

10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

PROCESOS CARTOGRAFICOS Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA APLICADOS A REDES HIDRAULICAS.

299376

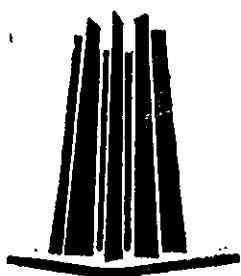
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

CARLOS ARMANDO ESPINOSA ALAMILLA





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.

*PROCESOS CARTOGRAFICOS Y SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A
REDES HIDRÁULICAS.*

Carlos Armando Espinosa Alamilla

DEDICATORIA

A mis Padres:

*Carlos Espinosa García
Isabel Alamilla Labastida*

"Gracias Papá por tu apoyo y por el esfuerzo realizado al darnos una educación, por tus consejos y tu ejemplo que me han formado. Y a ti Mamá por regalarnos incondicionalmente lo mejor de ti día con día, por tu apoyo y sacrificio en todo momento, y especialmente por mantenernos unidos e inculcarnos el amor por la familia y él superarnos siempre."

A mis Hermanos:

*Luis Alberto
Juan Pablo
José Alonso*

A toda la Familia, especialmente a:

*"Mi Abuelita"
Martina Labastida Tapia*

AGRADECIMIENTOS

***A la Universidad Nacional Autónoma de México
E.N.E.P. Aragón***

A todos mis Maestros

*A todas las personas que me apoyaron en la
elaboración de este trabajo.*

*A mis amigos y compañeros, y especialmente a
Carmelina Pérez Avilés*

INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	PAGINA
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica	2
1.3 Objetivos de la Elaboración de los Trabajos de Catastro de Redes Hidráulicas, para su Integración de un Sistema de Información Geográfica, como Apoyo en la Formulación de Estudios y Proyectos	4
1.4 Alcances	6
1.5 Especificaciones Técnicas para la Elaboración de un Sistema de Información Geográfica en Redes Hidráulicas	7
1.5.1. Características de los Sistemas de Información Geográfica	8
1.5.2. Confiabilidad de la Información Cartográfica	10
1.5.3. Archivo Digital	11
1.6 Lineamientos Generales	12
CAPITULO 2 PROYECTO AEROFOTOGRAFICO	
2.1 Introducción	13
2.2 Fotografía Aérea Vertical	15
2.3 Plan de Vuelo	19
2.4 Aviones	22
2.5 Condiciones Atmosféricas	25
2.6 Cámara Aérea	28
2.7 Elementos de Control en la Toma de Fotografía Aérea Vertical	33
2.7.1. Instrumentos	33
2.7.2. Información Adicional de Apoyo	34
2.8 Imagen Aérea	36
2.9 Estándares Adicionales	41
2.10 Proceso de Fotografía	42
CAPITULO 3 CONTROL TERRESTRE	
3.1 Especificaciones de Precisión	45
3.1.1. Cartografía y la Red Geodésica Nacional Activa	46
3.1.2. Problemática General y Expectativas de la Cartografía	50
3.1.3. Dimensiones de la Tierra	52
3.1.4. Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM)	54
3.2 Funcionamiento del Sistema Global por Satélite (GPS)	56
3.2.1. Constelación Navstar	63
3.2.2. Uso de Posicionadores GPS para la ejecución de Vuelo	65
3.3 Densidad de Puntos de Control	66
3.4 Reportes de Control Terrestre	67

CAPITULO 4 PROPAGACIÓN DE APOYO TERRESTRE (AEROTRIANGULACION)	PAGINA
4.1 Picado de Puntos	69
4.2 Identificación de Puntos en el Campo	69
4.3 Aerotriangulación Analítica	71
4.4 Apoyo Terrestre Mediante Poligonación	72
4.5 Ajuste Analítico de Bloques	74
CAPITULO 5 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA	
5.1 Introducción	76
5.2 Descripción del Proceso	78
5.3 Planimetría	79
5.4 Altimetría	81
5.5 Edición Cartográfica	85
5.6 Especificaciones para Planos Tipo	86
5.6.1. Identificación y Nomenclatura de Planos	86
5.6.2 Tamaño y Orientación	87
5.6.3. Contenido de los Planos	88
5.7 Contenido del Archivo Digital (Planimetría y Altimetría)	93
5.8 Productos a Entregar y Duración de los Servicios	93
5.9 Actualización de la Información.	96
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	107

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Las ciudades y municipios, como unidades administrativas, están integradas por recursos tanto humanos como físicos que deberán ser conocidos, ordenados y orientados hacia un desarrollo global y armónico.

Cualquier ordenamiento espacial, prospera cuando se trabaja basándose en un inventario de los recursos territoriales, los cuales encajan dentro de un conjunto de políticas y programas económicos generales, orientados hacia el bienestar de la comunidad.

Aquí es donde entran los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, con los cuales los gobiernos podrán aplicar las tecnologías de punta para la creación de inventarios, descripción física y valuación de cada uno de los inmuebles de las ciudades y poblaciones del municipio, reflejados en una Cartografía temática detallada con un sistema de presentación que asegure su perfecta localización, su descripción gráfica, sus atributos y su topología, organizado de acuerdo a una estructura de base de datos catastral que permita su manejo y administración.

Todo ello por medio de un manejo computarizado de grandes volúmenes de información, como forma de facilitar la percepción de la realidad bajo estudio, mejorando no solo la comunicación, sino además adoptando políticas y lineamientos de acción para alcanzar un desarrollo armónico de la sociedad, facilitando además monitoreos de los resultados obtenidos; ello le permitirá aplicar correctivos a fin de alcanzar los objetivos planeados.

