009 11R  654399  3433072 31-10-00 09:40:49
W 00010 11R  654398  3432924 31-10-00 09:40:52

```

*Figura 4.17. Parte del listado de fotografías obtenidas en la Sierra de San Pedro Mártir, BCN, México.*

#### 4.3.4 Actualización de la posición del mapa digital del terreno con los datos de GPS.

Una vez que las coordenadas geográficas son transformadas a UTM, éstas son graficadas sobre el mapa digital. Como el mapa debe presentar el máximo detalle, no es posible observarlo completo, por esta razón se implementó un mapa que se mueve para siempre observar al centro; el punto que indica la posición de la aeronave que se actualiza por el GPS cada segundo.

Así cada vez que se obtiene una coordenada transformada a UTM, se coloca un punto sobre el mapa digital de navegación y este a su vez se desplaza para que el punto quede ubicado al centro, por lo tanto el mapa de navegación se va desplazando a lo largo de la trayectoria seguida por la aeronave.

Esta misma coordenada es utilizada para colocar un punto sobre el espacio para visualización del recorrido, siempre y cuando no esté fuera de la zona de vuelo más de 3 Km.

#### **4.4. PROGRAMA PARA EL LEVANTAMIENTO ENTRE DOS O MAS ZONAS UTM Y PARA LÍNEAS LARGAS.**

Debido a que el sistema UTM divide al Mundo en muchas zonas (ver Coordenadas UTM Cap3), la graficación sobre el mapa de navegación se complica cuando el área de estudio se encuentra donde ocurre un cambio de zonas, o cuando se deben realizar líneas demasiado largas (cientos de kilómetros). Esto obligó a la realización de dos versiones de programa para poder manejar ambos sistemas de coordenadas (UTM y geográficas).

Por este motivo, cuando se requiere realizar un levantamiento donde no exista cambio de zona UTM se debe utilizar el programa para zonas específicas "sadiutm" (sistema de adquisición de Imágenes en coordenadas UTM). Este funciona con base en las esquinas de la zona de vuelo y en los valores iniciales de las variables, genera las líneas de vuelo y las grafica sobre el mapa de navegación en coordenadas UTM. Como este sistema utiliza unidades en metros nos da una mejor referencia de nuestra ubicación.

Cuando el levantamiento se tiene que llevar a cabo en un área donde existe cambio de zona UTM o se tienen que realizar líneas muy largas, se utiliza "sadigeo" (sistema de adquisición de Imágenes en coordenadas geográficas). Como este sistema utiliza unidades en grados, la referencia que se tiene de la ubicación para los que no estamos familiarizados, nos dice poco en comparación con la que nos proporciona el sistema UTM. Sin embargo su utilidad ha sido comprobada cuando los transectos son muy largos.

El programa que fue descrito en esta tesis corresponde a sadiutm, aunque la versión hasta este momento, más utilizada es la de sadigeo. Un levantamiento típico donde no existe cambio de zona UTM, se realizará con sadiutm, por lo que esta versión será la más utilizada en lo futuro.

# CAPÍTULO 5

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El objetivo de este capítulo es dar a conocer los principales resultados obtenidos y las pruebas realizadas al programa. A lo largo del desarrollo del mismo se estableció como una prioridad aplicar los principios de confiabilidad descritos en el capítulo 2. Se ha llevado a cabo la comprobación y el correcto funcionamiento por separado de las distintas etapas que conforman al programa, estas se integraron entre sí para verificar su funcionamiento en conjunto y así poder hacer los ajustes necesarios. Para poder realizar estos, se establecieron diversos tipos de pruebas para cada parte; las cuales variaron desde la comprobación de los resultados arrojados, la velocidad de respuesta del programa o el tiempo que tarda la computadora en procesar la información proveniente del GPS y entregar los pulsos de control al disparador de la cámara, hasta la posibilidad de fallo del programa por factores conocidos y errores del usuario que podían dar como resultado una falla generalizada. También se realizaron pruebas de circuitería, las cuales incluyeron: la comunicación a través de los puertos serial y paralelo de la computadora y la velocidad de procesamiento durante los procesos de conversión de coordenadas y despliegue del mapa móvil.

## 5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Dentro de cada una de las pruebas a realizar al sistema se debe tomar en cuenta que uno de los objetivos que se desea cumplir, es el que este sistema pueda ser utilizado por cualquier persona, sin importar el grado de conocimientos que se tenga sobre lo que el programa debe realizar; aunque siempre dando una breve introducción del mismo. Por ello se sometió al programa a la realización de pruebas con personas totalmente ajenas, y de esta forma se evaluaron además de las posibles fallas, la accesibilidad que el programa proporciona, es decir, que tanto entiende un usuario los datos que requiere el programa, que problemas se pueden ocasionar si se tiene confusión en el tipo de datos a introducir, que sucede con el programa al introducir datos erróneos etc.

Para realizar las pruebas se contó con una ventaja muy importante, que en este caso la proporcionó el GPS trabajando en su modo de simulación, a través del cual se

logro la transmisión de datos de georeferencia a la computadora, sin necesidad de estar en constante movimiento, además de que se tuvo la posibilidad de tener el equipo que realmente se va a utilizar, en el laboratorio y de esta forma comprobar que realmente el programa realice y controle lo que se pidió.

### **5.1.1 Pruebas de funcionamiento en tierra.**

Para las pruebas realizadas al programa y sistema en conjunto; se utilizó el siguiente equipo:

- Computadora de escritorio (Pentium III a 500 Mhz)
- GPS Garmin 12XL
- Cámara Digital, Kodak DSC 420
- Disparador de Cámara (Intervalómetro construido y diseñado para el desarrollo específico de esta tesis. Mencionado en el capítulo 4 en la sección de control de disparo de cámara).

A pesar de que durante el desarrollo del programa se comprobó que cada ecuación y algoritmo entregara los resultados adecuados, es siempre factible el que se halla cometido algún error, por esta razón en las pruebas finales al programa, se hizo una confrontación parte por parte de los resultados que arrojó el programa con resultados obtenidos a mano corrigiendo las fallas y teniendo la seguridad de que dichos datos estuvieran correctos.

#### **Pruebas Realizadas:**

Para comenzar el programa, se le dieron valores de configuración del sistema, es decir, que puerto utilizar de entrada y salida de datos, los nombres de los archivos en los cuales se debe guardar la información, la velocidad de transmisión de los datos de GPS a la Computadora, y la inserción de los datos necesarios para la planeación del levantamiento.

- **Inserción de datos:**

Esta información es utilizada para llevar a cabo cálculos posteriores, para prevenir errores en éstos, se tuvo la precaución de solo permitir la inserción de números o letras o su combinación dependiendo de cada campo, además de restringir el número de caracteres que cada campo utiliza. Como ejemplo, en el caso de la sobreposición lateral que se requiere como dato, este campo solo acepta dos dígitos

(éstos deben ser únicamente números), esto se dio como una medida para prevenir errores por parte del usuario. Para todos los campos se realizaron pruebas para comprobar su adecuado funcionamiento.

- **Verificación de datos arrojados:**

Proporcionando datos predeterminados y teniendo a la mano los resultados comprobados, se verificaron los resultados obtenidos para la fase de planeación, con ello se dio validez a los resultados arrojados por el programa, con solo un pequeño error de redondeo se dio como satisfactoria esta prueba.

Después de efectuar pruebas con datos válidos, se dieron valores extremos en las variables, es decir valores muy grandes o muy pequeños, verificando los resultados obtenidos en cada caso, no encontrándose errores significativos en los resultados.

La verificación también se continuó con la salida de los datos de la pantalla de planeación del levantamiento, con la inserción de las líneas de vuelo sobre el mapa digital del terreno, es decir la correcta graficación de las líneas sobre los mapas. Se tomaron mapas correctamente georeferenciados, cartas de zonas específicas e identificadas, se verificó la correcta posición de cada línea, además de comprobar la distancia entre cada una de ellas, esto fue verificado con la georeferencia que cada mapa tiene, basándonos en las líneas tenues paralelas a lo ancho y largo de cada mapa. Se proporcionaron datos con los cuales el programa debía hacer coincidir algunas de las líneas planeadas con las líneas de referencia del mapa, se pudo observar gráficamente cual podía ser el error cometido en el procesamiento y despliegue de las líneas en pantalla. Figura 5.1

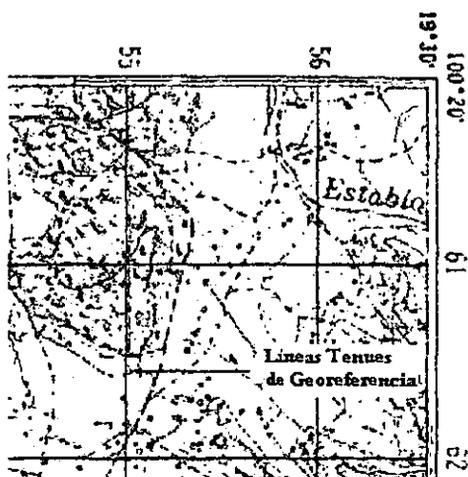


Figura 5.1 Líneas de georeferencia utilizadas para validar la correcta graficación.

Se observó que el programa entrega en la pantalla de forma precisa la colocación de los elementos, la exactitud de los resultados varía con la calidad de los mapas digitales que sean utilizados y de los datos de referencia que se le proporcionen al programa, es decir, la graficación es adecuada con cartas o mapas de buena calidad y datos bien proporcionados por el usuario.

- **Almacenamiento de datos de configuración y planeación.**

Una de las facilidades con las que cuenta el programa, es el guardado de todos los datos en archivos, para su utilización posterior. Esto se aplica inmediatamente en la planeación del levantamiento, ya que éste se puede realizar días o semanas antes del vuelo, introduciendo los datos al programa, el cual realiza los cálculos necesarios, entrega en la pantalla los resultados y la visualización del trabajo a realizar. Estos datos después de ser cargados, se pueden almacenar en archivos, esto facilita que en el momento de la realización de la toma de las fotografías solo se tenga que cargar dichos archivos de forma fácil y rápida para su utilización en cualquier instante. Para comprobar su correcto funcionamiento se efectuaron pruebas de almacenamiento, guardando en repetidas ocasiones datos en diferentes archivos, para los que se verificó su correcta lectura por el propio programa y procesadores de texto. Se pudo observar que en esta prueba el programa se comportó de manera correcta al almacenar y recuperar los datos.

## **PANTALLA PRINCIPAL**

En el momento de pasar a la pantalla principal del programa como se explica en el capítulo 4, se aplica la función de mapa móvil, la transformación de coordenadas geográficas a UTM, la visualización de la trayectoria, la velocidad, etc. Se le asignó el nombre de Pantalla Principal, debido a que en ella se lleva a cabo la realización de la parte más importante del trabajo: la captura y almacenamiento de los datos de referencia de cada toma, el control de disparo de la cámara, la visualización gráfica de los datos y su almacenamiento. Por esta razón se le dio mayor atención a cada prueba que se le realizó.

- **Transformación de Coordenadas**

Para llevar a cabo la evaluación de la rutina de transformación de coordenadas, se utilizó un archivo de datos entregado y transformado por el propio GPS. Esto se hizo en el modo de simulación, recibiendo datos en intervalos fijos de 1 segundo, obtenidos a través del programa proporcionado por GARMIN, denominado "PCX 5". Se comenzó en un punto bien definido y se proporcionó una trayectoria y una velocidad fijas, con lo que fue posible la comparación entre los datos transformados por el programa ("Sadi") y los que entrega el GPS. Los datos los tenemos en la siguiente tabla:

REALES		DATOS GPS			DATOS SADI		
LATITUDE	LONGITUDE	ZONE	EASTING	NORTHING	ZONE	EASTING	NORTHING
N34.2985402	E068.9068793	42S	491431	3795262	42S	491434	3795260
N34.2990568	E068.9068793	42S	491431	3795320	42S	491434	3795319
N34.2995568	E068.9068793	42S	491431	3795375	42S	491433	3795372
N34.3000567	E068.9068793	42S	491431	3795430	42S	491434	3795425
N34.3005567	E068.9068793	42S	491431	3795486	42S	491433	3795487
N34.3010567	E068.9068793	42S	491431	3795541	42S	491434	3795540
N34.3015566	E068.9068792	42S	491431	3795597	42S	491432	3795599
N34.3020566	E068.9068792	42S	491431	3795652	42S	491434	3795654
N34.3025566	E068.9068792	42S	491431	3795708	42S	491434	3795712
N34.3030566	E068.9068792	42S	491432	3795763	42S	491434	3795761
N34.3035565	E068.9068792	42S	491432	3795818	42S	491431	3795813
N34.3040563	E068.9068792	42S	491432	3795874	42S	491432	3795875
N34.3045565	E068.9068792	42S	491432	3795929	42S	491433	3795933
N34.3050565	E068.9068793	42S	491432	3795985	42S	491433	3795985
N34.3055564	E068.9068793	42S	491432	3796040	42S	491433	3796042

*Tabla 5.1 Comparación entre datos transformados por el programa y los entregados por el GPS en modo de simulación.*

Como podemos observar en la tabla, el error puede variar dependiendo de la zona, pero éste se encuentra entre el 0.0001% y 0.00003%, (que en el terreno implica una variación de 1 a 4 metros) lo cual se considera que es un error de redondeo al efectuar las operaciones de transformación. Por otra parte sabemos que el error inherente del GPS es del 2% al 3%, por lo que se considera que el único error existente en este proceso, es el que aporta el GPS.

### **Disparo Automático y Semiautomático de la Cámara.**

Lo primero que se verificó fue que realmente con el pulso enviado por la computadora, y tomado por el Intervalómetro, diera como resultado el disparo de la cámara, es decir, la cámara es disparada al enviar la señal adecuada a través del puerto paralelo. Se realizaron más de 300 disparos continuos de la cámara, a intervalos de 6 segundos, dando como resultado 300 tomas, esto nos indicó que el pulso enviado es el correcto.