Estos programas debido al crecimiento acelerado de las ciudades, han tenido que ser más eficientes ya que deben dar respuestas inmediatas a cualquier tipo de situación, ya sea de índole natural, social o tecnológica.

Esta creciente necesidad, desde hace algunas décadas, ha encontrado *gradual* satisfacción con la aplicación de los SIG, con los cuales los gobiernos han podido aplicar las tecnologías de punta.

1.2 Antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas de manejo de análisis computacional inscritas en un contexto general de las ciencias de la información, surgen de la aportación multidisciplinaria de diversas ciencias y técnicas, tales como la geografía, la percepción remota, el análisis espacial, la cartografía, la informática y el desarrollo de bases de datos.

Constituyen una tecnología con base digital orientada a proporcionar respuestas organizadas a diversos problemas que se presentan en la integración y manejo de variables de carácter geográfico, cuantitativo y cualitativo, y para la representación gráfica de fenómenos físicos y sociales involucrados.

Los SIG son sistemas capaces de almacenar, procesar y recuperar eficientemente y con oportunidad grandes volúmenes de datos.

La implantación de los primeros SIG tiene su antecedente en Canadá, Estados Unidos y algunos países europeos, en los que surgen como respuesta a requerimientos de los gobiernos de varias naciones para realizar acciones de planeación urbana y administración gubernamental.

En 1962, el *Canada Land Inventory*, desarrolla el primer Sistema de Información Geográfica de la época moderna. Este sistema se diseña para diversas aplicaciones; las más importantes son el almacenamiento de mapas digitales, el mantenimiento de un inventario de recursos naturales a escala nacional, y una descripción de atributos geográficos de Canadá.

Por las mismas fechas en los Estados Unidos se desarrollan los primeros SIG para cuestiones de hidrología, como calidad del agua, localización de fuentes y procesos de tratamiento.

La década de los 80 constituye una época de transición, en la que el desarrollo de los programas computacionales evoluciona aceleradamente y marca la aparición en el mercado de paquetes comerciales que permiten establecimiento de relaciones en el contexto espacial.

En este sentido, se creó el concepto *nueva cartografía*, aplicado por primera vez en Perth, Australia, en el año 1984, durante la XII Conferencia de la Asociación Cartográfica Internacional (ICA), con el propósito de atraer la atención hacia el impacto de la tecnología de información sobre cartografía.

De este modo, se le vincula como disciplina para elaborar mapas en los contextos científicos y artísticos tradicionales, relacionados con la teoría de la información, y busca asociar el carácter y utilidad de esta disciplina con fenómenos y acontecimientos que ubicados tradicionalmente dentro de la información descriptiva, encuentran nuevas formas de análisis y expresión cartográfica.

Se propicia así un ambiente de mayor diversificación de la información geográfica y de su alcance tecnológico y social.

En los años 90, la aplicación de los SIG se hace intensiva en los ámbitos público, académico y privado. En la actualidad constituyen una tecnología para responder a los retos de producir información geográfica y cartográfica actualizada, conformar bases de datos y realizar análisis espacial.

En cuestiones de *Ingeniería Civil*, los Sistemas de Información Geográfica pueden ser aplicados en: Gestión Catastral, Planeación Urbana, Obras Públicas, Agua Potable, Saneamiento, Uso de Suelo, Desarrollo Urbano, Vivienda, Permisos y Licencias, Redes Eléctricas, Redes Telefónicas, Reserva Territorial, Bienes Raíces, Servicios Públicos, Servicios Sociales, Medio Ambiente, Vialidad, Comunicación, Transporte, Vigilancia, Administración del Impuesto Predial y Agua Potable, Cable y Gas, etc.

La realización de estos trabajos es fundamental ya que a la fecha, generalmente no se cuenta con algún precedente similar en las ciudades de la República Mexicana, y la información existente no cumple con la calidad requerida, y no se encuentra actualizada.

Por lo anterior los resultados de este estudio servirán como base para formular más adelante trabajos tales como la integración de su información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) o el catastro de las redes hidráulica, y la elaboración de Planes Maestros correspondientes.

Estos elementos constituirán la base primordial para la programación en el medio plazo de las obras y trabajos de operación y mantenimiento necesarios en materia de alcantarillado, saneamiento e infraestructura de agua potable.

1.3 Objetivos de la Elaboración de los Trabajos de Catastro de Redes Hidráulicas, para la Integración de un Sistema de Información Geográfica, como Apoyo en la Formulación de Estudios y Proyectos.

Los sistemas hidráulicos de las áreas urbanas del país, constituidos fundamentalmente por las redes de agua potable, drenaje y en algunos casos de agua residual tratada, son muy dinámicos en su desarrollo, por lo cual resulta difícil tener un registro exacto de sus diversos componentes.

Por la razón anterior, y ante la constante demanda de mejoras y adecuaciones en los servicios, es necesario contar con una infraestructura de los sistemas hidráulicos en las áreas urbanas de diferentes ciudades.

Por esto, este trabajo tiene por objeto dar a conocer las actividades que se realizan, específicamente en lo referente al levantamiento de redes hidráulicas y complementado con una visión integral de los procesos técnicos que comprenden todo proyecto *aerofotogramétrico* y *de restitución cartográfica*, ambos con la finalidad de proporcionar la información que integrará un Sistema de Información Geográfica.

Estos sistemas serán primordiales para el catastro de las redes hidráulicas y la elaboración de planes maestros correspondientes.

Estos elementos constituirán la base fundamental para la propagación en el mediano plazo de las obras y trabajos de operación y mantenimiento necesarios en materia de alcantarillado, saneamiento e infraestructura de agua potable.

Particularmente, en las zonas urbanas de nuestro país, se presentan diversos factores que complican el inventario de infraestructura de los servicios hidráulicos, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Las condiciones en que se encuentra el sistema hidráulico debido a la falta de mantenimiento y a la antigüedad del mismo.
- La topografía accidentada que se presenta en distintas ciudades.
- Los diversos organismos que intervienen en la ejecución de las obras.

-
- Las continuas modificaciones urbanas que se realizan en las ciudades.
 - Las modificaciones a los proyectos de la red por dificultades constructivas o reparaciones posteriores que no quedan registradas en planos y las partes de la red construidas por los propios habitantes, en ocasiones sin fundamentos técnicos y sin dejar ninguna constancia.

Los objetivos fundamentales de la elaboración de un Sistema de Información Geográfica con estas características, son los siguientes:

- Con base en los resultados del catastro de redes, realizar de manera oportuna, eficiente y eficaz las labores de planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable, drenaje y agua residual tratada.
- Dejar evidencia escrita y gráfica del estado y características físicas y de operación del sistema, con información clara, confiable y organizada.
- Que la información sea fácil de comprender y manejar, aún cuando el tiempo transcurrido entre el levantamiento y la consulta sea largo.
- Poder actualizar la información en forma rápida y sencilla, cuando se efectúen obras que modifiquen partes de la red, para la cual se requiere que la información esté concentrada y organizada de manera adecuada.
- Tener la información confiable de las redes con el objeto de que sea un apoyo importante en aquellas obras inducidas para los grandes proyectos.
- Junto con las labores de medición y recolección de datos (ubicación, nivelación e inspección), se intentará mejorar físicamente la infraestructura hidráulica realizando trabajos extraordinarios que mejoren las condiciones del sistema; tales como renivelación de tapas y desazolve o achique de pozos y cajas entre otros.
- Finalmente, se tiene el objetivo básico de beneficiar a la población que hace uso del sistema, con la información completa y confiable, para resolver los problemas que se presenten durante su operación y mantenimiento.

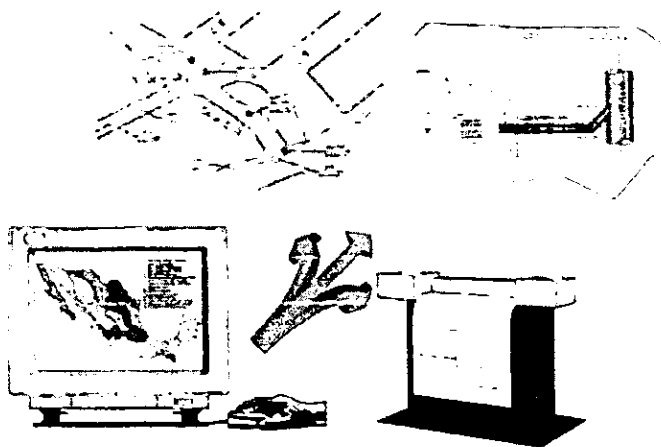


Fig. 1.1 Herramientas para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica

1.4 Alcances

El alcance de este trabajo abarca desde el proceso que va desde el momento en que comienza la ejecución del plan de vuelo, hasta la constitución del archivo digital, pasando por la toma de la fotografía aérea y la generación de los elementos cartográficos necesarios.

En el ámbito gubernamental, la **Comisión Nacional del Agua (CNA)**, es el organismo responsable de la elaboración de estos trabajos, particularmente en el Norte de la República Mexicana, ya que participa de manera conjunta con autoridades norteamericanas en el levantamiento de la infraestructura hidráulica de las ciudades fronterizas de ambos países.

Actualmente se estima que a nivel nacional la CNA ha realizado una cobertura aproximada de 434 km² en las ciudades de Baja California, Tijuana y Tecate en el estado de Baja California Norte, Imuris, Magdalena de Quino, Santana, San Luis Río Colorado, Agua Prieta y Cananea en el estado de Sonora, Nuevo Casas Grandes, Juárez y Ojinagua en el estado de Chihuahua, Valle Hermoso y Miguel Alemán en Tampico.

En estos lugares se encuentra ya establecido y operando el Sistema de Información Geográfica para redes hidráulicas, el cual está administrado exclusivamente por la Comisión Nacional del Agua y los organismos operadores estatales correspondientes.

El costo de este proyecto hasta este momento se estima aproximadamente de \$22,000,000.00, y podría incrementarse sustancialmente, ya que se planea tener un *Sistema* aplicado para toda la República Mexicana.

1.5 Especificaciones Técnicas para la Elaboración de un Sistema de Información Geográfica en Redes Hidráulicas

Como ya se mencionó anteriormente, la CNA en coordinación con los órganos operadores de las diferentes ciudades, está llevando acabo la actualización o ejecución del catastro de las redes hidráulicas de cada ciudad.

Durante la realización de este proyecto, se generará un gran volumen de información cuyo almacenamiento y manejo se realizará en medios magnéticos.

En virtud de lo anterior, a continuación se presentan las *Especificaciones Técnicas* con el fin de establecer una estructura que deberá cumplir la información del levantamiento de redes hidráulicas que se generará en medios magnéticos como un Sistema de Información Geográfica (SIG), para lograr un manejo eficiente y dinámico de la información obtenida en campo, que coadyuvará en la disponibilidad de información y toma de las decisiones de los organismos encargados de la administración de los servicios hidráulicos.

Debido a que este apartado contiene los aspectos técnicos de los archivos gráficos y de bases de datos relacionales de información de las redes hidráulicas, se reconoce que en algunos caso, dichos aspectos pueden ser sujetos a una redefinición de común acuerdo entre la CNA, el organismo operador y la empresa contratista, siempre y cuando no contradiga las siguientes cuestiones:

- Por cada estructura hidráulica en los archivos gráficos, existe un número único que lo identifica.
- Por cada atributo en la base de datos relacional, existe el mismo número único que vincula dicho atributo con la estructura hidráulica en el gráfico.