El programa al funcionar en la modalidad de disparo automático debe ser preciso, es decir, debe dar un intervalo tal, para que cada toma tenga la sobreposición adecuada de acuerdo a lo que el usuario solicita. Se realizaron pruebas disparando la cámara a tan solo 1 metro de distancia del suelo, sobre una superficie definida y medida previamente, obteniendo imágenes a disparo automático, con la modalidad del GPS en simulador, dando una velocidad constante. Se calcularon en el escritorio los valores de tiempo que se debían obtener y se compararon, dando como resultado un error despreciable.

En la modalidad de disparo Semiautomático, se llevó a cabo la comprobación de la velocidad de reacción del programa. Era importante saber si alguna rutina podría interferir con la orden de disparo, cambiando los valores de tiempo con los cuales el usuario desea obtener las imágenes. Se midieron los tiempos en que el programa disparó la cámara entre cada toma. Se hicieron seis series de disparos a 6, 8,10,11,13 y 20 segundos, con 10 tomas cada serie, cronometrando los disparos hechos por la cámara.

TIEMPO	6 seg.	8 seg.	10 seg.	11 seg.	13 seg	20 seg
	6.05	8.11	9.97	11.03	13.11	20.05
	6.12	7.93	10.07	11.06	13.15	20.11
	5.95	7.98	9.95	11.01	13.08	19.84
	6.01	8.04	10.03	10.92	12.98	19.91
	5.89	7.99	9.94	10.98	13.02	19.85
	5.81	8.09	9.98	11.03	12.92	19.97
	6.13	8.01	10.05	11.12	13.04	20.09
	5.91	7.96	10.01	10.99	13.01	20.15
	5.93	8.08	9.91	10.91	13.14	20.02
	6.09	8.02	9.89	11.13	12.99	19.87
ERROR	0.18%	0.26%	0.20%	0.16%	0.34%	0.07%

*Tabla 5.2 Tabla de tiempos cronometrados por disparo de la cámara.*

El error observado es de solo algunas centésimas de segundo, que para este caso es un error no significativo, y por tanto, se tiene la confianza que el programa enviará la señal de disparo de la cámara en el momento indicado.

- **Almacenamiento de datos de GPS y referencia de cada toma fotográfica.**

Esta prueba esta enfocada a la comprobación de que el programa almacene para cada toma de la cámara los datos de georeferencia, esta prueba se realizó al mismo tiempo que la de disparo de cámara, esto quiere decir que para 300 disparos realizados, se obtuvieron 300 datos de georeferencia para cada toma. Esto significó 1800 datos capturados, con los que se pudo observar gráficamente la trayectoria que se siguió en la pantalla (GPS en el modo de simulación), almacenados en sus respectivos archivos de extensión .fot para los datos de cada toma y .trk para la trayectoria seguida. Con esto se comprobó que el programa es también confiable en el almacenamiento de los datos del centro de toma de cada imagen.

- **Detección de falla de recepción de los datos del GPS.**

Esta prueba tiene como objetivo, observar el comportamiento del programa al carecer de la señal de GPS, generando tres tipos de falla:

- Desconexión de cables.
- Falla del GPS: en la captación de las señales de satélite, en su batería, desconexión de la antena o apagado accidental.
- Selección incorrecta del protocolo de comunicación.

Estas son las tres fallas más probables, y que fueron tomadas con base en la opinión de usuarios regulares de GPS y del manual de referencia del propio GPS. Se observó que cada falla generada intencionalmente, el programa siempre la detectó, haciendo que éste entrara en pausa desplegando siempre el mensaje de: "Falla de GPS".

- **Prueba del correcto funcionamiento del programa en forma continua.**

La continuidad en el funcionamiento correcto del programa durante periodos de tiempo determinados, es una prueba necesaria para asegurar el correcto despliegue y manipulación de gráficos en conjunto con el almacenamiento de gran cantidad de información, recepción de datos y control de dispositivos externos. Con esta prueba se evaluaron las características propias del programa, debido a que pueden ocurrir fallas, por diversas causas, como son: la inadecuada administración de la memoria para procesamiento o almacenamiento de información, el lento procesamiento debido a sobre saturación en cálculos requeridos, es decir, la no planeación y simplificación de algoritmos para la resolución de cálculos, esto puede llevar a que el programa solo trabaje adecuadamente durante un lapso de tiempo corto, y posteriormente se sature.

Se puso a prueba el programa durante un periodo de 5 horas bajo observación continua, con el GPS en modo de simulación y colocando un circuito de simulación de disparo de la cámara, el cual, con el encendido de un LED, nos mostraba el disparo, llevando a cabo al mismo tiempo el almacenamiento de datos.

Como resultado de esta prueba y las anteriores se concluyó que el funcionamiento del sistema es correcto, cubriendo las necesidades exigidas al programa.

### **5.1.2 Pruebas de funcionamiento en vuelo.**

La mejor forma de comprobar el funcionamiento del sistema completo, es la realidad, en este caso, la necesidad de la utilización del sistema dio la oportunidad de ponerlo a prueba en proyectos de importancia significativa.

La primera prueba se realizó utilizando el siguiente equipo:

- Computadora portátil (Toshiba modelo 4010 CDS) Pentium II de 266 MHZ.
- Cámara Digital Kodak DSC 420.
- GPS Garmin 12XL.
- Disparador de Cámara ("intervalómetro" diseñado y construido para este proyecto específico de tesis. Cap. 4 Control de disparo de cámara).

Todo el equipo fue montado en un pequeño avión cessna 206, el cual está acondicionado especialmente para la toma de fotografía aérea. Este primer vuelo de prueba del equipo tuvo una duración 1 hora y 30 minutos. Esta prueba dio como resultado la captura de 200 imágenes aéreas a una altura de 4560 m sobre el nivel del mar (15 mil pies) donde se obtuvieron para cada imagen sus respectivos datos de referencia geográfica. Se utilizó el programa con la pantalla principal para la navegación y corrección del rumbo de la aeronave, y disparando la cámara utilizando el modo semiautomático. El vuelo tuvo que ser interrumpido por la falla de la batería principal que alimenta al equipo, los resultados de la prueba fueron satisfactorios, no detectando fallas en el programa, solo reflejando la necesidad de la utilización de una batería de mayor duración, ya que ésta alimenta a todo el sistema (la computadora, la cámara etc.).

Con esta primera prueba, y algunas otras donde se corrigieron pequeñas fallas como ajustar el contador de disparo de la cámara, se tomó la confianza de utilizar el sistema en proyectos de gran magnitud e importancia. Una aplicación muy interesante que se puede llevar a cabo con este sistema, es la de realizar muestreos; por la gran resolución que es posible obtener sobre el terreno (del orden de cm), ya que con ellos es posible hacer estimaciones de cosechas y hacer reconocimiento de todo tipo de vegetación. Con estos antecedentes se dio la oportunidad de probar el sistema en el proyecto "Inventario Nacional Forestal", que se realizó en el Instituto de Geografía de la UNAM, por encargo de la SEMARNAP. Nuestro objetivo fue el llevar a cabo la adquisición de imágenes de todo el país sobre una retícula de 50x50 km en el Centro, Sur y Sureste y de 100x100 km en el Norte, con la finalidad de proporcionar una herramienta de validación de los resultados de la interpretación realizada con imágenes de satélite. Esta fue una oportunidad muy interesante de poner a prueba el trabajo realizado. De este proyecto surgió la necesidad de llevar a cabo una segunda versión del programa que pudiera manejar líneas largas (de cientos de kilómetros) y donde se vio la necesidad de utilizar las coordenadas geográficas para el mejor manejo de la posición de la nave en el mapa móvil. Para la realización de este trabajo se utilizó el siguiente equipo:

- Computadora portátil (Toshiba modelo 4010 CDS) Pentium II de 266 MHZ.
- Cámara Digital Nikon D1.
- GPS Garmin 3 Plus.
- Disparador de Cámara.

Se decidió la utilización de una cámara digital nueva, de recién lanzamiento al mercado y de otro modelo de GPS, ambos aparatos de mejor calidad. Se tuvieron que hacer pruebas de funcionamiento adicionales, sin mayores contratiempos.

Se utilizaron dos tipos de avión:

- Cessna 441 bimotor turbo hélice, con una velocidad de entre 300 a 550 km/h.
- Cessna 310 bimotor de hélice, con una velocidad de entre 200 a 300 km/h.



*Figura 5.2 Fotografía del equipo instalado en el interior del avión cessna 441.*

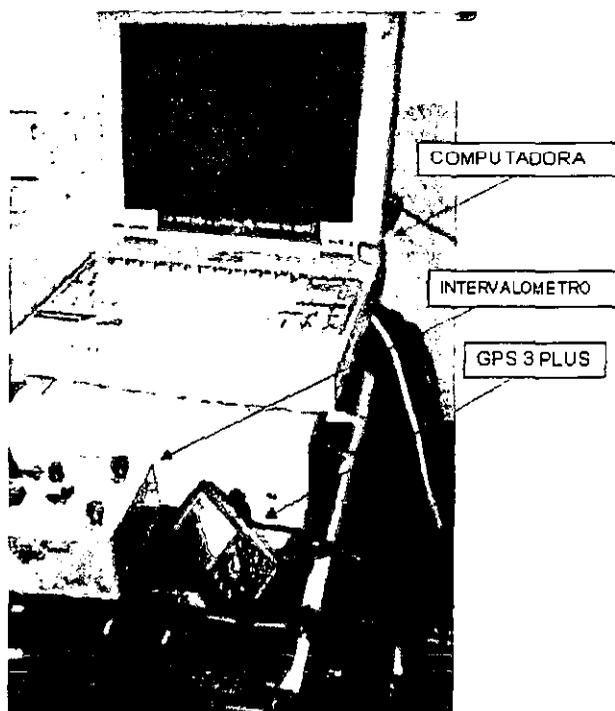
La importancia de mencionar el tipo de avión utilizado es debido a las diferencias entre ambas aeronaves; mientras que el cessna 441 cuenta con cabina presurizada, el 310 no, por lo tanto, es necesario evaluar el comportamiento del sistema y el equipo en situaciones distintas. Ambos aviones tomaron alturas de vuelo similares, por lo que se pudo observar el comportamiento del equipo a grandes alturas y por lo tanto a distinta presión atmosférica, y grandes diferencias de temperatura, además

de tener dos velocidades en vuelo muy distintas, y esto nos lleva a que con el avión más rápido, el sistema debe tener una velocidad de respuesta mayor, debido a que se deben tomar las imágenes a intervalos menores. Todas estas situaciones se pudieron evaluar debido a la magnitud del proyecto que implicó transectos a lo largo y ancho del país.

Lo que se pudo observar durante los vuelos fue lo siguiente:

- Las imágenes se obtuvieron a una altura de entre 9,000 y 20,000 pies (2,700 a 6,000 metros) de altura sobre el nivel del mar, con ambos aviones.
- Las temperaturas variaban entre 1° a 20° centígrados.
- Existencia de vibración y gran movimiento.

Se realizaron vuelos durante un periodo de 6 meses, haciendo vuelos diarios de entre 20 a 35 días seguidos, con una duración de entre 2 a 4.5 horas por vuelo.



*Figura 5.3 Fotografía del equipo en prueba de vuelo.*

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES.

**De la realización de este proyecto podemos desprender lo siguiente:**

- Mediante el desarrollo de esta tesis se lograron avances significativos en la construcción de un sistema de adquisición de imágenes aéreas digitales de alta resolución de muy bajo costo, comparado con los sistemas aerofotográficos convencionales; y que aunque no los sustituye, si representa una alternativa para muchas aplicaciones.
- Se ha desarrollado la programación necesaria para llevar a cabo la planeación de los levantamientos aéreos y el monitoreo durante su realización, con lo que se ha conseguido aumentar la eficiencia en la captura de imágenes, pasando de entre 20 y 60 % a un 90% en promedio.
- Se han establecido las bases para el futuro desarrollo de programas de navegación utilizando el sistema de posicionamiento Global (GPS), que pueden ser no solo aéreos, sino también marítimos o terrestres.
- La posibilidad de almacenar los datos de la posición del centro de la toma de cada imagen, permitirá lograr la formación de mosaicos de la zona de estudio de una manera más sencilla y a mayor velocidad.
- Se ha probado de manera extensiva el sistema de adquisición de imágenes en levantamientos a lo largo del país, con la adquisición de 60,000 imágenes aproximadamente. Una aplicación, como el muestreo de campo, ha sido ampliamente comprobada en proyectos como el Inventario Nacional Forestal, donde fue posible hacer una validación de los resultados obtenidos en la clasificación de especies vegetales, realizada con imágenes de satélite.
- Se llevaron a cabo dos versiones del programa; una cuando se realizan levantamientos en una sola zona UTM y otra donde es posible manejar coordenadas geográficas, para levantamientos que incluyen dos o más zonas UTM o cuando se realizan transectos de cientos de kilómetros.

Para mejorar el funcionamiento de este sistema es pertinente hacer las siguientes recomendaciones:

- Dar al sistema la posibilidad de intercambio de información con la cámara, teniendo la posibilidad a futuro de controlar todas las funciones de ésta, como pueden ser el enfoque, la abertura de diafragma, zoom, respaldo de información etc.
- La utilización de equipo de cómputo que sea más tolerante a bajas temperaturas y vibraciones.
- Construir conectores apropiados, de fácil manipulación y colocación para la conexión de la cámara y su disparador (Intervalómetro).
- Llevar a cabo estadísticas de las fallas del sistema para identificar componentes o procedimientos críticos y evitar en la medida de lo posible las fallas.

# APÉNDICE A

## Transformación de coordenadas Geográficas a UTM

Fórmulas para el elipsoide de referencia

### Dimensiones

El modelo matemático de la tierra utilizado en cálculos geodésicos es un elipsoide de revolución llamado "elipsoide de referencia" generado por la rotación de una elipse levemente aplastada, alrededor de su eje menor (fig. B.1). Esta superficie queda completamente definida por dos parámetros que pueden elegirse de varias maneras. A continuación se dan las constantes más comunes de los parámetros de un elipsoide de referencia.

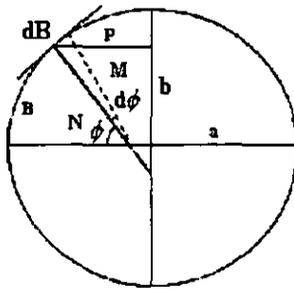


Figura A.1 Elipsoide de referencia.

En EU, Canadá y México se utilizan los parámetros del elipsoide de Clarke de 1866, mientras que el Elipsoide Internacional, es la figura de referencia utilizada en muchos países de Europa y América del Sur.

	Elipsoide Internacional (Hayford. 1909)	Elipsoide Clarke 1866
Semieje Ecuatorial (m)	$a = 63783880000^*$	$6378206.40000^*$
Semieje Polar (m)	$b = (1 - f) = 6356911.94613$	$6356583.80000^*$
Aplastamiento	$f = (a - b) / a = 1 / 279.000000^*$	$1 / 294.978698$
Radio de curvatura Polar (m)	$c = a^2 / b = 6399936.60811$	$6399902.55159$
Cuadrado de la segunda Excentricidad	$e^2 = (a^2 - b^2) / b^2 = 0.006768170197$	$0.006814784946$

\*valor exacto