-
- A las características de la cartografía digital existente. En estas especificaciones se indicarán algunos lineamientos para llevar a cabo la actualización de la información cartográfica, tanto de la planimetría básica, como en las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada.

Los objetivos técnicos básicos que se persiguen con la elaboración de SIG son los siguientes:

- Especificar la estructura en términos de niveles o capas, colores, tipo de rasgos vectoriales y atributos entre otros; de los archivos gráficos de agua potable, drenaje y agua residual tratada.
- Especificar la estructura de la base de datos relacional asociada a los archivos gráficos que contienen toda la información no gráfica y de atributos.

Por otro lado, estas especificaciones contemplan lo referente a la forma en que se preparará y presentará la información (construcción del SIG), producto del levantamiento de las redes hidráulicas, entre otros aspectos destacan:

- La estructura de los archivos gráficos de las redes hidráulicas.
- La estructura de la base de datos relacional con los atributos de los elementos gráficos.
- La estructura de los formatos de los archivos para transferir la información gráfica y no gráfica.
- Los procedimientos de validación y recepción de la información mediante el empleo de un programa o sistema verificador.
- La definición del equipo y sistema de cómputo que mejor se adapte a las necesidades del organismo operador de que se trate.

1.5.1. Características de los Sistemas de Información Geográfica

Para el desarrollo, se deberá aplicar la tecnología disponible más actualizada en materia de SIG.

Manejo amigable para el personal operativo. Es importante considerar las facilidades que proporciona el manejo del ambiente gráfico, para su inmediato uso por parte del personal directamente responsable que manipulará el nuevo sistema. La interfase gráfica

será bastante amigable al usuario de manera que sea disponible capacitar un grupo de personas en corto tiempo.

Conectividad a bases de datos Relacionales. El ambiente gráfico debe tener interfaces desarrolladas, que permitan la conexión a la base de datos relacional, de manera que se pueda manejar con **EFICIENCIA** (respuesta rápida a consultas, con grandes volúmenes de información) y **SEGURIDAD** (integridad de los datos que maneja y control de privilegios a usuarios).

Control de acceso a la información. Los niveles de seguridad básicos que se deberán establecerse son los siguientes:

- I. Nivel de Administración. El personal que tenga acceso a este nivel de seguridad deberá de estar capacitado para poder realizar las siguientes tareas:
 - Levantar y dar de baja bases de datos.
 - Generar nuevas claves de acceso para usuarios, así como asignar niveles de seguridad.
 - Monitorear los trabajos que realicen en la base de datos otros usuarios.
 - Realizar respaldos periódicos de la información contenida en los archivos gráficos y la base de datos.
 - Administrar la base de datos (crear nuevos índices, tablas, vistas, verificar espacios de disco asignados a la base, etc.).

- II. Nivel de Modificación. El personal autorizado para acceder a este nivel de seguridad, podrá realizar los siguientes trabajos:
 - Capturar y modificar datos en las tablas de la base de datos.
 - Modificar archivos gráficos tanto en su planimetría como altimetría.
 - Realizar consultas al gráfico y base de datos.

- III. Nivel de consulta. El personal que tenga este nivel de acceso podrá realizar
 - Consultas del gráfico y base de datos.
 - Generación de reportes e impresión de planos.

De tecnología abierta. El Software que se utilice será del tipo de tecnología abierta, evitando el software propietario. Con esta acción se pretende eliminar en todo lo posible la dependencia a un solo

proveedor, en los componentes básicos del Sistema, dando mayor holgura a las opciones de la adquisición del equipamiento de varias marcas y contemplando las posibles expansiones a futuro.

Software gráfico, base de datos y equipo de cómputo, con amplio soporte en México. Esto es imprescindible, para efectos de hacer efectiva la garantía tanto del software como del equipamiento y también recibir el soporte continuo que se pueda requerir para el funcionamiento adecuado del SIG.

Plataforma de desarrollo. Será necesario analizar las necesidades de cada organismo operador, para definir la plataforma de desarrollo a utilizar, considerando entre otras cosas el costo de la adquisición del equipo.

El desarrollo tecnológico que han alcanzado las plataformas de cómputo, combinado con los sistemas operativos actuales, producen efectos en la eficiencia de los procesos de la información, comparables con equipamiento de nivel superior (procesadores con tecnología RISC).

El sistema de cómputo que se recomienda actualmente para la incorporación de los datos y operación del SIG, son máquinas PC con sistema operativo Windows NT.

La transferencia de la información de los archivos digitales entre los diferentes organismos operadores, se hará en el formato comprimido ZIP en forma ejecutable.

Finalmente, no está de más mencionar que la base geográfica utilizada será la proyección geodésica UTM (Universal Transversa de Mercator), donde la cuadrícula ortogonal ha generar tendrá su origen en el Meridiano Central de cada Huso.^{1.1}

1.5.2. Confiabilidad de la Información Cartográfica.

La información digital sobre la traza urbana que se entregue al contratista, será la base de referencia geográfica para las labores de levantamiento del catastro de redes hidráulicas y como elemento de planeación para todas las demás actividades.

En virtud de que la información de catastro de redes hidráulicas se integrará y procesará en un Sistema de Información Geográfica, es fundamental que la cartografía sea precisa, por lo que las diferencias

^{1.1} Conceptos como la proyección UTM, Husos o Zonas, serán tratados en el capítulo 3.

en la traza urbana (por errores o falta de actualización) que se detecten en campo deberán ser corregidas de manera ágil y oportuna.

El procedimiento para subsanar los errores que pudieran existir se describen a continuación:

Al existir alguna discrepancia, se debe delimitar su área de influencia para proceder a realizar las modificaciones correspondientes.

Los errores se clasificarán en dos grupos: menores y mayores. El primero comprende aquellos que solamente afectan la extensión de una manzana o que producen errores en la orientación relativa de los puntos del catastro, de un metro o menores.

En el caso de errores menores, se tratará de referir los puntos de interés a sitios identificables de la cartografía base que se ubiquen fuera del área con discrepancias.

Los errores mayores, como pueden ser áreas de nuevos asentamientos, cambios en la traza urbana debidos a obras recientes, entre otros, deberán ser notificados a la instancia correspondiente por el contratista, para que en conjunto se determine el procedimiento a seguir para corregir las fallas existentes.

Por otro lado, para evitar atrasos en los programas de trabajo, durante los recorridos de las zonas a levantar, el contratista y la supervisión recorrerán auxiliándose con planos de la cartografía base, para detectar los posibles problemas que se puedan presentar durante el desarrollo del proyecto y en su caso, planear oportunamente las soluciones pertinentes.

En el caso de nuevos asentamientos que no aparezcan en la cartografía base, se podrán utilizar, en caso de existir, los planos aprobados del fraccionamiento o colonia para actualizar la cartografía; el trazo de esta se hace utilizando colores diferentes para distinguir claramente a ambas cartografías.

También se podrán utilizar fotografías aéreas rectificadas de vuelos recientes, como apoyo en la actualización de la cartografía digital.

1.5.3. Archivo Digital

Se refiere a aquellos archivos donde se manejará la cartografía digital. Serán definidos por el equivalente a una cobertura de 1 Km²

de superficie de terreno, abarcando 1 Km en sentido este y 0.5 Km en sentido norte.

Nomenclatura de la calles. Se definirá bajo los siguientes lineamientos.

- Para ubicar el origen de la división será necesario definir un lugar, aproximadamente al centro de la cobertura cartográfica o donde se ubique un lugar sobresaliente del poblado, como un palacio municipal por ejemplo.
- Una vez definido el lugar, ubicar un punto cuyas coordenadas UTM **X,Y** sea múltiplo de 1000. Este punto será considerado como origen de cuatro ejes correspondientes a los sentidos cardinales.
- A partir del punto ubicado se iniciará el trazo de una cuadrícula de 1 Km en **X** y 1 km en **Y**.
- La nomenclatura de las hojas comenzará a generarse a partir del punto central con las letras de los sentidos cardinales y según sea el número del renglón-columna contados radialmente desde el centro, en ningún caso se usarán números negativos.

1.6 Lineamientos Generales

Las actividades cartográficas estarán basadas en el sistema de coordenadas UTM y huso (o zona) 14. Para este propósito, se usará el Datum Norteamericano 83 (NAD83) como base para Longitud y Latitud el Datum 27 (NGVD29) para la elevación.

La escala horizontal de los mapas será 1:1,000 con curvas de nivel a cada 0.5 metros. Las actividades consistirán en toma de fotografía aérea, obtención de apoyo terrestre, triangulación aérea y restitución fotogramétrica. El control terrestre será establecido mediante un sistema de Posicionamiento Global (GPS) ligado a la red Geodésica Nacional.

El producto final será proporcionado en documento reproducible, así como un diskette de 3.5" en algún formato CAD.

CAPITULO 2.

PROYECTO AEROFOTOGRAFICO

2.1 Introducción.

La fotografía aérea es el insumo básico de gran parte de los Sistemas de Información Geográfica. Apartir de su observación y análisis, es posible generar hipótesis, modelos y productos que cubren pasos primordiales en el proceso de conocimiento de la realidad.

Mediante el método científico, posibilita la realización de estudios a costos comparativamente reducidos, en relación con los que implican los levantamientos directos en campo, o la utilización de imágenes de satélite, y asegura la congruencia, ya que la información plasmada en la aerofotografía corresponde con exactitud a los rasgos del área respectiva.

La fotografía aérea es una representación fiel del terreno y sus características en el momento de la toma.

En una fracción de segundo, la imagen fotográfica "**congela**" la realidad dinámica de una parte del territorio, con lo que el observador tiene ante sí un documento que plasma un gran acervo de información, difícilmente apreciable de otro modo y con todas las posibilidades para su aprovechamiento.

La fotografía aérea guarda al menos dos relaciones importantes con la realidad: una de **perspectiva** y una de **tamaño**, denominada escala. Además, la imagen tiene características fundamentales como las métricas y fotográficas.

Las características métricas se refieren a la posibilidad de hacer medidas sobre las fotografías, para obtener, con niveles de precisión comparables, medidas equivalentes a las que podrían obtenerse directamente en campo.

Estas mediciones son el objetivo de la fotogrametría. El nivel de excelencia alcanzado ha sido posible por el desarrollo tecnológico en el diseño de sistemas ópticos, mecánicos y electrónicos, así como de la producción de películas de alta resolución y estabilidad dimensional.

Las características fotográficas están asociadas a las variables visuales de tono, color, textura, forma y contraste, que facilitan la

aplicación de criterios de identificación e interpretación de los detalles observables.

Existe una correlación entre la experiencia y el conocimiento de la realidad, lo cual determina la identificación de objetivos y sus características, además de permitir la asociación para construir modelos de los objetos y fenómenos reales.

Esto construye la fotointerpretación, base de la generación de las cartas temáticas para el estudio de los recursos naturales.

Las posibilidades de aprovechamiento de las fotografías aéreas son tan amplias como la imaginación humana. Lo importante es que también este proceso puede hacerse en tiempos mínimos con mucha confiabilidad, con el nivel de detalle requerido, a costos bajos y observando la misma congruencia.