## Latitud y longitud

La posición de los puntos geodésicos sobre el elipsoide de referencia se define utilizando las coordenadas geográficas: latitud y longitud. En un punto dado, la latitud geodésica se define como el ángulo entre la normal al elipsoide y el plano del Ecuador. La longitud es el ángulo a partir del Meridiano de referencia (Greenwich). Las latitudes al Norte del Ecuador y las longitudes al Este de Greenwich, son consideradas en los cálculos como positivas; las latitudes al Sur del Ecuador y las longitudes al Oeste de Greenwich como cantidades negativas. A continuación se incluyen algunas cantidades fundamentales del elipsoide de referencia, su notación y algunas relaciones básicas.

### Funciones de latitud geodésica $\phi$

Cuadrado de la función $V$	$V^2 = 1 + e^2 \cos^2 \phi$	(2-2)
Radio de curvatura de la sección Meridiana	$M = c / V^3 = cV^{-3}$	(2-3)
Radio de curvatura de la sección Normal $V$ , perpendicular al meridiano (longitud de la normal)	$N = c / V = cV^{-1}$	(2-4)
Radio de curvatura en un azimut $\alpha$	$R_\alpha = c[V + (V^3 - V) \cos^2 \alpha]^{-1}$	(2-5)
Radio medio de curvatura	$R = \sqrt{MN} = cV^{-2}$	(2-6)
Radio del paralelo	$P = N \cos \phi$	(2-7)
Longitud del arco de meridiano desde El Ecuador hasta la longitud $\phi$	$B = \int_0^\phi M d\phi$	(2-8)
Latitud correspondiente a una determinada longitud de arco de meridiano $B = x$	$\phi_1 = \int_0^x M^{-1} dB$	(2-9)

La convención de signos adoptada para la latitud, implica dar a los arcos del meridiano  $B$  valores negativos al sur del Ecuador. La función  $V$  se considera siempre como negativa.

### Longitud de un arco de meridiano

La necesidad de utilizar la longitud rectificada del meridiano central en el sistema TM, involucra el cálculo numérico de la integral elíptica (2.8) y de la función elíptica (2-9), mediante desarrollos en serie, debido a que no tienen solución cerrada. Cualquiera de los métodos que se formulan a continuación pueden elegirse para programar estas importantes subrutinas.

**Fórmulas Convencionales.** Una fórmula general ( hasta  $e^{10}$  ) para calcular la longitud del arco de meridiano del ecuador a cualquier latitud es:

$$B = A_0 c \phi - A_1 c \operatorname{sen} \phi \cos \phi (1 + A_2 \operatorname{sen}^2 \phi + A_3 \operatorname{sen}^4 \phi + A_6 \operatorname{sen}^6 \phi + A_8 \operatorname{sen}^8 \phi) \quad (2-10a)$$

donde

$$A_0 = 1 - \frac{3}{4} e^2 \left\{ 1 - \frac{15}{16} e^2 \left[ 1 - \frac{35}{36} e^2 \left( 1 - \frac{63}{64} e^2 \left( 1 - \frac{99}{100} e^2 \right) \right) \right] \right\}$$

$$A_1 = \frac{3}{4} e^2 \left\{ 1 - \frac{25}{16} e^2 \left[ 1 - \frac{77}{60} e^2 \left( 1 - \frac{837}{704} e^2 \left( 1 - \frac{2123}{1860} e^2 \right) \right) \right] \right\}$$

$$A_2 = \frac{5}{8} e^2 \left[ 1 - \frac{139}{144} e^2 \left( 1 - \frac{1087}{1112} e^2 \left( 1 - \frac{513427}{521760} e^2 \right) \right) \right]$$

$$A_3 = \frac{35}{72} e^4 \left( 1 - \frac{125}{64} e^2 \left( 1 - \frac{221069}{1500000} e^2 \right) \right)$$

$$A_6 = \frac{105}{256} e^6 \left( 1 - \frac{1179}{400} e^2 \right)$$

$$A_8 = \frac{231}{640} e^8$$

o numéricamente para el elipsoide Clarke de 1866

$$\begin{aligned}
 B = & 6367399.68917\phi \\
 & - 32365.18693\text{sen}\phi \cos\phi \left(1 + 0.0042314080\text{sen}^2\phi\right) \\
 & + 0.0000222782\text{sen}^4\phi + 0.0000001272\text{sen}^6\phi \\
 & + 0.0000000008\text{sen}^8\phi
 \end{aligned}
 \tag{2-10b}$$

y para el Elipsoide Internacional:

$$\begin{aligned}
 B = & 6367654.50006\phi \\
 & - 32146.29786\text{sen}\phi \cos\phi \left(1 + 0.0042026520\text{sen}^2\phi\right) \\
 & + 0.0000219764\text{sen}^4\phi + 0.0000001246\text{sen}^6\phi \\
 & + 0.0000000008\text{sen}^8\phi
 \end{aligned}
 \tag{2-10c}$$

donde  $\phi$  se expresa en radianes, y  $B$  en metros.

La misma fórmula puede utilizarse para calcular la latitud  $\phi_1$  que corresponde a una determinada longitud de arco de meridiano  $B = x$ . El proceso se basa en aproximaciones sucesivas

$$\phi_{(1)}, \phi_2, \dots, \phi_n$$

$$\phi_{(1)} = \frac{x}{A_0 C}$$

$$\phi_2 = \phi_{(1)} + \frac{x - B_{(1)}}{A_0 C}$$

$$\phi_1 = \phi_n \quad , \quad \text{Cuando } B_n = x$$

Las funciones trigonométricas pueden calcularse a partir de la función exponencial  $e^x$  usando las fórmulas.

$$\begin{aligned}
 \text{sen}\phi &= \frac{e^\phi - e^{-\phi}}{2} - \frac{\phi^3}{3} \left[ 1 + \frac{\phi^4}{840} \left( 1 + \frac{\phi^4}{7920} \left( 1 + \frac{\phi^4}{32760} \right) \right) \right] \\
 \cos\phi &= \frac{e^\phi + e^{-\phi}}{2} - \phi^2 \left\{ 1 + \frac{\phi^4}{360} \left[ 1 + \frac{\phi^4}{5040} \left( 1 + \frac{\phi^4}{24024} \left( 1 + \frac{\phi^4}{73440} \right) \right) \right] \right\}
 \end{aligned}
 \tag{2-11) y (2-12)}$$

las cuales, en cálculos con 12 cifras, darán por lo menos diez decimales correctos, para  $90^\circ < \phi < +90^\circ$ . La conversión de radianes segundos de arco se obtiene con el equivalente  $p'' = 206\,264.806\,247$ .

Vamos a poner un ejemplo: Encontrar en el Elipsoide Clarke de 1866, la latitud a mitad de camino entre el polo N y el Ecuador. La mitad de un cuadrante de meridiano es:

de (2-10b)

$$x = \left(\frac{1}{2}\right) \times 6367399.68917 \times \frac{90 \times 3600''}{206264''.806247} = 50009444.021$$

Primera aproximación:

$$\phi_{(1)} = \frac{5000944.021}{6367399.689} = 0.7853981634, (= 45^\circ)$$

$$x = 5000944.021$$

$$\text{sen}\phi_{(1)} = 0.7071067812, B_{(1)} = 4984727.100$$

$$\text{cos}\phi_{(1)} = 0.7071067812$$

$$x - B_{(1)} = 16216.921$$

Segunda aproximación:

$$\phi_2 = \phi_{(1)} + \frac{16216.921}{6367399.7} = 0.7879450305 \quad x = 5000944.021$$

$$\text{sen}\phi_2 = 0.7089053930 \quad B_2 = 5000944.056$$

$$\text{cos}\phi_2 = 0.7053035828 \quad x - B_2 = -0.035$$

Tercera aproximación:

$$\phi_3 = \phi_2 + \frac{-0.035}{6367400} = 0.7879450250 = 45^\circ 08' 45''.3279 N$$

El mismo cálculo sobre el Elipsoide Internacional daría una latitud:  $45^\circ, 08' 41''$ . 7467N.

**Fórmulas de latitud media.** La ecuación (2-10) es universal en su aplicación, puesto que involucra la iteración en el cálculo  $\phi_1$ . El siguiente desarrollo de Taylor ofrece fórmulas numéricas más convenientes para utilizarse en levantamientos urbanos.

La longitud del arco del meridiano desde el Ecuador hasta la latitud  $\phi$  esta dada por la serie:

$$B = B_m + B_1(\phi - \phi_m) + B_2(\phi - \phi_m)^2 + B_3(\phi - \phi_m)^3 + B_4(\phi - \phi_m)^4 + \dots, \quad (2-13a)$$

donde  $B_m$  representa la longitud del arco de meridiano hasta la latitud media  $\phi_m$  y los coeficientes son:

$$B_1 = c(1 + e'^2 \cos^2 \phi_m)^{-3/2} = cV_m^{-3}$$

$$B_2 = \frac{3}{2} ce'^2 \sin \phi_m \cos \phi_m V_m^{-5}$$

$$B_3 = \frac{1}{2} ce'^2 (2 \cos^2 \phi_m - 1) V_m^{-5} + \frac{5}{2} ce'^4 \sin^2 \phi_m \cos^2 \phi_m V_m^{-7}$$

$$B_4 = -\frac{1}{2} ce'^2 \sin \phi_m \cos \phi_m V_m^{-5} + \frac{15}{8} ce'^4 \sin \phi_m \cos \phi_m (2 \cos^2 \phi_m - 1) V_m^{-7}$$

$$+ \frac{35}{8} ce'^6 \sin^3 \phi_m \cos^3 \phi_m V_m^{-9}$$

Suponiendo que la latitud  $\phi$  está entre  $\phi_m \pm 2^\circ$ , cinco términos de la serie son suficientes para calcular  $B$  con un error menor de 0.3 milímetros.

Ejemplo 2. Elipsoide Clarke 1866,  $\phi_m = 44^\circ$ ,  $\sin \phi_m = 0.694\ 658\ 3705$  de (2-10b),

$\cos \phi_m = 0.719\ 339\ 8003$ ,  $B_m = 4\ 873\ 606.0900$  sustituyendo en (2-13a)

$$\phi - \phi_m = (7200''/\rho'')(\phi)$$

y calculando los coeficientes de las potencias  $(\phi)$

Elipsoide Clarke 1866, latitudes  $42^\circ 00''$ -  $46^\circ 00''$ N,

$$B = 4\ 873\ 606.0900 + 222\ 222.2705(\phi) + 39.4834(\phi)^2 + 0.0399(\phi)^3 - 0.0160(\phi)^4$$

Donde

$$(\phi) = \frac{\phi^* - 44^\circ}{2^\circ} = \frac{\phi'' - 1584000}{7200''} \quad (2-13b)$$

Latitud  $\phi_1$ , que corresponde a una longitud dada  $B = x$ , de un arco meridiano puede expresarse similarmente por las series.

$$\phi_1 = \phi_m + c_1(x - x_m) + c_2(x - x_m)^2 + c_3(x - x_m)^3 + c_4(x - x_m)^4 + \dots, \quad (2-14a)$$

donde  $\phi_m$  es la latitud que corresponde al punto central del arco  $B = x_m$  y los coeficientes son :

$$c_1 = c^{-1} (1 + e'^2 \cos^2 \phi_m)^{3/2} = c^{-1} V_m^3$$

$$c_2 = -\frac{3}{2} c^{-2} e'^2 \sin \phi_m \cos \phi_m V_m^4$$

$$c_3 = -\frac{1}{2} c^{-3} e'^2 (2 \cos^2 \phi_m - 1) V_m^7 + 2c^{-3} e'^4 \sin^2 \phi_m \cos^2 \phi_m V_m^5$$

$$c_4 = \frac{1}{2} c^{-4} e'^2 \sin \phi_m \cos \phi_m V_m^{10} + \frac{15}{8} c^{-4} e'^4 \sin \phi_m \cos \phi_m (2 \cos^2 \phi_m - 1) V_m^8$$

$$-\frac{5}{2} c^{-4} e'^6 \sin^3 \phi_m \cos^3 \phi_m V_m^6$$

La serie (2-14a) tiene las mismas limitaciones en su aplicación que la (2-13a)

Ejemplo 3 Elipsoide de Clarke 1866,  $x_m = 4\,900\,000$ . De (2-10a) por iteración,  $\phi_m = 0.772\,09\,728\,15$ ,  $\sin \phi_m = 0.697\,634\,6724$ ,  $\cos \phi_m = 0.716\,453\,6723$ .

sustituyendo en (2-14a)

$$x - x_m = 200\,000(x)$$

y calculando los coeficientes para las potencias de  $(x)$ :

Elipsoide Clarke 1866,  $x : 4\,700\,000 - 5\,100\,000$ :

$$\phi_1 = 0.770972815 + 0.03141459366(x) - 0.00000502465(x)^2 - 0.00000000209(x)^3$$

$$+ 0.00000000165(x)^4, \quad (2-14b)$$

donde

$$(x) = \frac{x - 4900000}{200000}.$$

Las fórmulas (2-13a) y (2-14a) pueden verificarse recíprocamente, por ejemplo  $(\phi) = 1$  y calcular  $\phi$  ( $= 46^\circ$ ).

### Precisión de las coordenadas geográficas

Las latitudes y las longitudes de la red geodésica fundamental aparecen usualmente en unidades del sistema sexagesimal (grados, minutos y segundo de arco) con tres o cuatro decimales en la cifra de los segundos. En la superficie del elipsoide,

1" de latitud equivale a unos 31 m

1" de longitud equivale a unos  $31 \text{ m} \cos \phi$  m

Esto significa que latitudes y longitudes redondeadas a tres cifras decimales corresponden a precisiones en posición de  $\pm 15$  y  $\pm 15 \cos \phi$  milímetros sobre el elipsoide.

### COORDENADAS DE LA CUADRICULA TM

Transformación de coordenadas geográficas a TM

Las coordenadas geográficas  $(\phi, \lambda)$  de una estación geodésica se transforman en coordenadas TM  $(x, y)$  aplicando las fórmulas generales

$$\begin{aligned} x - B &= a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + \dots \\ y &= a_1 l + a_3 l^3 + a_5 l^5 + \dots \end{aligned} \quad (2-15a)$$

donde  $l = \lambda - \lambda_0$  es la diferencia en longitud desde el meridiano central  $\lambda_0$  en radianes, y B es la longitud de arco del meridiano desde el Ecuador a la latitud  $\phi$ , siendo los coeficientes:

$$a_1 = P = N \cos \phi = c \left[ \left( \frac{1}{\cos \phi} \right)^2 + e'^2 \right]^{-1/2}$$

$$a_2 = \frac{1}{2} a_1 \sin \phi$$

$$a_3 = \frac{1}{6} a_1 (-1 + 2 \cos^2 \phi + e'^2 \cos^4 \phi)$$

$$a_4 = \frac{1}{12} a_2 (-1 + 6 \cos^2 \phi + 9e'^2 \cos^4 \phi + 4e'^4 \cos^6 \phi)$$

$$a_5 = \frac{1}{120} a_1 [1 - 20 \cos^2 \phi + (24 - 58e'^2) \cos^4 \phi + 72e'^2 \cos^6 \phi + \dots]$$

$$a_6 = \frac{1}{360} a_2 (1 - 60 \cos^2 \phi + 120 \cos^4 \phi + \dots)$$

funciones de la latitud  $\phi$ . Si la longitud  $\lambda$  está dentro de  $\lambda_0 = \pm 3^\circ 30''$ , tres términos del desarrollo son suficientes para calcular  $x$  y  $y$  con exactitud, a partir de coordenadas geográficas redondeadas al cuarto lugar decimal en los segundos. Los siguientes ejemplos ilustran la disposición de cálculos.

**Ejemplo4 . Elipsoide Clarke 1866. Meridiano Central  $75^\circ$  Oeste**

**Dada:** Latitud  $45^\circ 53' 38''.3854N$

Longitud  $77^\circ 55' 03''.8473$

$$l = -2^\circ 55' 03''.8473$$

$$= -0.0509240888$$

Calcular  $x, y$  ( en m)

De (2-10b) ó (2-13b),  $\sin \phi = 0.7180533721$ ,  $\cos \phi = 0.6959880422$  y

$B = 5084085.5903$  entonces

$$P = \frac{6399902.5516}{\sqrt{(1/\cos \phi) + 0.00681478495^2}} = 4446921.878$$

$$x = B + \frac{Pl^2}{2} \operatorname{sen}\phi \left[ 1 + \frac{l^2}{12} (-1 + 6 \cos^2 \phi + 0.06133 \cos^4 \phi + 0.00019 \cos^6 \phi) \right] \\ + \operatorname{sen}\phi \left[ \frac{l^4}{360} (1 - 60 \cos^2 \phi + 120 \cos^4 \phi) \right]$$

$$y = Pl \left[ 1 + \frac{l^2}{6} (-1 + 2 \cos^2 \phi + 0.0068148 \cos^4 \phi) \right] + \\ \frac{l^4}{120} (1 - 20 \cos^2 \phi + 23.6047 \cos^4 \phi + 0.4707 \cos^6 \phi)$$

Resultado:  $x = 5\,088\,227.618$  m,  $y = -226\,452.508$  m.

### Coordenadas UTM y coordenadas TM modificadas

UTM es un sistema mundial de coordenadas planas en fajas de 6° de ancho, preparado sobre la proyección TM para cubrir latitudes hasta de 80°. Los meridianos centrales están ubicados a 3°, 9°, etc., de longitud al Este y al Oeste de Greenwich. Las coordenadas Norte y Este del sistema UTM están relacionadas a las coordenadas  $x$ ,  $y$ , correspondientes al sistema TM a través de las siguientes ecuaciones.

Hemisferio norte (metros)	Hemisferio sur (metros)
$N = 0.9996x$	$N = 10000000 + 0.9996x$
$E = 500000 + 0.9996y$	$E = 500000 + 0.9996y$
ó	ó
$x = N/0.9996$	$x = (N - 10000000 + 0.9996x)/500000 + 0.9996$
$y = (E - 500000)/0.9996$	$y = (E - 500000)/0.9996$

El factor constante  $m_0 = 0.9996$  se denomina factor de escala central; su objetivo es reducir el valor máximo del factor de escala en las zonas de proyección.

Los sistemas TM de coordenadas planas que utilizan un factor de escala central diferente de la unidad son llamados "sistemas modificados". Uno de los más empleados es el sistema TM modificado en fajas de tres grados que aplica un factor de escala central  $m_0 = 0.9999$ , en zonas de proyección de 3° de amplitud en longitud.

# APÉNDICE B

## DIAGRAMAS DEL SISTEMA

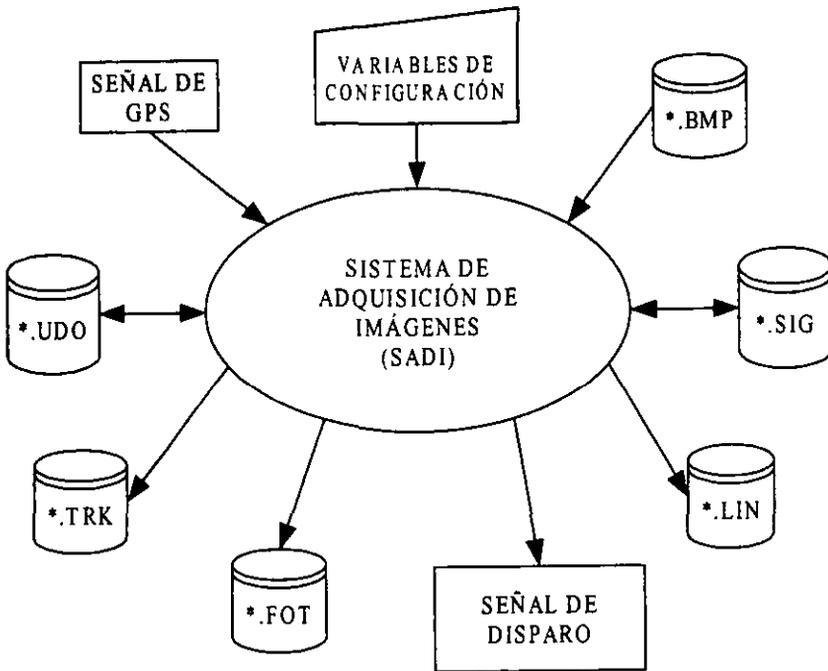


DIAGRAMA DEL SISTEMA EN GENERAL

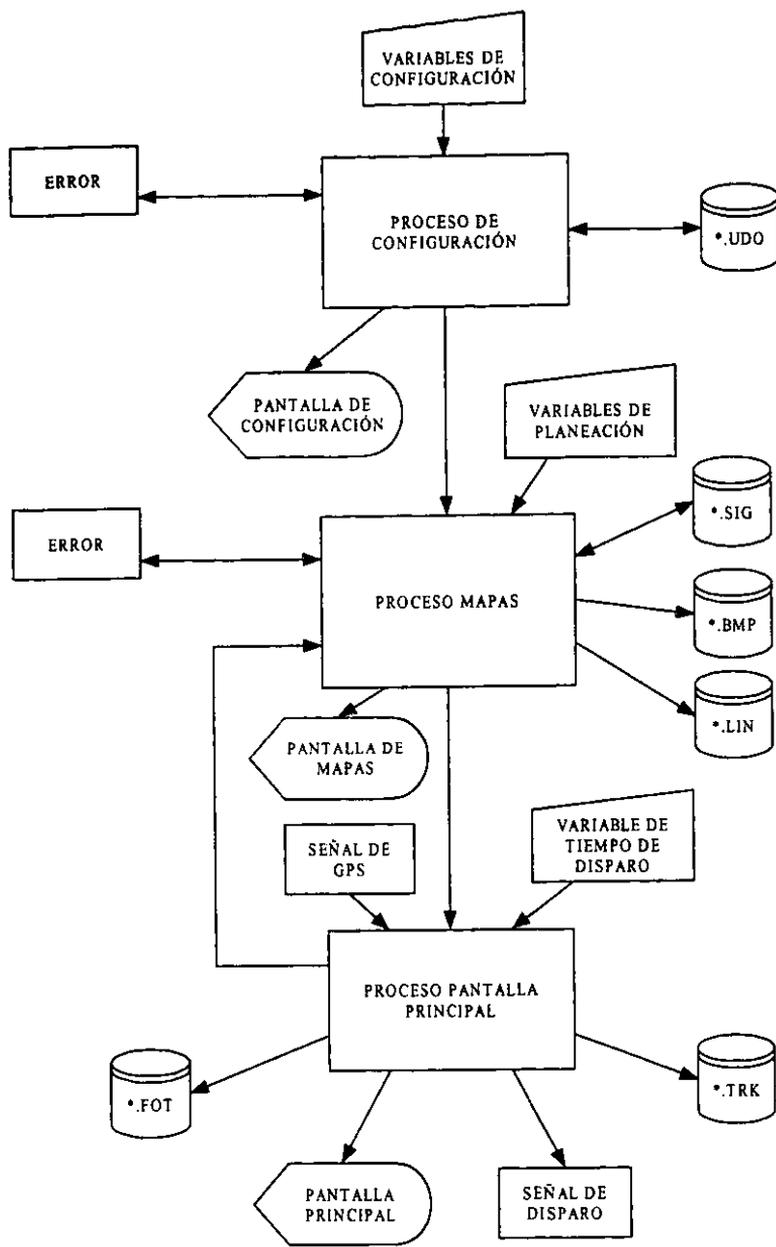


DIAGRAMA DE BLOQUES PRINCIPALES DEL SISTEMA

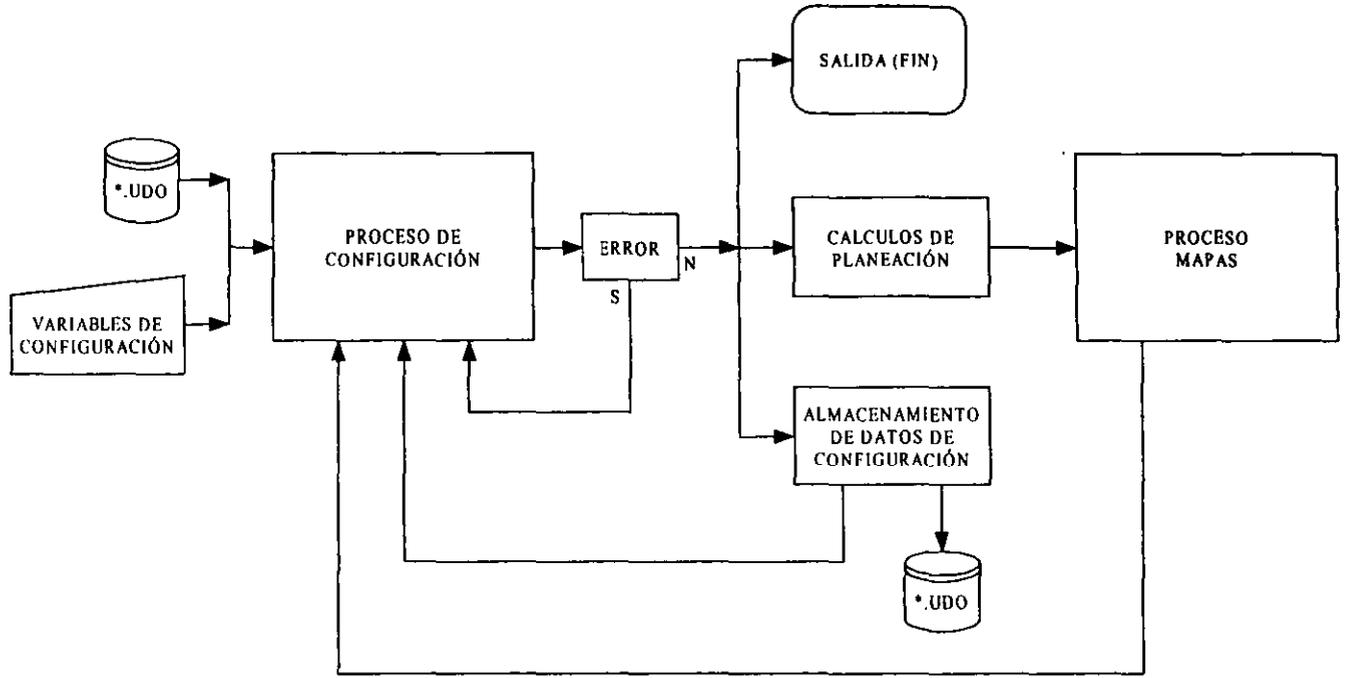


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN

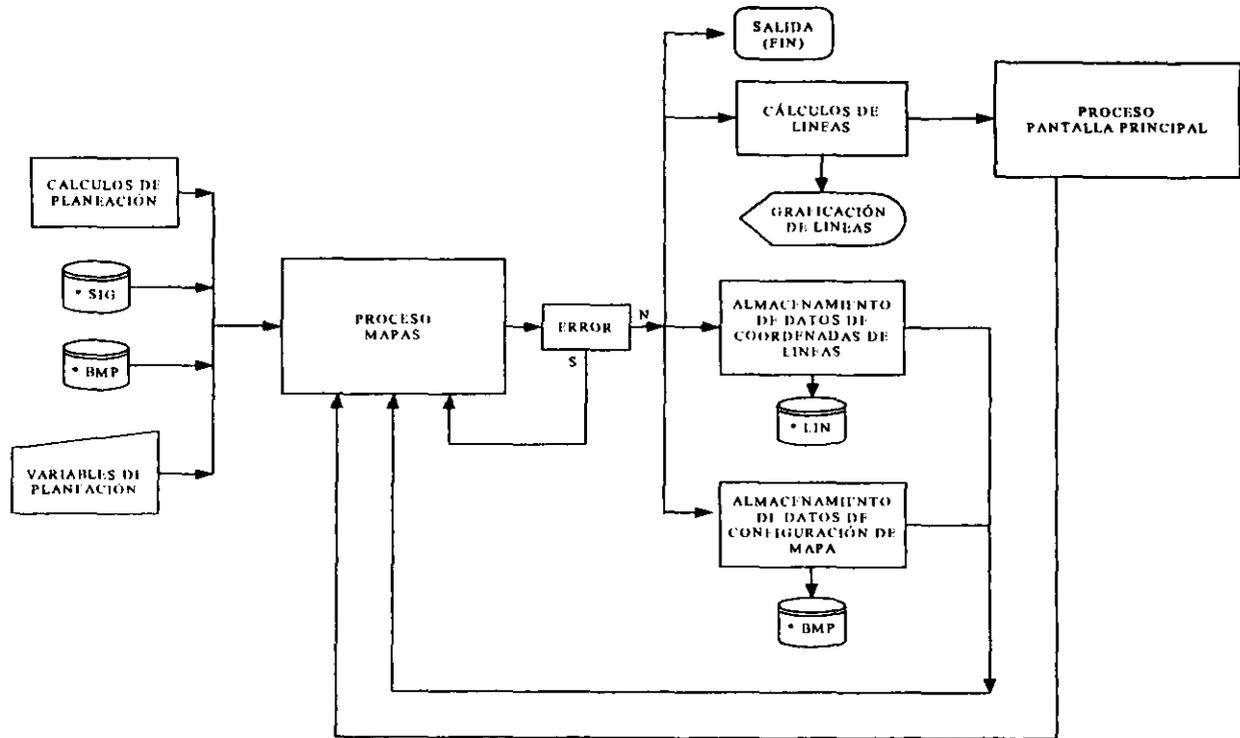


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO MAPAS

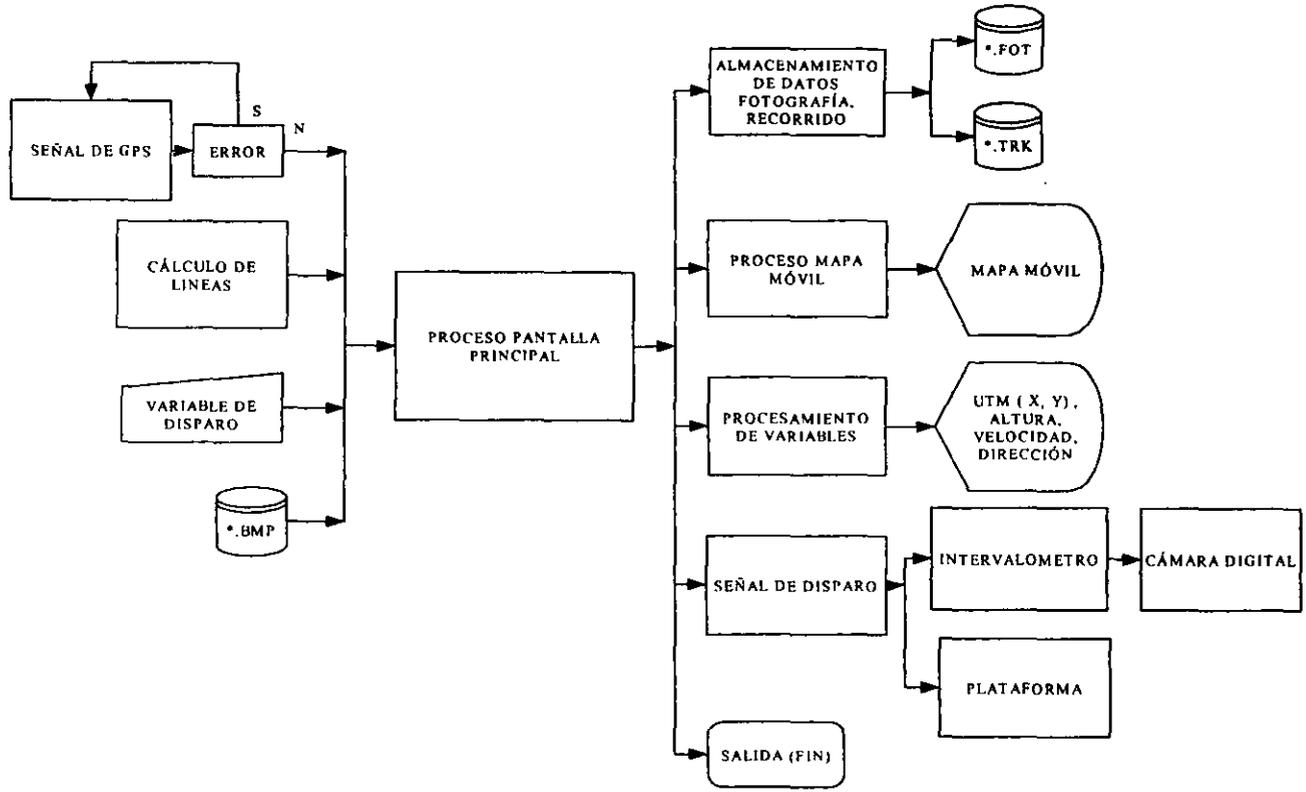


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PANTALLA PRINCIPAL

# APÉNDICE C

## LISTADO DEL PROGRAMA

### \*\*\* MODULO DE UTILERIAS

#### ' VARIABLES