Las consideraciones anteriores, entre otras, explican que en la actualidad una gran parte de los sistemas generadores de información geográfica en el mundo utilicen la fotografía aérea como materia prima.

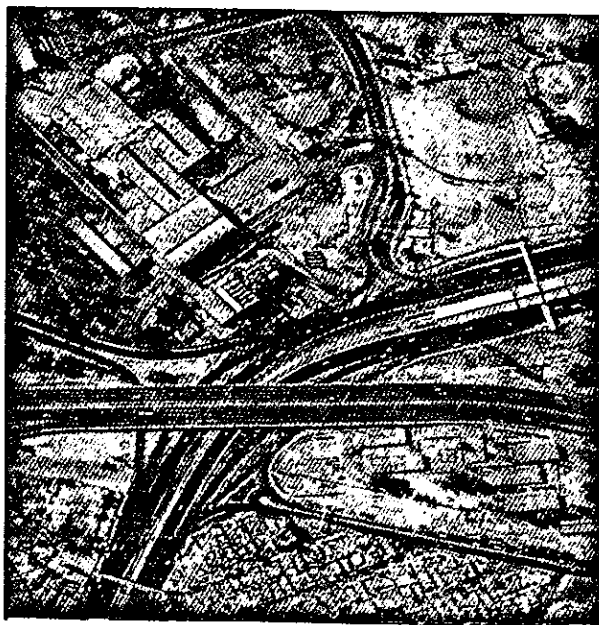


Fig. 2.1 Fotografía aérea de una zona urbana.

La información geográfica adquiere gran importancia en las actividades de planeación, elaboración y ejecución de planes y programas en los diferentes niveles de gobierno, la iniciativa privada y el sector académico, pues cumple con los atributos de suficiencia, confiabilidad, oportunidad y congruencia.

2.2 Fotografía Aérea Vertical

La técnica de la fotogrametría terrestre es un tipo de medición a "corta" distancia que se integra por un emisor, un medio de propagación y un receptor; Se considera como emisor, a todo tipo de superficie terrestre que emita energía, en este caso la luz que proviene del Sol.

Lo anterior origina reflectancia y transmisibilidad en la atmósfera, la cual es el medio de propagación, y presenta variaciones para diferentes materiales, pues la longitud de onda emitida por la superficie varía en función de la constitución físico-química del material; Finalmente los receptores se les pueden considerar las cámaras fotográficas.

Debido a que la función principal de la fotogrametría es efectuar medidas confiables y obtener la representación gráfica de las imágenes contenidas en las aerofotos, es muy importante conocer la estructura técnica y geométrica que caracteriza al proyecto aerofotogramétrico.

A continuación se presenta el esquema a través del cual se ilustran dichos elementos (**figura 2.2.a y 2.2.b**), posteriormente se incluyen las definiciones de éstos, lo cual facilitará el entendimiento de conceptos posteriores.

A partir de estos factores geométricos la aerofoto adquiere sus características y define los procesos fotogramétricos a seguir para su estudio cuantitativo y elaboración de mapas utilizando la restitución fotogramétrica.

Por otro lado en la **figura 2.3**, se muestra un esquema en el se puede observar como influyen las variables: distancia focal, altura de vuelo y cobertura, en las características de la fotografía aérea al momento de la toma.

Punto nadir (n). Es el punto que se define en el negativo por la intersección de la perpendicular al terreno que pasa por el centro del lente.

Punto principal (p). Se define en el negativo por la intersección de la perpendicular del plano negativo que pasa por el centro de proyecciones. Se considera como la proyección ortogonal del centro de proyecciones sobre el plano del negativo.

Punto isométrico (i). Cuando la bisectriz del ángulo formado por la perpendicular al plano negativo y la perpendicular la terreno, pasa por el centro de proyecciones e intercepta al plano del negativo.

En aerofotos verticales, los tres puntos mencionados (n, p, i) coinciden en uno solo, y se conoce exclusivamente como punto principal.

Eje óptico de la cámara. Línea imaginaria (Pop) que coinciden con la posición del **punto principal (p)** y con el **centro de proyección (o)**.

Eje nadir (Nn). Igualmente línea imaginaria perpendicular al plano del terreno que pasa por el centro de proyección.

Grado de inclinación en al aerofoto (t). Es el ángulo formado por el eje óptico de la cámara y el nadir.

Distancia focal (c). Es la distancia del centro de proyecciones al plano del negativo.

Altura de vuelo (z). Elevación del centro de proyección sobre el terreno o el plano de referencia en el momento de la exposición fotográfica.

Plano de referencia (PR). Plano imaginario del terreno que regularmente se utiliza para el cálculo de valores absolutos en la aerofoto; en algunas ocasiones coincide con el plano de referencia medio.

Plano del negativo (PN). Un plano real en la cámara aerofotogramétrica donde se forma el foco.

Centro de proyecciones (O). Es el centro de la lente de la cámara, correspondiente al foco de dicho lente.

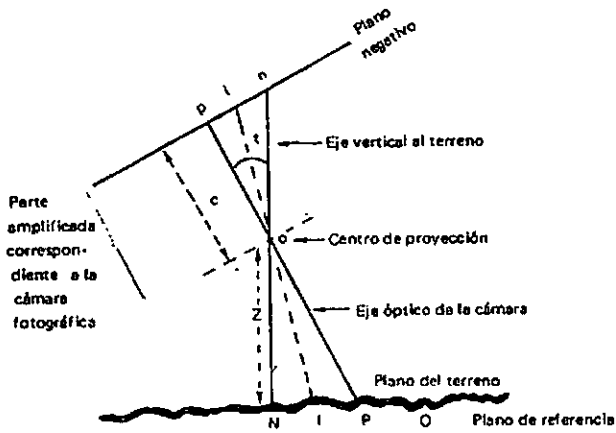


Fig. 2.2.a. Esquema de los ejes vertical y óptico para la definición de los elementos de la fotografía aérea

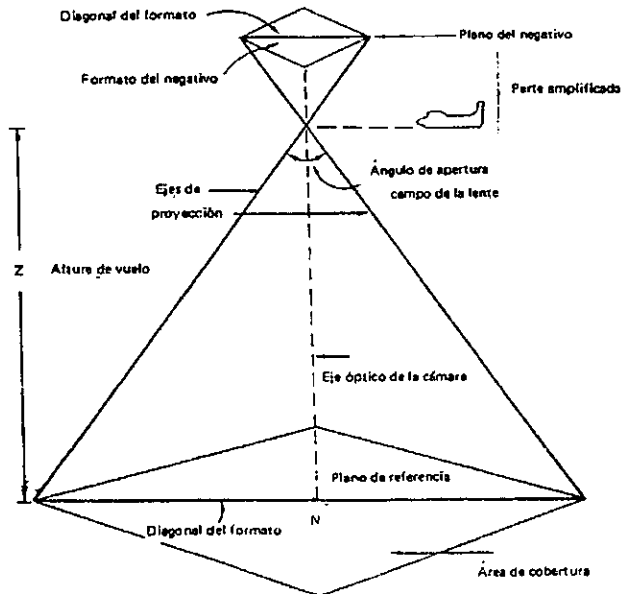
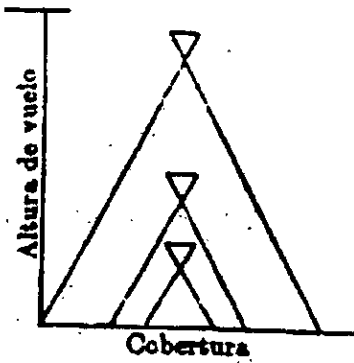
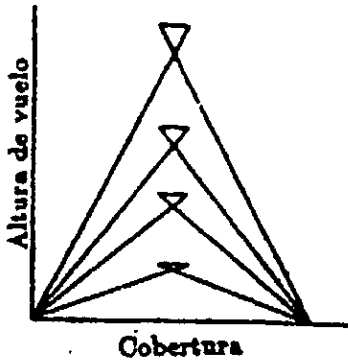


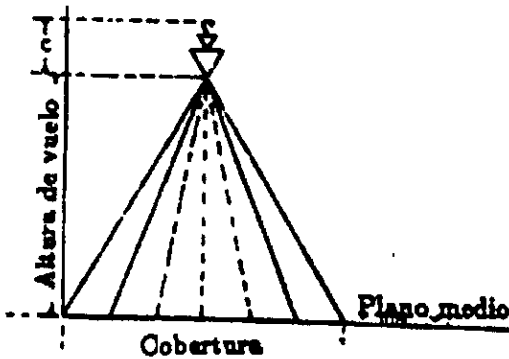
Fig. 2.2.b. Elementos que definen una fotografía aérea



- a) Variables:
 Altura de vuelo
 Cobertura
- b) Constante
 Distancia focal



- a) Variables:
 Distancia focal
 Altura de vuelo
- b) Constante
 Cobertura



- a) Variables:
 Distancia focal
 Cobertura
- b) Constante
 Altura de vuelo

Fig. 2.3 Características de la fotografía,
 dependiendo de las variantes del vuelo

Se identifica en este modelo un elemento muy interesante que se citó anteriormente, donde se describe la cámara aerofotogramétrica, la distancia focal, la cual conjugada con la altura de vuelo tiene influencia en la escala aerofotogramétrica, en el área de cobertura, así como en la magnitud de los desplazamientos de imagen.

En forma gráfica se ilustra como influyen estos dos elementos en el aspectos mencionados

2.3 Plan de Vuelo

El principal objetivo de un vuelo fotogramétrico es obtener, en forma rápida y económica, una cobertura fotográfica de la zona de estudio, que permita extraer la información deseada, ya sea para interpretación o para cartografía.

Por esta razón, el proyectista deberá desarrollar una propuesta de plan de vuelo. Las líneas de vuelo que integren dicha propuesta deberán, primordialmente, asegurar el cubrimiento estereoscópico completo del área de proyecto.

La variedad de fotografías o imágenes que es posible obtener, es muy grande y su costo puede variar considerablemente. Es entonces imprescindible que la elección se haga teniendo en cuenta el máximo aprovechamiento de las fotografías en la labor por desarrollar.

Como primera medida, se deben definir perfectamente los objetivos del vuelo. Ya sea para un trabajo fotogramétrico o de interpretación, puede ser de gran ayuda el conocimiento previo que el proyectista tenga del terreno.

Si se trata de un vuelo confines cartográficos, es necesario conocer su extensión, las diferencias de nivel existentes, la fisiografía y su vegetación, así como la información (planimétrica y altimétrica) que de éste se desea obtener.

Si es un proyecto de interpretación, deberán tenerse en cuenta los mismos elementos anteriores, pero dando especial interés al tipo de información especializada que se desea investigar.

Cualquiera que sea el proyecto (fotogramétrico o de fotointerpretación), antes de elaborar el plan de vuelo, deben quedar bien especificados el tipo y características de la información que se necesita (detalles planimétricos, intensidad de drenaje, vías de comunicación, escala del mapa, etc.), y si se trata de una

fotointerpretación, deberá especificarse además el nivel de levantamiento (de reconocimiento semidetallado o detallado.)

Una vez fijadas las necesidades u objetivos directos del proyecto, deberá estudiarse la posibilidad de satisfacer otras necesidades indirectas, ya que en muchos casos, un pequeño cambio, por ejemplo, en la escala, puede permitir que las fotografías se ajusten a las necesidades de otras disciplinas.