```
Global e() 'east variables de toma y ajuste de
'datos
Global n1() ' nort
Global CAD1()

'variable de coor. de líneas de vuelo
Public lp1y(400)
'Global lincor 'contador de numero de coord de
líneas de vuelo

Public archivo$ 'nombre de mapa
Public ARCHIVO_DATOSS ' archivo de datos
'conf. ini.

Public puerto As Integer ' variables de
configuración de gps
Public baudios
Public b

Public ERROR ' variable para pantalla de error
Public GUARDA ' pantalla de archivo
Public ABRE '

Public hi 'ALTURA DE VUELO
Public dlon 'DISTANCIA LONG
Public dlat 'DISTANCIA LATERAL
Public ti 'TIEMPO DE DISPARO
Public v 'VELOCIDAD
Public slon 'SOBREPOSICIÓN LONG
Public slat 'SOBREPOSICIÓN LATERAL
Public rt 'RESOLUCIÓN DE PIXEL
Public nf As Integer 'NÚMERO DE FOTOS DE
CAMARA

Public nom_track
' NOMBRE DE ARCHIVO A GUARDAR DATOS
'DURANTE EL VUELO
Public nom_foto ' nombre de archivo a guardar
coor de foto

Public MAP(15) ' datos de configuración de mapa
'MAP (0) 'zona utm
'1 coor de esq. sup.izqx en utm del mapa
'2 sup.izqy
'3 coor de esq. inf.derx en utm del mapa
```

```
'4 y
'5 tamaño de mapa en pixeles x y
'6 y

'7 coord. de zona de vuelo esq.sup.izqx
'8 sup.izqy
'9 coord. de zona de vuelo esq.sup.derechx
'10 sup.derechx
'11 coord. de zona de vuelo esq.inf.izqx
'12 .izqy
'13 coord. de zona de vuelo esq.inf.derechx
'14 .derechx

'Public idf_zona
Public numli 'número de líneas en zona
Public dist1
Public dist2
```

---

#### ' PARA CAPTURARA LA PANTALLA

---

```
Type Irect
Left As Integer
Top As Integer
right As Integer
bottom As Integer
End Type

Declare Function getDeSktopWindow Lib "uSer" ()
As Integer
Declare Function GetDC Lib "uSer" (ByVal
hWnd%) As Integer
Declare Function BitBit Lib "GDI" (ByVal
hDeStDC%, ByVal X%, ByVal Y%, ByVal
nWidth%, ByVal nheight%, ByVal hXSrc%, ByVal
hSrcDC%, ByVal hYSrc%, ByVal dwRop&) As
Integer
Declare Function ReleaSeDC Lib "uSer" (ByVal
hWnd As Integer, ByVal hDC As Integer) As
Integer
Declare Sub GetWindowRect Lib "uSer" (ByVal
hWnd%, lpRect As Irect)
Global TwipSPerPixel As Single
```

```
'fa
Global continuar
Global Enter
```

```
*****
```

```
'CORRER LAS PANTALLAS
```

```
Sub CORRE(FORMAS As Form)
```

```
FORMAS.Left = Screen.Width
FORMAS.Top = 0
FORMAS.Width = Screen.Width
FORMAS.Height = Screen.Height
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
'COLOCAR CUADRO
```

```
Sub cuadro(F As Form, X As Control, N)
Col_Cuadro = QBColor(8)
```

```
F.Line (X.Left - N, X.Top - N)-Step(X.Width + 2 *
N, X.Height + 2 * N), Col_Cuadro, BF
F.Line (X.Left - N, X.Top - N)-Step(X.Width + 2 *
N, X.Height + 2 * N), 0, B
```

```
F.Line (X.Left, X.Top)-Step(-N, -N), 0
F.Line (X.Left, X.Top + X.Height)-Step(-N, N), 0
' /
F.Line (X.Left + X.Width, X.Top)-Step(N, -N), 0
' /
F.Line (X.Left + X.Width, X.Top + X.Height)-
Step(N, N), 0 ' \
```

```
F.Line (X.Left, X.Top)-Step(X.Width, X.Height), 0,
BF
End Sub
```

```
*****
```

```
Sub men(t)
```

```
Select Case UCase(t)
Case "/P"
ver.Command1(1).Caption = "Continuar"
ver.Hide
ver.Show 1
```

```
Case "/L"
ver.Text1.Text = ""
Case ""
Case ""
Case ""
Case Else
ver.Text1.Text = ver.Text1.Text + t + Enter
ver.Label1.Caption = t
```

```
End Select
ver.ZOrder
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Sub men2(t)
ver.Caption = "Ver (" + t + ")"
End Sub
```

```
*****
```

```
'VISTA DE PANTALLA
```

```
Sub pantalla(FORMA As Form)
FORMA.Picture0.AutoRedraw = -1
FORMA.Picture0.Visible = 0
```

```
Dim winSize As Irect
```

```
hwndSrc% = getDeskTopWindow()
hSrcDC% = GetDC(hwndSrc%)
```

```
Call GetWindowRect(hwndSrc%, winSize)
nWidth% = winSize.right
nheight% = winSize.bottom
hDeStDC% = FORMA.Picture0.hDC
```

```
FORMA.ScaleMode = 3
NumPix = FORMA.ScaleHeight
TwipSPerPixel = FORMA.ScaleHeight / NumPix
```

```
FORMA.Picture0.Top = 0
FORMA.Picture0.Left = 0
FORMA.Picture0.Width = (nWidth% + 1) *
TwipSPerPixel
FORMA.Picture0.Height = (nheight% + 1) *
TwipSPerPixel
```

```
Suc% = BitBit(hDeStDC%, 0, 0, nWidth%,
nheight%, hSrcDC%, 0, 0, &HCC0020)
Dmy% = ReleaseDC(hwndSrc%, hSrcDC%)
```

```
FORMA.Picture0.Visible = -1
FORMA.Picture0.Scale (0, 0)-(100, 100)
FORMA.WindowState = 2
FORMA.Show
FORMA.Scale (0, 0)-(100, 100)
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
'PRESENTACIÓN
```

```
Sub PUERTA(FORMA As Form, ABRE, vel)
Div_Maya = 4: Tam_Maya = 100 / Div_Maya - 1
Col_Fondo_Maya = 0
Col_Maya = RGB(0, 0, 255)
Col_Puerta = QBColor(0) ' 7
```

```
pb = FORMA.Picture1.AutoRedraw
If pb = -1 Then FORMA.Picture1.AutoRedraw = 0
```

```
If ABRE = 1 Then
```

```

'abre
FORMA.Picture1.Line (0, 0)-(100, 100),
Col_Puerta, BF 'cerrada
For N = 0 To 53 Step val
FORMA.Picture1.Line (50 - N, 0)-(50 + N, 100),
Col_Fondo_Maya, BF
Next
Else
'cierra
For N = 1 To 53 Step val
FORMA.Picture1.Line (0, 0)-(N, 100), Col_Puerta,
BF
FORMA.Picture1.Line (100, 0)-(100 - N, 100),
Col_Puerta, BF
Next
End If

if pb = -1 Then FORMA.Picture1.AutoRedraw = -1
End Sub

```

.....

.....

### 'PANTALLA CREDITOS

```

'CUADRO
Private Sub cuadro2()
m = 7
Picture1.Scale (0, 0)-(100, 100)
Picture1.Line (0, 0)-(100, 100), QBColor(8), BF

For N = 0 To 7 Step 0.4
C = 150 * N / m + 30
Picture1.Line (N, 100 - N)-(100 - N, 100 - N),
RGB(C, C, C), BF '
Picture1.Line (100 - N, N)-(100 - N, 100 - N),
RGB(C, C, C), BF '
Next

Picture1.Line (m, m)-(100 - m, 100 - m), 0, BF
m = m + 1
Picture1.Line (m, m)-(100 - m, 100 - m), RGB(20,
100, 175), BF

End Sub

'.....
'BOTÓN DE CONTINUAR

Private Sub Command1_Click()
PUERTA CREDITOS. 2, 0.05
Load CONFIG 'Show
Unload CREDITOS 'Enabled = False

End Sub

```

.....

### 'PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA

```

Private Sub Form_Load()
Enter = Chr$(13) + Chr$(10)
'borderStyle=0
BackColor = 0

```

pantalla CREDITOS

AutoRedraw = True

```

'-----
'lineas en el espacio
For N = -25 To 75 Step 5
Line (2 * N, 100)-(N + 25, 50), RGB(50, 50, 255)
Next
For N = 50 To 100 Step 8
Line (0, N)-Step(100, 0), RGB(0, 0, 255)
Next
'-----

```

```

'puntoS en el eSpacio
For N = 1 To 10000
PSet (100 * Rnd, 50 * Rnd), QBColor(15 * Rnd)
Next
'-----

```

```

Picture1.Left = 25
Picture1.Top = 25
Picture1.Width = 50
Picture1.Height = 50
Picture1.AutoRedraw = -1
cuadro2

```

```

Label1.ForeColor = QBColor(0)
Label1.AutoSize = 1
Label1.BackStyle = 0 'TRASPARENTE
Label1.Left = 0
Label1.Top = 15
Label1.Caption = "
Enter + Enter + "
UNAM" +
FACULTAD DE
INGENIERÍA" + Enter + Enter + "
PROYECTO DE FOTOGRAFÍA DIGITAL" + Enter
+ Enter + Enter + "
DIRECTOR: M.I.
JORGE PRADO MOLINA" + Enter + Enter + Enter
+ "
INTEGRANTES DEL EQUIPO:" +
Enter + Enter + Enter + "
BERMUDEZ
GUERRERO ROBERTO" + Enter + "
MARTINEZ ESLAVA UBALDO"

```

```

Image1.Top = 240
Image1.Left = 12 '00
Image2.Top = 240
Image2.Left = 75 '20

```

```

Command1.Visible = False
Command1.Left = 43 '63
Command1.Top = 75 ' 80

```

```

Command1.Width = 13
Command1.Height = 5
Command1.Caption = "CONTINUAR"

```

```

For N = 0 To 100 Step 4
  Picture0.Left = N
Next
Image1.Visible = True
Image2.Visible = True
Image1.Top = 3
Image1.Stretch = True
Image2.Top = 3
Command1.Visible = True

```

```
End Sub
```

```

*****
Private Sub Image1_Click()
For N = 0 To 16 Step 0.01
  Image1.Top = N
  Image1.Left = N + 10
Next
End Sub

```

```

*****
'PANTALLA DE CONFIGURACIÓN

```

```

' declaraciones
Public RESX

```

```

Private Sub CAJA(NUM, PX, PY, LARGO, nc)
Text1(NUM).Top = PY
Text1(NUM).Left = PX
Text1(NUM).Width = LARGO
Text1(NUM).Height = 285
Text1(NUM).MaxLength = nc
End Sub

```

```

Private Sub ETIQUETA(NUM, TEX, PX, PY, TL,
COLOR)
Label1(NUM).AutoSize = True
Label1(NUM).Caption = TEX
Label1(NUM).Top = PY
Label1(NUM).Left = PX
Label1(NUM).FontSize = TL
Label1(NUM).ForeColor = QBColor(COLOR)

```

```
End Sub
```

```

'menu
Private Sub cargar_1_Click()
  ABRE = 1
  Load archi1
  CONFIG.Enabled = False

```

```
End Sub
```

```
' Selección de puerto
```

```
Private Sub Check1_Click()
```

```

If Text1(0).Enabled = False Then
  Text1(0).Enabled = True
  Text1(0).Visible = True

```

```

  Text1(7).Enabled = True
  Text1(7).Visible = True

```

```

Else
  Text1(0).Enabled = False
  Text1(0).Visible = False

```

```

  Text1(7).Enabled = False
  Text1(7).Visible = False

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```

' botones de pantalla
Private Sub Command1_Click(Index As Integer)

```

```

Select Case Index
Case 0: ' BOTÓN DE SALIDA
Close #2
End

```

```

Case 1: ' BOTÓN DE CONTINUAR
' COMPROBACIÓN DEL BAUDAJE
' SELECCIONADO EN CONFIG

```

```

' se guardan los datos o no
If Check1.Value = 0 Then
If Text1(0).Text <> "" Then
  nom_track = Text1(0).Text + ".tra"
  nom_foto = Text1(7).Text + ".fot"
End If

```

```

Else
nom_track = ""
nom_foto = ""
End If

```

```

If CONFIG.Option2.Value = True Then
  baudios = "14400, N,8,1"
End If

```

```

If CONFIG.Option3.Value = True Then
  baudios = "4800, N,8,1"
End If

```

```

If CONFIG.Option4.Value = True Then
  baudios = "9600, N,8,1"
End If

```

```

If CONFIG.Option1(0).Value = True Then
  puerto = 1
Else 'CONFIG.Option1(1).Value = True Then
  puerto = 2
End If

```

```

***** PEDIR QUE LOS CAMPOS ESTEN
COMPLETOS
If Text1(1).Text = "" Or Text1(2).Text = ""
Or Text1(3).Text = "" Or Text1(4).Text = ""
Or Text1(5).Text = "" Or Text1(6).Text = "" Or
(Check1.Value = 0 And
(Text1(0).Text = "" Or Text1(7).Text = "")) Then

```

```

ERROR1.Show
CONFIG.Enabled = False
ERROR = 1

```

```
Else
```

```
***** CÁLCULOS DE DATOS DE ENTRADA
```

```
'cálculo para altura de vuelo
```

```
RESX = Text1(6).Text * 1524
rt = Text1(4).Text
hi = (rt * RESX) / 0.86
```

```
' cálculo para dlon
slon = Text1(2).Text
dlon = (hi * 0.56) * (1 - (slon / 100))
```

```
'cálculos para dlat
slat = Text1(3).Text
dlat = (rt * RESX) * (1 - (slat / 100))
```

```
'cálculos para ti
v = (Text1(1).Text / 1.944)
ti = (dlon / v)
Print v
```

```
'captura de No de fotos * disco
nf = Text1(5).Text
```

```
Load MAPAS
Unload CONFIG
End If
Case 2:
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
'PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
CONFIG.Left = Screen.Width
CONFIG.Top = 0
CONFIG.Width = Screen.Width
CONFIG.Height = Screen.Height
Show
```

```
'CREACIÓN DE CAJA DE TEXTO
```

```
For N = 1 To 7
```

```
Load Text1(N)
Text1(N).Visible = -1
Next
```

```
Text1(0).FontSize = 8
Text1(6).Text = 1524
```

```
' PARA MAQ ACER DISMINUI 600 EN PX
' NUM PX PY LARGO num de carc
```

```
CAJA 0, 3000, 5400, 1200, 8 ' nombre de archivo
de track
CAJA 7, 3000, 5900, 1200, 8 ' archivo de coor
fotos
```

```
CAJA 1, 9100, 1500, 700, 6 'velocidad de vuelo
CAJA 2, 9100, 2500, 300, 2 'sobreposición long
CAJA 3, 9100, 3500, 300, 2 'sobreposición lateral
CAJA 4, 9100, 4500, 500, 4 'resolución de pixel
CAJA 5, 9100, 5500, 400, 3 'número de fotos
CAJA 6, 3200, 7000, 500, 4 'resolución de cámara
```

```
*****
```

```
CONFIG.BackColor = QBColor(0)
CONFIG.Caption = "PANTALLA DE
CONFIGURACIÓN Y ENTRADA DE DATOS"
Frame1.BackColor = QBColor(0)
Frame1.ForeColor = QBColor(12)
Frame1.Caption = "BAUDS"
Frame1.Left = 1560
Frame1.Top = 2860
```

```
' BOTONES
Load Command1(1)
Command1(1).Visible = -1
```

```
' ACOMODO DE ETIQUETAS DE DATOS
```

```
For N = 0 To 1
Command1(N).Top = 6840 + (N + 20)
Command1(N).Left = 7280 + (N * 1500)
Next
```

```
Command1(0).Caption = "SALIR"
Command1(1).Caption = "CONTINUAR"
```

```
' ETIQUETAS
For N = 1 To 16
Load Label1(N)
Label1(N).Visible = -1
```

```
Next
' CHECK
```

```
Check1.Top = 6500
Check1.Left = 2000
Check1.ForeColor = QBColor(12)
Check1.BackColor = QBColor(0)
Check1.Caption = "NO GUARDAR DATOS"
```

' ACOMODO DE ETIQUETAS DE DATOS

```
Label1(0).Top = 180
Label1(0).Left = 1100
Label1(0).Width = 5000
Label1(0).Height = 700
Label1(0).FontSize = 20
Label1(0).ForeColor = QBColor(9)
```

```
Label1(1).Visible = False ' vacia
```

ETIQUETA 15, "PUNTOS DE RECORRIDO", 400, 5400, 8, 2

ETIQUETA 16, "COORDENADAS DE FOTO", 400, 5900, 8, 3

ETIQUETA 1, "vacia", 4500, 6000, 20, 4

```
Label1(0).Caption = " CONFIGURACIÓN Y ESTIMACIONES "
Label1(0).AutoSize = True
Label1(1).BackColor = QBColor(3) ' VACIA
```

```
' PARA MAQ ACER DISMIN 500 EN PX
' NUM TEXT PX PY TL COLOR
ETIQUETA 2, "PUERTO", 500, 1500, 12, 7
ETIQUETA 3, "VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN GPS"
```

, 500, 2500, 8, 7

ETIQUETA 4, "NOMBRE DE ARCHIVO PARA GUARDAR DATOS"

, 500, 4800, 8, 7

'ESTIMACIONES

```
' PARA MAQ ACER DISMIN 500 EN PX
' NUM TEXT PX PY TL COLOR
ETIQUETA 8, "VELOCIDAD DE VUELO (nudos)"
```

, 6000, 1500, 8, 7

ETIQUETA 9, "SOBREPOSICIÓN LONGITUDINAL"

, 6000, 2500, 8, 7

ETIQUETA 10, "SOBREPOSICIÓN LATERAL"

, 6000, 3500, 8, 7

ETIQUETA 11, "RESOLUCIÓN DE PIXEL"

, 6000, 4500, 8, 7

ETIQUETA 12, "NÚMERO DE FOTOS POR DISCO"

, 6000, 5500, 8, 7

ETIQUETA 14, "RESOLUCIÓN DE CÁMARA"

, 600, 7000, 8, 7

' CUADROS DE OPCIÓN

```
For N = 1 To 1
```

```
Load Option1(N)
```

```
Option1(N).Visible = -1
```

```
Next
```

```
Option1(1).Value = False
Option1(0).Value = True
```

' ACOMODO DE CUADROS DE OPCIÓN

```
For N = 0 To 1
```

```
Option1(N).Top = 1250 + (N * 500)
```

```
Option1(N).Left = 1800
```

```
Option1(N).BackColor = QBColor(0)
```

```
Option1(N).FontSize = 8
```

```
Option1(N).ForeColor = QBColor(12)
```

```
Next
```

```
Option1(0).Caption = "COM 1"
```

```
Option1(1).Caption = "COM 2"
```

```
Option2.BackColor = QBColor(0)
```

```
Option2.ForeColor = QBColor(12)
```

```
Option3.BackColor = QBColor(0)
```

```
Option3.ForeColor = QBColor(12)
```

```
Option4.BackColor = QBColor(0)
```

```
Option4.ForeColor = QBColor(12)
```

```
Option2.Caption = "14400"
```

```
Option3.Caption = "4800"
```

```
Option4.Caption = "9600"
```

Show

' PRESENTACIÓN DE LA FORMA

```
For N = CONFIG.Left To 0 Step -CONFIG.Left / 50
```

```
CONFIG.Left = N
```

```
Next
```

```
End Sub
```

.....

Private Sub Frame1\_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)

```
Option2.Caption = "baudaje"
```

```
End Sub
```

.....

'MENU

```
Private Sub Guardar_Click()
```

```
GUARDA = 1
```

```
If Text1(1).Text = "" Or Text1(2).Text = ""
```

```
Or Text1(3).Text = "" Or Text1(4).Text = ""
```

```
Or Text1(5).Text = "" Or (Check1.Value = 0 And
```

```
(Text1(0).Text = "" Or Text1(7).Text = "")) Then
```

```
ERROR1.Show
```

```
CONFIG.Enabled = False
```

```
ERROR = 1
```

```
Else
```

```
RESX = Text1(6).Text '1524
```

```
r1 = Text1(4).Text
```

```
slon = Text1(2).Text
```

```
slat = Text1(3).Text
```

```

v = Text1(1).Text
nf = Text1(5).Text

' se guardan los datos o no
If Check1.Value = 0 Then

If Text1(0).Text <> "" Then
    nom_track = Text1(0).Text + ".tra"
    nom_foto = Text1(7).Text + ".fot"
End If

Else
nom_track = ""
nom_foto = ""
End If
If CONFIG.Option2.Value = True Then
b = 14400
End If
If CONFIG.Option3.Value = True Then
b = 4800
End If

If CONFIG.Option4.Value = True Then
b = 9600
End If
If CONFIG.Option1(0).Value = True Then
    puerto = 1
Else 'CONFIG.Option1(1).Value = True Then
    puerto = 2
End If

SALVAR.Show
CONFIG.Enabled = False

End If
End Sub

.....

Private Sub Option1_Click(Index As Integer)
'Open "configps.udo" For Output As #2

Select Case Index
Case 0: puerto = 1
Case 1: puerto = 2

End Select

End Sub

.....

Private Sub Text1_KeyPress(Index As Integer,
KeyAscii As Integer)
Static pd As Integer

..... Comprueba que la información de los
campos sea correcta
If Index = 0 Or Index = 7 Then

```

```

' Campos de nombre de archivos
Else

'Campos de datos velocidad, Siat, slon, resolución
'de cámara, No. de fotos y resolución de pixel

Select Case KeyAscii
Case Asc("0") To Asc("9")
Case Asc(".")
    If pd Then ' Entra cuando pd en true
        KeyAscii = 0
        Beep
    Else
        pd = True
    End If

Case 8 'Para borrar caracteres
Case Else
    KeyAscii = 0
    Beep
End Select

End If
End Sub

.....
'PANTALLA DE ERROR

' BOTÓN
Private Sub Command1_Click()
Unload ERROR1
If ERROR = 1 Then
    CONFIG.Enabled = True
    CONFIG.Show
End If
If ERROR = 2 Then
    MAPAS.Enabled = True
    MAPAS.Show
End If
End Sub
.....

Private Sub Form_Load()
ERROR1.Caption = "ERROR"
End Sub

.....

'PANTALLA DE CARGA DE ARCHIVOS

' BOTÓN
Private Sub Command1_Click()
..... cargar
configuración.....
'NOTA: agregar posibilidad de que no exista el
archivo

Select Case ABRE
Case 1: ' FORMA DE CONFIGURACIÓN

If ARCHIVO_DATOS <> "" Then
    Open ARCHIVO_DATOS$ For Input As #2

```

```

Dim datos(100)

For i = 1 To 9
Line Input #2, a$
datos(i) = a$ ' recuperación de archivo
Next

CONFIG.Text1(1).Text = datos(1) ' " "
velocidad
CONFIG.Text1(2).Text = datos(2) ' " "
sion
CONFIG.Text1(3).Text = datos(3) ' " "
stat
CONFIG.Text1(4).Text = datos(4) ' " "
CONFIG.Text1(5).Text = datos(5) ' " "
No de fotos
CONFIG.Text1(0).Text = datos(6) ' trayecto
' archivos de datos
CONFIG.Text1(7).Text = datos(9) ' fotos

If datos(6) = "" And datos(9) = "" Then
CONFIG.Check1.Value = 1
CONFIG.Text1(0).Enabled = False
CONFIG.Text1(0).Visible = False
CONFIG.Text1(7).Enabled = False
CONFIG.Text1(7).Visible = False
End If

If Val(datos(7)) = 1 Then
CONFIG.Option1(0).Value = True
Else
CONFIG.Option1(1).Value = True
End If

'baudaje

If Val(datos(8)) = 14400 Then
CONFIG.Option2.Value = True
baudios = "14400, N,8,1"
End If

If Val(datos(8)) = 4800 Then
CONFIG.Option3.Value = True
baudios = "4800, N,8,1"
End If

If Val(datos(8)) = 9600 Then
CONFIG.Option4.Value = True
baudios = "9600, N,8,1"
End If

Close #2
End If 'if principal al tener archivo existente

For N = archi1.Top To -8000 Step -90
archi1.Top = N
Next
Unload archi1
CONFIG.Enabled = True
CONFIG.Show

```

Case 2:

```

If ARCHIVO_DATOS$ <> "" Then

Open ARCHIVO_DATOS$ For Input As #3
Dim COOR(100)

For i = 0 To 15
Line Input #3, C$
COOR(i) = C$ ' recuperación de archivo
Next

For R = 0 To 14
MAPAS.Text1(R).Text = COOR(R)
Next
archivo$ = COOR(15)

Close #3

End If 'ARCHIVO EXISTE

For N = archi1.Top To -8000 Step -90
archi1.Top = N
Next
Unload archi1
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Image1.Picture = LoadPicture(archivo$)
MAPAS.Show

End Select
ARCHIVO_DATOS$ = ""

End Sub

.....
'DIRECTORIO SELECCIONADO
Private Sub Dir1_Change()
File1.Path = Dir1.Path
End Sub

.....
'UNIDAD A EMPLEAR
Private Sub Drive1_Change()
On Error Resume Next
Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub
.....

Private Sub File1_Click()
On Error Resume Next
RUTA1$ = Dir1.Path
Text1.Text = File1.filename
ARCHIVO_DATOS$ = RUTA1$ + "\* +
File1.filename
End Sub

.....
'PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA
Private Sub Form_Load()

File1.Path = "C:\SADIUTMDATOS"
Dir1.Path = "C:\SADIUTMDATOS"

```

```
'CARGAR IMAGEN
If ABRE = 1 Then
  File1.Pattern = "*.udo"
Else
  File1.Pattern = "*.SIG"
End If
Command1.Caption = " ACEPTAR"
```

**'COLOCACIÓN DE IMAGEN**

```
archi1.Top = 2445
archi1.Left = 20000 '3480
archi1.ScaleHeight = 5175
archi1.ScaleWidth = 7230
archi1.Caption = "CARGA DE DATOS
ANTERIORES"
```

```
Show
'PRESENTACIÓN DE FORMA
For N = archi1.Left To 3480 Step -50
  archi1.Left = N
Next
```

End Sub

.....

**'PANTALLA DE SALVAR**

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Select Case GUARDA
```

```
Case 1:
If Text1.Text <> "" Then
  arch1 = Text1.Text + ".UDO"
  Open "C:\SADIUTM\DATOS\" + arch1 For Output
  As #2
  'manda a escribir datos al frame2 d cálculos
  Print #2, v
  Print #2, slon
  Print #2, slat
  Print #2, rt
  Print #2, nf
  Print #2, nom_track
  Print #2, puerto
  Print #2, b
  Print #2, nom_foto
```

```
'manda a escribir datos a la pantalla de config
```

```
Close #2
End If
Unload SALVAR
CONFIG.Enabled = True
CONFIG.Show
```

Case 2:

```
If Text1.Text <> "" Then
  arch1 = Text1.Text + ".SIG"
  Open "C:\SADIUTM\DATOS\" + arch1 For Output
  As #3
```

```
For R = 0 To 15
Print #3, MAP(R)
Next
```

Close #3

End If

```
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show
```

```
Case 3:
If lincor > 1 Then
  arch1 = Text1.Text + ".lin"
```

```
Open "C:\SADIUTM\DATOS\" + arch1 For Output
As #4
Print #4, ""
Print #4, " sadiutm"
Print #4, " Archivo:" + arch1
Print #4, " Coordenadas UTM de puntos extremos
de líneas de vuelo"
Print #4, " zona" + MAPAS.Text1(0).Text
Print #4, ""
Print #4, ""
```

```
Print #4, " líneas EASTING NORTHING
EASTING NORTHING "
```

```
For i = 1 To lincor - 1
```

```
lp1 = Format(lp1y(i), "#.00")
If dist2 < dist1 Then
  Print #4, " lin"; i, MAP(7), lp1, MAP(9), lp1
Else
  Print #4, " lin"; i, lp1, MAP(8), lp1, MAP(12)
End If
```

```
Next
Close #4
```

```
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show
lincor = 1
```

Else

```
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show
End If
```

End Select

End Sub

.....

'BOTÓN 2

```

Private Sub Command2_Click()
Select Case GUARDA

Case 1:
'Guardar en pantalla de config
Unload SALVAR
CONFIG.Enabled = True
CONFIG.Show

Case 2:
'Guardar en pantalla de mapas arch de vuelos
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show

Case 3:
'Guardar en pantalla de mapas arch de lineas
lincor = 1
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show

End Select
End Sub
.....

Private Sub File1_Click()
On Error Resume Next
ext = InStr(File1.filename, ".") ' carpeta de datos
nomb = Mid(File1.filename, 1, ext - 1)
Text1.Text = nomb & File1.filename & ".udo"
End Sub

.....

Private Sub Form_Load()
File1.Path = "c:\SADIUTMdatos"

Select Case GUARDA

Case 1:
'if GUARDA = 1 Then
File1.Pattern = "*.udo"
Case 2:
File1.Pattern = "*.SIG"
Case 3:
File1.Pattern = "*.lin"

End Select

End Sub
.....

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)

If KeyAscii = vbKeyReturn Then

Select Case GUARDA
Case 1:
If Text1.Text <> "" Then
arch1 = Text1.Text + ".UDO"
Open "C:\SADIUTMDATOS\" + arch1 For Output
As #2

```

```

'manda a escribir datos al frame2 d cálculos
Print #2, v
Print #2, slon
Print #2, slat
Print #2, rt
Print #2, nf
Print #2, ar
Print #2, puerto
Print #2, b
Print #2, arfoto

'manda a escribir datos a la pantalla de config
Close #2
End If
Unload SALVAR
CONFIG.Enabled = True
CONFIG.Show

Case 2:

If Text1.Text <> "" Then
arch1 = Text1.Text + ".SIG"
Open "C:\SADIUTMDATOS\" + arch1 For Output
As #3

For R = 0 To 9
Print #3, MAP(R)
Next
Close #3
End If
Unload SALVAR
MAPAS.Enabled = True
MAPAS.Show

End Select
End If
End Sub

.....

'PANTALLA DE MAPAS

'SUBPROGRAMA CREACIÓN DE BOTONES
Private Sub BOTON(NUM, TEXTO, PX, PY,
LARGO)
Command1(NUM).Top = PY
Command1(NUM).Left = PX
Command1(NUM).Height = 400
Command1(NUM).Visible = True
Command1(NUM).Caption = TEXTO
Command1(NUM).Width = LARGO
End Sub

.....

'INDEXADO DE CAJA DE TEXTO
Private Sub CAJA(NUM, PX, PY, LARGO, NL)
Text1(NUM).Top = PY
Text1(NUM).Left = PX
Text1(NUM).Width = LARGO
Text1(NUM).Height = 285
Text1(NUM).Visible = True
Text1(NUM).MaxLength = NL

```

```

Text1(NUM).TabIndex = NUM
End Sub

*****
'CREAR ETIQUETAS INDEXADO
Private Sub ETIQUETA(NUM, TEX, PX, PY, TL,
COLOR)
Label1(NUM).AutoSize = True
Label1(NUM).Caption = TEX
Label1(NUM).Top = PY
Label1(NUM).Left = PX
Label1(NUM).FontSize = TL
Label1(NUM).ForeColor = QBColor(COLOR)
Label1(NUM).Visible = True

```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
'MENU
```

```
Private Sub ABRIRMAPA_Click()
Frame1.Visible = True
Frame2.Visible = False
End Sub
*****
```

```
Private Sub Command1_Click(Index As Integer)
```

```
'Selección de botón de continuar y Dibujar zona
Select Case Index
Case 0: ' botón de continuar
```

```
**** verifica que los campos este llenos
```

```
For valor = 0 To 14
MAP(valor) = Text1(valor).Text
If Text1(valor).Text = "" Then
ERROR1.Show
MAPAS.Enabled = False
ERROR = 2
End If
Next
```

```
MAP(15) = archivo$ 'Image1.Picture
If archivo$ = "" Then
ERROR1.Show
MAPAS.Enabled = False
ERROR = 2
****
```

```
Else
```

```
For valor = 0 To 14
MAP(valor) = Text1(valor).Text
dist1 = Abs(MAP(7) - MAP(9))
dist2 = Abs(MAP(8) - MAP(12))
numli = Abs(MAP(8) - MAP(12)) / dlat
```

```
Next
```

```
MAP(15) = archivo$ 'Image1.Picture
If archivo$ = "" Then
```

```
ERROR1.Show
MAPAS.Enabled = False
ERROR = 2
```

```
Else
```

```
Load pant1
Unload MAPAS
End If
End If
```

```
Case 1: 'Botón de dibujar
For valor = 0 To 14
MAP(valor) = Text1(valor).Text
If Text1(valor).Text = "" Then
ERROR1.Show
MAPAS.Enabled = False
ERROR = 2
End If
Next
MAP(15) = archivo$ 'Image1.Picture
If archivo$ = "" Then
ERROR1.Show
MAPAS.Enabled = False
ERROR = 2
```

```
Else
Picture1.Cls
```

```
Picture1.ScaleHeight = -Abs(MAP(2) - MAP(4)) 'y
esq inf der
Picture1.ScaleWidth = Abs(MAP(1) - MAP(3)) 'x
esq inf der
Picture1.ScaleTop = MAP(2) 'y esq sup izq
Picture1.ScaleLeft = MAP(1) 'x esq sup izq
```

```
' dibujar zona de vuelo
```

```
Picture1.Line (MAP(7), MAP(8))-(MAP(9),
MAP(10)), QBColor(12) 'linea1
Picture1.Line (MAP(9), MAP(10))-(MAP(13),
MAP(14)), QBColor(12) 'linea2
Picture1.Line (MAP(11), MAP(12))-(MAP(13),
MAP(14)), QBColor(12) 'linea3
Picture1.Line (MAP(11), MAP(12))-(MAP(7),
MAP(8)), QBColor(12) 'linea4
```

```
' dibujar lineas de vuelo
```

```
dist1 = Abs(MAP(7) - MAP(9))
dist2 = Abs(MAP(8) - MAP(12))
```

```
If dist2 < dist1 Then
```

```
dist = dist2
numli = Abs(MAP(8) - MAP(12)) / dlat ' cálculo de
número de lineas
mapp = MAP(8) - (dlat * 0.3) ' distancia de la
primera línea al ' límite paralelo de la
```

```
zona, mas cercano
```

```
For i = 1 To numli + 1
Picture1.Line (MAP(7), mapp)-(MAP(9), mapp)
```

```
'línea de vuelo
```

```
lp1y(lincor) = mapp
lincor = lincor + 1
mapp = mapp - dlat
Next
Else
```

```

' sur a norte
dist = dist1
numli = Abs(MAP(7) - MAP(9)) / dlat
mapp = MAP(7) + (dlat * 0.3)

For i = 1 To numli + 1
Picture1.Line (mapp, MAP(8))-(mapp, MAP(12))
' QBColor(10)
lp1y(lincor) = mapp
lincor = lincor + 1

```

```
mapp = mapp + dlat
```

```

Next
End If
End If
fotlin = Int((dist / dlon) + 1)
ft = fotlin * Int(numli + 1)
ETIQUETA 14, "Número de Lineas: " +
Str(Int(numli + 1)), 6300, 6500, 7, 1
ETIQUETA 15, "Número de Fotos por Linea: " +
Str(fotlin), 6300, 6700, 7, 1
ETIQUETA 16, "Número de Fotos Totales: " +
Str(ft), 6300, 6900, 7, 1

```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
.....
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```

Frame1.Visible = False
Frame2.Visible = True

```

```
End Sub
```

```
.....
```

```
'MENU
```

```
Private Sub crear_arch_lins_Click()
```

```

GUARDA = 3
'Unload MAPAS
MAPAS.Enabled = False
SALVAR.Show

```

```
End Sub
```

```
.....
```

```
'MENU
```

```
Private Sub DATOSPREVIOS_Click()
```

```

ABRE = 2
Load archi1
MAPAS.Enabled = False
End Sub

```

```
.....
```

```
'SELECCIÓN DE DIRECTORIO
```

```

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

```

```
Private Sub Drive1_Change()
```

```

On Error Resume Next
Dir1.Path = Drive1.Drive

```

```
End Sub
```

```
Private Sub File1_Click()
```

```

On Error Resume Next
RUTA1$ = Dir1.Path
archivo$ = RUTA1$ + "\" + File1.filename
Image1.Picture = LoadPicture(archivo$)

```

```
End Sub
```

```
.....
```

```
' PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA
```

```

Private Sub Form_Load()
idf_zona = 0 ' identificador de la forma de vuelo
lincor = 1 ' id. de coor. de linea de vuelo
CORRE MAPAS
Show

```

```
File1.Pattern = "*.bmp"
```

```

Picture1.Top = 0
Picture1.Height = 6375
Picture1.Left = 2400
Picture1.Width = 9435

```

```

Image1.Stretch = True
Image1.Top = 0
Image1.Height = 6300 '6375
Image1.Left = 0
Image1.Width = 9435
Frame1.Visible = False

```

```
'CREACIÓN DE CAJA DE TEXTO
```

```

For N = 1 To 14
Load Text1(N)
Text1(N).Visible = False

```

```
Next
```

```
'CREACIÓN DE botones
```

```

For N = 1 To 5
Load Command1(N)
Command1(N).Visible = False

```

```
Next
```

```
'CREACIÓN DE etiquetas
```

```

For N = 1 To 18
Load Label1(N)
Label1(N).Visible = False

```

```
Next
```

ETIQUETA 0, "DAME LOS SIG. DATOS", 80, 2000, 11, 12  
 ETIQUETA 1, "Zona UTM", 550, 2400, 7, 1  
 CAJA 0, 800, 2600, 400, 3  
 ETIQUETA 2, "Coord. Esq. Sup. Izq. (UTM)", 50, 3000, 7, 1  
 CAJA 1, 200, 3220, 850, 8  
 CAJA 2, 1150, 3220, 850, 8  
 ETIQUETA 3, "Coord. Esq. Inf. Der. (UTM)", 50, 3600, 7, 1  
 CAJA 3, 200, 3820, 850, 8  
 CAJA 4, 1150, 3820, 850, 8  
 ETIQUETA 4, "Tamaño de Mapa en X (pixeles)", 50, 4300, 4, 1  
 CAJA 5, 600, 4550, 1000, 5  
 ETIQUETA 5, "Tamaño de Mapa en Y (pixeles)", 50, 4900, 7, 1  
 CAJA 6, 600, 5150, 1000, 5

ETIQUETA 6, "COORD. DE ZONA DE VUELO", 50, 6000, 9, 12  
 ETIQUETA 7, "Esq. Sup. Izq. (UTM)", 300, 6500, 7, 1  
 CAJA 7, 2000, 6500, 850, 8  
 CAJA 8, 3000, 6500, 850, 8  
 ETIQUETA 8, "Esq. Sup. Der. (UTM)", 300, 6850, 7, 1  
 CAJA 9, 2000, 6850, 850, 8  
 CAJA 10, 3000, 6850, 850, 8  
 ETIQUETA 9, "Esq. Inf. Izq. (UTM)", 300, 7200, 7, 1  
 CAJA 11, 2000, 7200, 850, 8  
 CAJA 12, 3000, 7200, 850, 8  
 ETIQUETA 10, "Esq. Inf. Der. (UTM)", 300, 7550, 7, 1  
 CAJA 13, 2000, 7550, 850, 8  
 CAJA 14, 3000, 7550, 850, 8

ETIQUETA 11, "PUNTO DESTINO", 2500, 7500, 7, 1

BOTON 0, "CONTINUAR", 9500, 7000, 1500  
 BOTON 1, "DIBUJA ZONA", 4500, 7000, 1500

'calculos de datos\*\*\*\*\*

ETIQUETA 17, "", 4500, 6500, 9, 12  
 ETIQUETA 18, "", 4500, 6700, 9, 12

Frame2.Caption = "Datos Calculados"  
 Frame2.BackColor = QBColor(3)  
 Frame2.ForeColor = QBColor(7)  
 Label2.BackColor = QBColor(9)  
 Label3.BackColor = QBColor(9)  
 Label4.BackColor = QBColor(9)  
 Label5.BackColor = QBColor(9)  
 Label2.ForeColor = QBColor(7)  
 Label3.ForeColor = QBColor(7)  
 Label4.ForeColor = QBColor(7)  
 Label5.ForeColor = QBColor(7)

Label2.Caption = "Altura[m]"

Label3.Caption = "Dlon [m]"  
 Label4.Caption = "Dlat [m]"  
 Label5.Caption = "Ti [seg]"  
 \*\*\*\*\* MOSTRAR CALCULOS DE DATOS DE ENTRADA  
 'altura de vuelo  
 Text2.Text = Format(hi, "###.#")  
 'DISTANCIA LONGITUDINAL dlon  
 Text3.Text = Format(dlon, "###.#")  
 'DISTANCIA LATERAL dlat  
 Text4.Text = Format(dlat, "###.#")  
 'TIEMPO DE DISPARO ti  
 Text5.Text = Format\$(ti, "###.#")

' PRESENTACIÓN DE LA FORMA

For N = MAPAS.Left To 0 Step -MAPAS.Left / 50  
 MAPAS.Left = N  
 Next

End Sub  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 'MENU

Private Sub GUARDAR\_COR\_Click()  
 GUARDA = 2  
 If Text1(0).Text = "" Or Text1(1).Text = ""  
 Or Text1(2).Text = "" Or Text1(3).Text = ""  
 Or Text1(4).Text = "" Or Text1(5).Text = ""  
 Or Text1(6).Text = "" Or Text1(7).Text = ""  
 Or Text1(8).Text = "" Or Text1(9).Text = ""  
 Or Text1(10).Text = "" Or Text1(11).Text = "" Or  
 Text1(12).Text = ""  
 Or Text1(13).Text = "" Or Text1(14).Text = "" Or  
 archivo\$ = "" Then  
 ERROR1.Show  
 MAPAS.Enabled = False  
 ERROR = 2

Else

For i = 0 To 14  
 MAP(i) = Text1(i).Text 'DATOS DE COORD. AL ARREGLO  
 Next  
 MAP(15) = archivo\$  
 SALVAR.Show  
 MAPAS.Enabled = False

End If  
 End Sub

\*\*\*\*\*  
 'MUESTRA DE COORDENADAS EN PANTALLA

Private Sub Picture1\_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)  
 Label1(17).Caption = X

```

Label1(18).Caption = Y
End Sub
*****
' MENU SALIDA
Private Sub SALIR_Click()
End
End Sub

*****

' CAJAS DE TEXTO
Private Sub Text1_KeyPress(Index As Integer,
KeyAscii As Integer)
Static pd As Integer
' Comprueba que la información de los campos
sea correcta
If Index = 0 Then

Else
Select Case KeyAscii
Case Asc("0") To Asc("9")
Case Asc(".")
If pd Then ' Entra cuando pd en true
KeyAscii = 0
Beep
Else
pd = True
End If

Case 8 'Para borrar caracteres
Case Else
KeyAscii = 0
Beep
End Select

End If
End Sub

```

\*\*\*\*\*

## ' PANTALLA PRINCIPAL

### 'DECLARACIÓN DE VARIABLES

```

Dim DISPR 'INDICADOR DE REGRESO DE
DISPARO MANUAL
Dim DCM 'INDICADOR DE CAMARA MANUAL
Dim DCA 'INDICADOR DE CAMARA
AUTOMATICA
Dim disp ' DISPARO
Dim NFOT 'vari de num de foto
Dim R3 'velocidad
Dim r5 'track
Dim R4 'altura
Dim entrada
Dim entrada_a
Dim CONTAD 'CONTADOR DE FOTO
Dim MENSAJE ' COLOCA UN MENSAJE EN LA
FOTO

```

```

Dim R 'CONTADOR INDEX DE SHAPE
Dim RR
Dim vent ' HABILITAR EL ZOOM

```

```

Dim punto1 'TOMAR SEG. PUNTO
Dim xx1 'COORD. DE LA PICTURE4
Dim yy1 ' "
Dim p1x ' PUNTOS DE INI Y FIN DE VENTANA
DE ZOOM
Dim p1y
Dim p2x
Dim p2y
Dim nord 'COORD UTM
Dim east "
Dim z
Dim letra

Dim CX
Dim CY
Dim ANCHO
Dim LARGO
Dim APX
Dim APY
Dim mover
Dim SENSOR_GPS 'CHECECA SI EL GPS ESTA
CONECTADO
Dim comienza

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub ACTIVAR_GPS()
Picture1.Visible = True
Picture1.Tag = "DESACT"
Picture1.Top = 0
Picture1.Left = 10200
Picture1.AutoSize = True
Picture2.Visible = False
Picture3.Visible = False

```

### ' ETIQUETA Y SU ACOMODO

```

Label6(8).Visible = True
Label6(8).Caption = "GPS"
Label6(8).Top = 0
Label6(8).Left = 10900
Label6(8).FontSize = 24
Label6(8).AutoSize = True

```

```
End Sub
```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub CHECAR_ZOOM()
' COLOCAR EL ZOOM DE SER NECESARIO
Zoom.Checked = Not Zoom.Checked
If Zoom.Checked = True Then
COLOCAR_ZOOM
Else
QUITAR_ZOOM
End If
End Sub

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub COLOCAR_ZOOM()
' BARRAS DE DESPLAZAMIENTO VERTICALES
'Y HORIZONTALES

```

```

HScroll1.Min = 0 ' Set Minimum.
HScroll1.Max = -APX + 516 '-1685 '35 '-28028 '
Set Maximum.
HScroll1.LargeChange = 100 ' Set
LargeChange.
HScroll1.SmallChange = 100 ' Set
SmallChange.
HScroll1.Top = 433 'Picture5.Height '- 80
HScroll1.Left = 0
HScroll1.Width = 520 'Picture5.Width '- 80
*****
VScroll1.Min = 0 ' Set Minimum.
VScroll1.Max = -APY + 428 ' 1700 '- 29880 ' Set
Maximum.
VScroll1.LargeChange = 100 ' Set
LargeChange.
VScroll1.SmallChange = 100 ' Set
SmallChange.
VScroll1.Top = 0
VScroll1.Left = 520 'Picture5.Width '- 550
VScroll1.Height = 433 'Picture5.Height '- 550
End Sub

*****
Private Sub dib_linea()
For w = 4 To numli + 4
Line1(w).Visible = True
Show
Next

If dist2 < dist1 Then

numli = Abs(MAP(8) - MAP(12)) / dlat
mapp = MAP(8) - (dlat * 0.3)

For i = 4 To numli + 4
Line1(i).X1 = MAP(7)
Line1(i).Y1 = mapp
Line1(i).X2 = MAP(9)
Line1(i).Y2 = mapp
mapp = mapp - dlat
Next

Else

numli = Abs(MAP(7) - MAP(9)) / dlat
mapp = MAP(7) + (dlat * 0.3)

For i = 4 To numli + 4
Line1(i).X1 = mapp
Line1(i).Y1 = MAP(8)
Line1(i).X2 = mapp
Line1(i).Y2 = MAP(12)
mapp = mapp + dlat
Next

End If

End Sub

```

```

*****
Private Sub dib_linea_p()
For w = 4 To numli + 4
Line2(w).Visible = True
Show
Next

If dist2 < dist1 Then

numli = Abs(MAP(8) - MAP(12)) / dlat
mapp = MAP(8) - (dlat * 0.3)

For i = 4 To numli + 4
Line2(i).X1 = MAP(7)
Line2(i).Y1 = mapp
Line2(i).X2 = MAP(9)
Line2(i).Y2 = mapp
mapp = mapp - dlat
Next

Else

numli = Abs(MAP(7) - MAP(9)) / dlat
mapp = MAP(7) + (dlat * 0.3)

For i = 4 To numli + 4
Line2(i).X1 = mapp
Line2(i).Y1 = MAP(8)
Line2(i).X2 = mapp
Line2(i).Y2 = MAP(12)
mapp = mapp + dlat
Next

End If

End Sub

*****
Private Sub dib_zona()
Line1(0).Visible = True
Line1(0).BorderColor = QBColor(4)

For w = 1 To 3
Line1(w).Visible = True
Line1(w).BorderColor = QBColor(4)

Show
Next

Line1(0).X1 = MAP(7)
Line1(0).Y1 = MAP(8)
Line1(0).X2 = MAP(9)
Line1(0).Y2 = MAP(10)

Line1(1).X1 = MAP(9)
Line1(1).Y1 = MAP(10)
Line1(1).X2 = MAP(13)
Line1(1).Y2 = MAP(14)

Line1(2).X1 = MAP(11)

```

```

Line1(2).Y1 = MAP(12)
Line1(2).X2 = MAP(13)
Line1(2).Y2 = MAP(14)

```

```

Line1(3).X1 = MAP(11)
Line1(3).Y1 = MAP(12)
Line1(3).X2 = MAP(7)
Line1(3).Y2 = MAP(8)
End Sub

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub dib_zona_p()
Line2(0).Visible = True
Line2(0).BorderColor = QBColor(4)

```

```

For w = 1 To 3
Load Line1(w)
Line2(w).Visible = True
Line2(w).BorderColor = QBColor(4)

```

```

Show
Next

```

```

Line2(0).X1 = MAP(7)
Line2(0).Y1 = MAP(8)
Line2(0).X2 = MAP(9)
Line2(0).Y2 = MAP(10)

```

```

Line2(1).X1 = MAP(9)
Line2(1).Y1 = MAP(10)
Line2(1).X2 = MAP(13)
Line2(1).Y2 = MAP(14)

```

```

Line2(2).X1 = MAP(11)
Line2(2).Y1 = MAP(12)
Line2(2).X2 = MAP(13)
Line2(2).Y2 = MAP(14)

```

```

Line2(3).X1 = MAP(11)
Line2(3).Y1 = MAP(12)
Line2(3).X2 = MAP(7)
Line2(3).Y2 = MAP(8)
End Sub

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub encabezado_f()
Print #10, ""
Print #10, "H SOFTWARE NAME & VERSION"
Print #10, "I PCX5 2.09"
Print #10, ""
Print #10, "H R DATUM          IDX DA
DF      DX      DY      DZ"
Print #10, "M G WGS 84          121
+0.000000e+00 +0.000000e+00 +0.000000e+00
+0.000000e+00 +0.000000e+00"
Print #10, ""
Print #10, "H COORDINATE SYSTEM"
Print #10, "U UTM UPS"
Print #10, ""

```

```

Print #10, "H ZONE EASTING NORTHING DATE
TIME ALT ;track"
Close #10
End Sub

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub encabezado_w()
Print #11, ""
Print #11, "H SOFTWARE NAME & VERSION"
Print #11, "I PCX5 2.09"
Print #11, ""
Print #11, "H R DATUM          IDX DA
DF      DX      DY      DZ"
Print #11, "M G WGS 84          121
+0.000000e+00 +0.000000e+00 +0.000000e+00
+0.000000e+00 +0.000000e+00"
Print #11, ""
Print #11, "H COORDINATE SYSTEM"
Print #11, "U UTMA UPS"
Print #11, ""
Print #11, "H IDNT ZONE EASTING NORTHING
DATE TIME ALT DESCRIPTION
PROXIMITY SYMBOL ;waypts"
Close #11
End Sub
*****
*****

```

```

Private Sub ETIQUETA(NUM, TEX, PX, PY, TL,
COLOR)
Label6(NUM).Caption = TEX
Label6(NUM).AutoSize = True
Label6(NUM).Top = PY
Label6(NUM).Left = PX
Label6(NUM).FontSize = TL
Label6(NUM).ForeColor = QBColor(COLOR)
Label6(NUM).Visible = True

End Sub

```

\*\*\*\*\*

```

Private Sub Image1_MouseMove(Button As
Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

```

```

X1 = (180 * X / 9600) - 90
Y1 = (-360 * Y / 7200) + 180

If X1 < 0 Then
X1 = X1 * -1
ETIQUETA 9, X1, 10000, 800, 8, 0
ETIQUETA 11, "W", 10700, 800, 8, 0
Else
ETIQUETA 9, X1, 10000, 800, 8, 0
ETIQUETA 11, "E", 10700, 800, 8, 0
End If

```

```

If Y1 < 0 Then
Y1 = Y1 * -1
ETIQUETA 10, Y1, 11000, 800, 8, 0
ETIQUETA 12, "S", 11700, 800, 8, 0

```

```

Else
ETIQUETA 10, Y1, 11000, 800, 8, 0
ETIQUETA 12, "N", 11700, 800, 8, 0
End If

```

```

End Sub

```

```

*****

```

```

Private Sub QUITAR_ZOOM()
Image1.Stretch = True
HScroll1.Visible = False
VScroll1.Visible = False
'ALINEAR_IMG
End Sub

```

```

*****

```

```

ZONA UTM
Public Function ZONA(GRADOS)

```

```

If GRADOS > 0 Then
a = Int(GRADOS / 8)
b = a * 8
If b < GRADOS Then
a = a + 1
End If
If a = 1 Or a = 11 Then
a = a - 1
End If
ZONA = a + 78

```

```

Else
GRADOS = GRADOS * -1
a = Int(GRADOS / 8)
b = a * 8
If b < GRADOS Then
a = a + 1
End If
If a >= 5 Then
a = a + 1
End If
ZONA = 78 - a
End If
End Function

```

```

*****

```

```

Private Sub Command1_Click()
CONTAD = 0
Label6(20).ForeColor = QBColor(0)
Command1.Visible = False
End Sub

```

```

*****

```

```

'BOTÓN
Private Sub Command2_Click()
Picture4.Cls
Picture4.ScaleTop = MAP(8) + 3000
Picture4.ScaleLeft = MAP(7) - 3000
Picture4.ScaleWidth = dist1 + 6000
Picture4.ScaleHeight = -dist2 - 6000

```

```

' dibujar zona de vuelo

```

```

dib_zona
' dibujar líneas de vuelo
dib_linea
r1 = 1
Do Until r1 = RR 'EOF(E)
Shape2(r1).Visible = True
Shape2(r1).Left = e(r1)
Shape2(r1).Top = n1(r1)
r1 = r1 + 1
Loop
End Sub

```

```

*****

```

```

Private Sub Command3_Click()
Command3.Visible = False
If vent = 1 Then
punto1 = 1
vent = 0
Picture4.MousePointer = 2
Else
punto1 = 0
vent = 1
Shape1.Visible = False
Picture4.MousePointer = 0
End If
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()

```

```

If DCM = 1 Then
entrada = Text2.Text
'funcionamiento de disparo manual
'Comprueba si la entrada por text2 es un número
If IsNumeric(entrada) And (entrada > 1) Then
entrada_a = entrada

```

```

If disp = 1 Then
Image2.Picture = Image4.Picture
ETIQUETA 23, "DISPARANDO", 1000, 0, 10,

```

```

4

```

```

Command4.Caption = "STOP"
Timer3.Enabled = True
Timer3.Interval = Text2.Text * 1000
disp = 2
Else
Image2.Picture = Image3.Picture
Command4.Caption = "DISPARAR"
Timer3.Enabled = False
disp = 1
Label6(23).Visible = False
End If

```

```

Else
'En caso de que la entrada del disparo no sea
número
Text2.Text = entrada_a
End If

```

```

Else
If disp = 1 Then
Command4.Caption = "DISPARAR"
Timer3.Enabled = False

```

```

    disp = 2
Else
    Command4.Caption = "STOP"
    Timer3.Enabled = True
    Timer3.Interval = ti * 1000
    disp = 1
    ETIQUETA 23, "DISPARANDO", 1000, 0,
10, 4
End If

```

```

MANUAL
DETENER DISPARO AUTOMÁTICO
End If

```

```

End Sub

```

```

.....

```

```

'MENU
Private Sub DISP_AUTOMATC_Click()
If DCM = 1 Then

```

```

    Label6(22).Visible = False
    Text2.Visible = False
    Command4.Visible = True

```

```

If NFOT <> 0 Then
    'If DCM = 1 Then
Else
    NFOT = 0
End If

```

```

DISPR = 1 ' INDICADO DE AUTOMATICO
'disp = 1
DCM = 0
DCA = 1
Frame1.Visible = True
Label1.AutoSize = True
Timer3.Enabled = True

```

```

Else
MsgBox ("Recuerde que tienes que OPRIMIR
primero DISPARO MANUAL")
End If
End Sub

```

```

.....

```

```

Private Sub DISP_MANUAL_Click()
Label6(22).Visible = True
Label6(22).ForeColor = QBColor(1)
Label6(22).Caption = "TIEMPO SEG"
Label6(22).Top = 4900
Label6(22).Left = 2000
Frame1.Caption = "DISPARO"
Frame1.Visible = False
' PARA COMPROBAR SI YA SE OPRIMIO
AUTOMATICO

```

```

If DISPR = 1 Then
    Command4.Caption = "DISPARAR"
    'Else
    'Command4.Caption = "STOP"
End If

```

```

If NFOT <> 0 Then

```

```

'ya fueron tomadas algunas fotografías
'If DCA = 1 Then
' SE CONTINUA
Else
' Inicio de toma de fotografía
NFOT = 0
End If

```

```

DCM = 1
DCA = 0
'Cámara
Text2.Visible = True
Command4.Visible = True
Text2.Text = ti '12
disp = 1

```

```

Text2.Left = 2000
Text2.Top = 5150

```

```

End Sub

```

```

.....

```

```

' PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA

```

```

Private Sub Form_Load()
'FRAME DE DATOS CALCULADOS
Frame1.Top = 5000
Frame1.Left = 1500
Frame1.Caption = "DISPARO"
Frame1.Visible = False

```

```

'Tiempo inicial en el disparo de la cámara
entrada_a = 12
Text2.MaxLength = 2
'Camara
DISPR = 0 ' INDICADOR DE REGRESO DE
DISPARO AUTOMÁTICO
DCM = 0
DCA = 0

```

```

Text2.Visible = False
Command4.Left = 2820
Command4.Top = 4820
Command4.Caption = "DISPARAR"
Command4.Visible = False
'Colocación de text de id de fotografía
Text3.Text = ""
Text3.MaxLength = 8
Text3.Left = 2700
Text3.Top = 5600

```

```

'text donde se verifica que el GPS este
funcionando
Text1.Visible = False

```

```

SENSOR_GPS = 0
Timer4.Interval = 5000
Timer4.Enabled = True

```

```

'Configuración de mscomm para recibir datos del
puerto
' Uso COM1.
MSComm1.CommPort = puerto '1
' 4800 baud, no paridad, 8 datos, y bit 1 de stop
MSComm1.Settings = "4800,n,8,1" 'baudios
'Tell the control to read entire buffer when Input
is used.
MSComm1.InputLen = 0
' abrir el port.
' MSComm1.PortOpen = True

'pant1.Caption = ""

pant1.Left = Screen.Width
pant1.Top = 0
pant1.Width = Screen.Width
pant1.Height = Screen.Height
'picture para crear botón de GPS (bote)
Picture1.Visible = False
Picture2.Visible = False
Picture3.Visible = False

'picture para crear indicador de disparo de
CAMARAS (foco)
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
Picture6.Visible = False

'botones ZOOM y REGRESAR en pantalla Track
Command2.Visible = False
Command3.Visible = False

Show

'Abrir Archivo de encabezado de Track
If nom_track <> "" Then
Open "C:\SADIUTM\Datos\" + nom_track + ".trk"
For Output As #10
encabezado_t

Open "C:\SADIUTM\Datos\" + nom_foto + ".fot"
For Output As #11
encabezado_w

End If

' PRESENTACIÓN DE LA FORMA
For N = pant1.Left To 0 Step -pant1.Left / 50
pant1.Left = N
Next

*****CÁMARA
comienza = 1
Timer3.Enabled = False
IOPORT1.PortAddress = 888
IOPORT2.PortAddress = 889

Image2.Tag = "DESACT"
Timer1.Interval = 50
CONTAD = 0
Command1.Visible = False

```

```

' ACOMODO DE LA
IMAGEN*****
pant1.WindowState = 2

Picture6.Picture = LoadPicture(archivo$)
'Picture6.Picture =
LoadPicture("C:\TESIS\MAPAS\sadi1.BMP ")

Picture5.Top = 1140
Picture5.Left = 3910
Picture5.Height = 6825
Picture5.Width = 8065

Shape3(0).Visible = False

Picture5.Visible = True
Picture6.Visible = True

'Ancho y largo en pixeles para las barras

APX = MAP(5) '1999
APY = MAP(6) '1915

' Esquina Sup.Izq del Mapa
CX = MAP(1) '360081
CY = MAP(2) '2156696

'Ancho y Largo del Mapa en m
ANCHO = Abs(MAP(1) - MAP(3)) '20490
LARGO = Abs(MAP(2) - MAP(4)) '19696

mover = True

'Esquinas del Mapa para escalas
Picture6.ScaleTop = MAP(2) '2156696
Picture6.ScaleLeft = MAP(1) ' 360081
Picture6.ScaleWidth = ANCHO '20490
Picture6.ScaleHeight = -LARGO '-19696

Picture6.Left = 0
Picture6.Top = 0

R = 1
RR = 1
COLOCAR_ZOOM

***** botones pantalla de trayectoria

Command2.Top = 4820
Command2.Left = 160
Command3.Top = 5200
Command3.Left = 160 '1990

Command2.Visible = True
Command3.Visible = True

****pantalla de trayectona

Picture4.Top = 1100
Picture4.Left = 100
Picture4.Height = 3700

```

```

Picture4.Width = 3700
Picture4.Visible = True

*****PANTALLA DE ZOOM
Timer2.Enabled = False
punto1 = 1
vent = 1
Shape1.Visible = False
Shape2(0).Visible = False

*****Toma lo valores de zona de vuelo
Picture4.ScaleTop = MAP(8) + 3000
Picture4.ScaleLeft = MAP(7) - 3000
Picture4.ScaleWidth = dist1 + 6000
Picture4.ScaleHeight = -dist2 - 6000

' dibujar zona de vuelo mapa track
For w = 1 To numli + 4
Load Line1(w)
Line1(w).Visible = False
Show
Next

dib_zona

' dibujar lineas de vuelo
dib_linea

'zona de vuelo en mapa principal
For w = 1 To numli + 4
Load Line2(w)
Line2(w).Visible = False
Show
Next
dib_zona_p
dib_linea_p
R = 1
' BARRAS DE DESPLAZAMIENTO
VScroll1.Visible = False
HScroll1.Visible = False
' ETIQUETAS DE DATOS ACTIVACIÓN
For N = 1 To 24
Load Label6(N)
Label6(N).Visible = False
Next

ACTIVAR_GPS ' FUNCIÓN PARA LA
ACTIVACIÓN DE GPS

' ACOMODO DE ETIQUETAS DE DATOS
For N = 0 To 5
Label6(N).Top = 400 '1000 '1800
Label6(N).Left = 3780 + (N * 975)
Label6(N).AutoSize = True
Label6(N).Visible = True
Next

For N = 6 To 7
Label6(N).Top = 200 '700
Label6(N).Left = (N - 2) * 960

Label6(N).AutoSize = True
Label6(N).Visible = True
Next

'etiqueta de velocidad
Label6(0).ForeColor = QBColor(12)
Label6(0).Caption = " LATITUD:"
Label6(2).ForeColor = QBColor(12)
Label6(2).Caption = "LONGITUD:"
Label6(4).ForeColor = QBColor(12)
Label6(4).Caption = " ALTURA:"
Label6(6).ForeColor = QBColor(12)
Label6(6).Caption = "VELOCIDAD:"
ETIQUETA 13, "", 4800, 0, 8, 0
ETIQUETA 14, "DIRECCIÓN:", 3800, 0, 8, 12
'400
ETIQUETA 19, "UTM", 4000, 650, 12, 10
ETIQUETA 20, "", 1000, 200, 12, 0

'LABEL PARA INDICAR QUE LAS
COORDENADAS ESTAN FUERA DE ZONA
Label6(21).Visible = False

'Etiquetas de id de fotografia
Label6(24).AutoSize = True
Label6(24).Visible = True
Label6(24).Left = 500
Label6(24).Top = 5650
Label6(24).Caption = "ADICIONAR ID A FOTO"
Label6(24).ForeColor = QB

End Sub

*****

Private Sub Frame1_Click()
Frame1.Visible = False
End Sub

*****

Private Sub HScroll1_Change()
'BARRA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL
Picture6.Left = HScroll1.Value
End Sub

*****

' ENTRADA DE DATOS Y TRANSFORMACIÓN '
'DE UTM
Private Sub MSComm1_OnComm()

Timer4.Enabled = False

h = MSComm1.Input
Text1.Text = h
SENSOR_GPS = 1
If SENSOR_GPS = 1 Then

k = InStr(h, "GPRMC")
k2 = InStr(h, "PGRMZ")
K3 = InStr(h, "GLL") 'k1
K4 = InStr(h, "GGA") 'k2

```

```

'comprobación de que esta la longitud y latitud
U = Mid(h, k + 15, 51) 'PARA CHECAR QUE
ESTA COMPLETA LA CADENA
U = InStr(U, "")
u1 = Mid(h, K3 + 4, 25) 'PARA CHECAR QUE
ESTA COMPLETA LA CADENA
u1 = InStr(u1, "W")
u2 = Mid(h, K4 + 9, 25) 'PARA CHECAR QUE
ESTA COMPLETA LA CADENA
u2 = InStr(u2, "W")
'altura
C = 0 'comprobador de las k
CONT = 0 'contador para dato de velocidad
CONTA = 0 'contador de altura

```

```

If (k <> 0 And U > 20) Or (K3 <> 0 And u1 > 20) Or
(K4 <> 0 And u2 > 20) Then

```

```

If k <> 0 And U > 20 Then
r1 = Mid(h, k + 15, 10) 'latitud
R2 = Mid(h, k + 26, 11) 'longitud
'para buscar la velocidad
If U >= 50 Then
R3 = Mid(h, k + 38, 5)
CONT = 1
End If
C = 1
'Text1.Text = " k"
End If 'TERMINACION DE K

```

```

If K4 <> 0 And u2 > 20 And C < 1 Then
r1 = Mid(h, K4 + 11, 10) ' latitud
R2 = Mid(h, K4 + 22, 11) ' longitud
C = 1
'Text1.Text = "K4"
End If 'TERMINACION DE K2

```

```

If K3 <> 0 And u1 > 20 And C < 1 Then
r1 = Mid(h, K3 + 4, 10) ' latitud
R2 = Mid(h, K3 + 15, 11) ' longitud
'Text1.Text = "K3"
End If 'TERMINACION DE K1

```

```

'en caso de que no este en mc
'ASEGURAR QUE NO FALLE EN LA
VELOCIDAD

```

```

'If CONT = 1 Then
R3 = R3

```

```

'End If

```

```

*****conversion de velocidad

```

```

'Text2.Text = R3
If Val(R3) > 0 Then
r3km = Val(R3) / 0.54
r3ms = Val(r3km * 1000) / 3600
r3km = Format(r3km, "#.##")
r3ms = Format(r3ms, "#.##")

```

```

ti = (dlon / r3ms)

```

```

Label1.Caption = Format(ti, "#.##")

```

```

'ti = Format(ti, "#.##") + "seg"
'Label1.Caption = Format(ti, "#.##") + "seg"
'Timer3.Interval = ti

```

```

Label6(7).Caption = Str$(R3) + " nudos " +
Str$(r3km) + " K/h " + Str$(r3ms) + "m/s "
'velocidad

```

```

Else
Label6(7).Caption = "la velocidad es cero"
End If
*****

```

```

Label6(1).Caption = r1 'latitud
Label6(3).Caption = R2 'longitud

```

```

latgra = Val(Mid(r1, 1, 2))
latmin = Val(Mid(r1, 3, 8)) / 60
lat_ns = Mid(r1, 10, 10)

```

```

longra = Val(Mid(R2, 1, 3))
lonmin = Val(Mid(R2, 4, 9)) / 60
lon_we = Mid(R2, 11, 11)

```

```

pi = Atn(1) * 4
facr = 180 / pi
C = 6399902.55159
ex2 = 0.006814784946
aux1 = 6367399.68917
aux2 = 32365.18693
aux3 = 0.004231408
aux4 = 0.000022782
aux5 = 0.0000001272
aux6 = 0.0000000008

```

```

lat = latgra + latmin '+ LATSEG
lon = longra + lonmin '+ LONSEG

```

```

If lat <= 82 And lon <= 180 Then
lat1 = lat
If lat_ns = "S" Then
lat1 = lat * -1
End If

```

```

letra = Chr(ZONA(lat1)) 'LETRA
ETIQUETA 15, letra, 8300, 700, 9, 1

```

```

alat = lat1 / facr

```

```

If lon_we = "W" Then
lon = lon * -1
End If

```

```

alon = lon / facr
LE = Int(lon / 6) * 6
If LE < lon Then
LE = LE + 6
End If

```

```

LW = LE - 6
amerc = LW + 3
amerc = amerc / facr

```

```

sen2 = Sin(alat) * Sin(alat)
sen4 = sen2 * sen2
sen6 = sen2 * sen2 * sen2
sen8 = sen4 * sen4

```

```

aux7 = 1 + (aux3 * sen2) + (aux4 * sen4) + (aux5 *
sen6) + (aux6 * sen8)
b = aux1 * alat - aux2 * Sin(alat) * Cos(alat) * aux7

```

```

cos2 = Cos(alat) * Cos(alat)
cos4 = cos2 * cos2
cos6 = cos2 * cos2 * cos2

```

```

aux10 = 1 / Cos(alat)
aux11 = aux10 * aux10

```

```

A1 = C / Sqr(aux11 + ex2)
A2 = A1 * Sin(alat) / 2
a3 = A1 * (-1 + 2 * cos2 + ex2 * cos4) / 6
a4 = A2 * (-1 + 6 * cos2 + 9 * ex2 * cos4 + 4 * ex2
* ex2 * cos6) / 12
a5 = A1 * (1 - 20 * cos2 + (24 - 58 * ex2) * cos4 +
72 * ex2 * cos6)
a5 = a5 / 120
a6 = A2 * (1 - 60 * cos2 + 120 * cos4) / 360

```

```

al = alon - amerc
al2 = al * al
al3 = al * al * al
al4 = al2 * al2
al5 = al * al * al * al * al
al6 = al2 * al2 * al2

```

```
z = (LE + 180) / 6
```

ETIQUETA 16, z, 8100, 700, 9, 1 ' zona número

```

nort = b + A2 * al2 + a4 * al4 + a6 * al6
If lat_ns = "N" Then
nort = 0.9996 * nort
Else
nort = 10000000 + 0.9996 * nort

```

```

End If
X = Format(nort, "##,###0.00") + "m"
ETIQUETA 17, X, 4755, 700, 9, 1

```

```

LE = int(lon / 6) * 6
If LE < lon Then
LE = LE + 6
End If
LW = LE - 6
LC = LW + 3 'este es el amerc
z = (LE + 180) / 6

```

```

east = A1 * al + a3 * al3 + a5 * al5
east = 500000 + 0.9996 * east '491503
Y = Format(east, "##,###0.00") + "m"
ETIQUETA 18, Y, 6705, 700, 9, 1

```

```
If nom_track <> "" Then
```

```

Open "C:\SADIUTMDATOS\" + nom_track + ".trk"
For Append As #10
Print #10, "T " + Format(z, "#") + letra +
Format(east, " #") + Format(nort, " # ") +
Format(Now, "dd-mm-yy hh:mm:ss")
Close #10
End If

```

```

Else
Print "EL VALOR ES INCORRECTO O MAJOR
DE 82 EN LATITUD"
End If
End If
'obteniendo el dato de altura
If k <> 0 Then 'Or U6 = 10 Then
R4 = Mid(h, k2 + 6, 5) 'altura en ft
CONTA = 2

```

```

If CONTA = 2 Then
R4 = Val(R4) / 3.282
R4 = Format(R4, "##,#####0.00") + "m"
Else
R4 = R4 + "m"
End If
R4 = R4
Label6(5).Caption = R4 'altura
End If

```

```

If k <> 0 Then
r5 = Mid(h, k + 44, 5) ' track
r5 = r5 'garantizar que si no lo encuentra tome
el número anterior
End If
Label6(13).Caption = r5 'track

```

```

End If ' fin de if sensor
SENSOR_GPS = 0

```

```
End Sub
```

```
.....
```

```
Private Sub Picture1_MouseDown(Button As
Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
```

```
If Picture1.Tag = "ACT" Then
```

```

Picture1.Picture = Picture3.Picture
'DESACTIVAR PUERTO
MSComm1.PortOpen = False
Picture1.Tag = "DESACT"
Label6(8).ForeColor = QBColor(0)
Timer2.Enabled = False

```

```

Else
' ACTIVAR PUERTO
Label6(8).ForeColor = QBColor(10)
MSComm1.PortOpen = True
Picture1.Picture = Picture2.Picture
Picture1.Tag = "ACT"
Timer2.Enabled = True
Timer2.Interval = 3000

```

```

End If
End Sub
*****

Private Sub Picture4_Click()
If vent = 0 Then
If punto1 = 1 Then
p1x = xx1
p1y = yy1
punto1 = 0
Else
Command3.Visible = True
Picture4.Cls
p2x = xx1
p2y = yy1
punto1 = 1
vent = 1

Picture4.MousePointer = 0
Picture4.ScaleTop = Shape1.Top
Picture4.ScaleLeft = Shape1.Left
Picture4.ScaleHeight = -Shape1.Height
Picture4.ScaleWidth = Shape1.Width

' dibujar zona de vuelo
dib_zona
' dibujar lineas de vuelo
dib_linea
r1 = 1
Do Until r1 = RR 'EOF(E)
If e(r1) < Shape1.Left + Shape1.Width And e(r1) >
Shape1.Left And n1(r1) < Shape1.Top And n1(r1)
> Shape1.Top - Shape1.Height Then

Shape2(r1).Visible = True
Shape2(r1).Left = e(r1)
Shape2(r1).Top = n1(r1)
r1 = r1 + 1
Loop
Shape1.Visible = False
End If
End If

End Sub
*****

'MUESTRA DE COORDENADAS
Private Sub Picture6_MouseMove(Button As
Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
ETIQUETA 9, X, 10000, 800, 8, 0
ETIQUETA 10, Y, 11000, 800, 8, 0
End Sub

*****

Private Sub REGRESAR_Click()
' VER PANTALLA DE PRESENTACIÓN
Load MAPAS
Unload pant1

```

```

For valor = 0 To 14
MAPAS.Text1(valor).Text = MAP(valor)
Next
MAP(15) = archivo$ 'image1.Picture
MAPAS.Image1.Picture = LoadPicture(archivo$)
End Sub

```

```

*****

Private Sub SALIR_Click()
'FIN DE PROGRAMA
End
End Sub

*****

Private Sub Text1_Change()
Timer4.Enabled = True

End Sub

*****

Private Sub Text2_KeyDown(KeyCode As Integer,
Shift As Integer)
entrada = Text2.Text

If KeyCode = vbKeyReturn Then
If IsNumeric(entrada) Then
Timer3.Interval = Text2.Text * 1000
entrada_a = entrada
Else
'En caso de que la entrada no sea un número
Text2.Text = entrada_a
End If
End If

End Sub

*****

Private Sub Text3_KeyDown(KeyCode As Integer,
Shift As Integer)
'Toma el id que se coloca en la fotografía
If KeyCode = vbKeyReturn Then
MENSAJE = Text3.Text
'text limpiar id

Text3.Text = ""
End If
End Sub

*****

Private Sub Timer1_Timer()
If IOPORT2.PortData = 119 Then
Label6(8).ForeColor = QBColor(0)
CONTAD = CONTAD + 1
Label6(20).Caption = "FOTO" + Str(CONTAD)
Else

```

```

Label6(8).ForeColor = QBColor(10)

If CONTAD > 195 Then
  Label6(20).Caption = "CAMBIAR DISCO"
  Label6(20).ForeColor = QBColor(9)
  Command1.Visible = True
End If
End If

End Sub

*****

Private Sub Timer2_Timer()
  ReDim Preserve e(RR)
  ReDim Preserve n1(RR)
  ReDim Preserve CAD1(RR)

  If Picture1.Tag = "ACT" Then

    ****pantalla de trayectoriaSENSOR_GPS

    'delimitando la zona de vuelo con 3000m hacia
    los lados

    If (east < (MAP(13) + 3000) And east > (MAP(7) -
    3000)) And _
    (nort < (MAP(8) + 3000) And nort > (MAP(12) -
    3000)) Then

      e(RR) = east 'Mid(cad1(R), 9, 7)
      n1(RR) = nort 'Mid(cad1(R), 17, 7)

      Load Shape2(RR)
      'hacemos visibles los botones
      Label6(21).Visible = False
      Command3.Visible = True
      Command2.Visible = True
      'mandamos a pintar los puntos
      Shape2(RR).Visible = True
      Shape2(RR).Left = e(RR)
      Shape2(RR).Top = n1(RR)
      RR = RR + 1
      Timer2.Interval = 1000

    Else
      Label6(21).Visible = True
      ETIQUETA 21, "Abandonamos la zona de vuelo",
      50, 5000, 6, 12
      Command3.Visible = False
      Command2.Visible = False

    End If 'Terminación de rango de la zona de vuelo

    If east <> 0 And nort <> 0 Then

      P1 = Abs(east - CX)
      P2 = Abs(nort - CY)

      If mover = True Then
        Picture6.Left = -((P1 * APX / ANCHO) - 260)

```

```

Picture6.Top = -((P2 * APY / LARGO) - 214)
End If

Load Shape3(R)
Shape3(R).Visible = True
Shape3(R).Left = east 'e(R)
Shape3(R).Top = nort 'n1(R)

R = R + 1
Timer2.Interval = 1000
End If

End If

End Sub

*****

Private Sub Timer3_Timer()

  'Aumenta el contador de fotografia
  NFOT = NFOT + 1

  NFOT = Format(NFOT, "00000")

  If DCM = 1 And Timer3.Enabled = True Then

    'disparo manual

    Label6(20).Caption = "FOTO" + Str(CONTAD)

    Open "C:\SADIUTMDatos\" + nom_foto + ".fot"
    For Append As #11
      Print #11, "W " + NFOT + Format(z, " #") +
      letra + Format(east, " #") + Format(nort, " #") +
      Format(Now, "dd-mm-yy hh:mm:ss") + " " +
      MENSAJE
      Close #11

    'Mensaje limpia mensaje para que no se repita
    MENSAJE = ""

    For i = 1 To 2000

      IOPORT1.PortData = 1
      Next
      IOPORT1.PortData = 0

      CONTAD = CONTAD + 1
      If CONTAD > nf Then
        Label6(20).Caption = "CAMBIAR DISCO"
        Label6(20).ForeColor = QBColor(9)
        Command1.Visible = True
        'CONTAD = 0
      End If

      Else
        'disparo automático

        Label6(20).Caption = "FOTO" + Str(CONTAD)
        Open "C:\SADIUTMDatos\" + nom_foto + ".fot"
        For Append As #11

```

```

Print #11, "W " + NFOT + Format(z, " #") +
letra + Format(east, " #") + Format(nort, " #") +
Format(Now, " dd-mm-yy hh:mm:ss") + " " +
MENSAJE
Close #11

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
.....
```

```

For i = 1 To 2000
IOPORT1.PortData = 1
Next
IOPORT1.PortData = 0
Timer3.Interval = ti * 1000

```

```
CONTAD = CONTAD + 1
```

```

If CONTAD > nf Then
Label6(20).Caption = "CAMBIAR DISCO"
Label6(20).ForeColor = QBColor(9)
Command1.Visible = True
End If

```

```
Print nf
```

```
End If
End Sub
```

```
.....
```

```

Private Sub Timer4_Timer()
'Sensor de gps
If SENSOR_GPS = 1 Then
Timer4.Enabled = False
SENSOR_GPS = 0
Else
If Picture1.Tag = "DESACT" Then

Else
MsgBox ("Falla de GPS")
End If
End If
End Sub

```

```
.....
```

```

Private Sub VScroll1_Change()
'BARRA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL
Picture6.Top = VScroll1.Value
End Sub

```

```
.....
```

```

Private Sub ZOOM_Click()
"BARRAS DE DESPLAZAMIENTO
'CHECAR_ZOOM
If mover = True Then
VScroll1.Visible = True
HScroll1.Visible = True
'Command2.Caption = "QUITAR BARRAS"
mover = False
Else
mover = True
VScroll1.Visible = False
HScroll1.Visible = False
'Command2.Caption = "MOVER"

```

# BIBLIOGRAFÍA:

1. Juan Manuel Becerril Báez, Mario Rodríguez Díaz.  
"Sistema de Navegación Inercial Empleando Giróscopos y Acelerómetros"  
Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM 2000.
2. N. A. Valyus.  
"Stereoscopy"  
Focal Press (Londres) 1966.
3. Lenny Lipton, Van Nostrand Reinhold, 1982.  
"Foundations of the Stereoscopic Cinema"
4. Herbert McCay's.  
"Principles of Stereoscopy"  
Segunda edición, 1951
5. Raymond and Nigel Spottiswoode's.  
"The theory of Stereoscopic transmission and its application to the motion picture"  
University of California Press, 1953
6. Carlos A. Ortiz Osorio, Heriberto E. Cuanalo de la Cerda  
"Metodología del Levantamiento Fisiográfico"  
Ed. Colegio de Posgrados Chapingo, México.
7. Charles H. Deetz, Oscar S. Adams  
"Elementos de proyección de Mapas"  
Traducción: Servicios de lenguas extranjeras de la secretaria de estado de los Estados Unidos de América Publicación TC-289 Washington, D.C.
8. Secretaria de Programación y Presupuesto  
"Divulgación Cartografica"  
Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografica e informatica.
9. Teodor J. Blachut, Adam Chrzanowski, Jouko H. Saatamoinen 1979  
"Cartografía y Levantamientos Urbanos"  
Traducción: Dirección Nacional de Cartografía Nacional 1980
10. Jorge Caire Lomeli,  
"La proyección Cartografica para la Republica Mexicana"  
1ra Edición 1985. UNAM

11. Teodor J. Blachut.  
"Cartografía y Levantamientos Urbanos"  
Catalogo de Publicaciones del Congreso 1979.
12. Charles H. Deetz. Oscar S. Adams.  
"Elementos de Proyección de Mapas"  
Publicaciones TC.
13. Sistema Geográfico Nacional 1987.  
"Divulgación Cartografica"  
Secretaría de Programación y Presupuesto.
14. Rafael C. González, Ricardo E. Woods.  
"Tratamiento Digital de Imágenes"  
Ed. Addison-Wesley 1996.
15. Raul R. Wolf, Russell C. Brinker.  
"Topografía"  
Ed. Alfa-Omega 1998.
16. Arthur H. Robinson, Joel L. Morrison, Phillip C. Maehrcke, A. John Kimerling  
"Elements of Cartography"  
Ed. Jon Wiley & Sons Sixth Edition 1995.
17. Gary Cornell  
"Manual de Visual Basic 3 para Windows"  
Ed. Mc-Graw-Hill 1994.
18. Fco. Javier Ceballos Sierra.  
"Enciclopedia de Visual Basic 4"  
Ed. ra-ma. 1996.
19. Michael Halvorson.  
"Aprenda Visual Basic Ya"  
Ed. Mc-Graw-Hill. 1998.

#### **Direcciones de E-mail:**

20. <http://www.jalisco.gob.mx/institutos/iit/Definiciones/deffotoaerea.html>
21. <http://www.garmin.com>
22. <http://www.molcrisa.com/quajolotes/utilidad/gps/cablepc.htm>
23. <http://www.uco.es/~bb1rofra/documentos/hacerantenas/hacerantena.html>
24. <http://dmoz.org/World/Español/Computadoras/Programación/Lenguajes.html>

#### **Artículos**

25. Aldo Cumani, Antonio Guiducci  
"A new camera calibration meted for high accuracy non-contract metrology"  
Pattern Recognition letters 14 (1993) pp 415-419