Conociendo exactamente los requisitos del proyecto, podrá comenzar la planeación, la cual, requiere de la evaluación de cada uno de los parámetros anteriores.

De esta manera, la planeación establecerá los requisitos del mismo y proporcionará a los encargados de diseñar específicamente el vuelo, la información básica necesaria, incluyendo la extensión del área y sus límites, el intervalo en que deben tomarse las fotografías, su tipo, escala, sobreposiciones, y sobre todo las especificaciones que permitan comenzar con los trabajos.

El Plan de Vuelo que se seleccione debe estar basado en información geográfica confiable del área, además debe indicar lo siguiente:

- a) Delimitación del área por cubrir, en su caso, también puede considerarse el límite internacional para este propósito.
- b) Dirección y número de líneas que deberán volarse. La determinación de este concepto, puede ser hecha siguiendo alguno de los criterios que a continuación se describen:
 - Si se trata de cubrir una gran extensión de terreno (por ejemplo el país entero), puedes ser de utilidad tomar las fotografías sistemáticamente en una dirección o dos, por ejemplo norte-sur o este-oeste.

La ventaja de este criterio es la simplificación de la organización y empate de los vuelos, pero si la topografía del terreno es muy irregular puede producir dificultades para controlar la escala y las sobreposiciones.

- El segundo criterio consiste en adecuar líneas de vuelo a la topografía y forma del área a cubrir, sin seguir una dirección fija predeterminada, sino más bien escogiendo una dirección que permita reducir al mínimo las variaciones de escala dentro de una misma faja de fotografías (siguiendo la dirección de los elementos estructurales predominantes en la zona y cubriéndola con el mismo número de líneas de vuelo).

c) Alturas de vuelo de cada línea sobre el nivel del mar y sobre el promedio de elevación del terreno, por ejemplo:

- Para Cartografía Esc. 1: 5,000 volar Esc. 1: 25,000
- Para Cartografía Esc. 1:10,000 volar Esc. 1: 50,000

Es decir, que para una línea de vuelo realizada a nivel del mar y a una escala 1:5,000 se debe volar a una altura de 2,500 feet (762 metros aproximadamente) sobre el nivel medio del terreno, con una variación no mayor del 5%

Las fotografías aéreas pueden clasificarse de acuerdo a su escala en tres grandes grupos:

- Fotografía de escala grande; mayor de 1: 15,000
- Fotografía de escala mediana; de 1: 15,000 a 1: 50,000
- Fotografía de escala pequeña; menor de 1: 50,000

La correcta elección de la escala por emplear en un determinado trabajo es de suma importancia, pues determina el tiempo requerido para la ejecución del proyecto y sobre todo su costo.

Por ejemplo, reducir a la mitad la escala de fotografías para un proyecto determinado, significa que el número de fotografías disminuye hasta aproximadamente la cuarta parte, con lo que se hace mínimo el costo de vuelo y especialmente el número de modelos (área común entre dos fotografías consecutivas en las que es posible obtener los detalles en tres dimensiones), por procesar fotográficamente o interpretar.

En consecuencia, bajan los costos y el tiempo requerido para esta parte del trabajo, e incluso el número de puntos de control terrestre requeridos para proyectos fotogramétricos es menor, de modo que también se abarata, sustancialmente, el trabajo de campo.

d) La sobre posición, en porcentaje, entre fotografías consecutivas de una misma línea de vuelo y entre líneas adyacentes.

Después de realizado el vuelo fotogramétrico los negativos deben ser revelados y copiados inmediatamente a fin de evaluar la misión y observar si las especificaciones establecidas en el plan han sido satisfechas o no.

Dicho plan estará coordinado con la estación de control de tráfico aéreo y las agencias gubernamentales; además, deberán contarse con los permisos y autorizaciones correspondientes.

2.4 Aviones

Durante los primeros tiempos de la aerofotografía, las cámaras eran elevadas en globos libres o cautivos, pero rápidamente éstos fueron sustituidos por aviones. En la actualidad, se emplean casi exclusivamente aviones y, en casos especiales, helicópteros o satélites artificiales.

En este último caso las imágenes son enviadas a tierra a través del sistema de telemetría.

Por lo general los aparatos utilizados en la toma de fotografías son aviones comerciales o militares que han sido adaptados para tal fin y son pocos los que han sido diseñados especialmente.

Al escoger un avión deberán estudiarse cuidadosamente sus características técnicas, a fin de contar con el mejor equipo para el trabajo que se va a realizar. Los principales elementos a considerar para la selección de un avión son:

- Buena visibilidad, tanto para el piloto como para el navegante, es decir, que sea posible un máximo de observación desde el horizonte hasta el nadir (el punto situado abajo del observador y directamente opuesto al cenit).
- La velocidad debe ser variable, es decir, dentro de un intervalo suficientemente amplio como para poder tomar fotografías a una velocidad relativamente baja y movilizarse rápidamente entre las distintas zonas por fotografiar o en el trayecto de ida y regreso al aeropuerto base. Una velocidad de crucero de 250 km./hora puede ser considerada normal para la toma de fotografías aéreas.
- Maniobrabilidad del avión, para reducir el tiempo requerido en los virajes y poder aterrizar y despegar en pistas cortas.
- Buen poder de ascensión a fin de llegar a la altura de vuelo deseada en el menor tiempo posible.
- El techo, o altura máxima a la que puede volar un avión, debe ser alto; 8,500 m es un valor normal, que en aviones modernos puede extenderse a 10,000 m. Por encima de los 3,000 m se requiere equipo de oxígeno.

-
- Las vibraciones deben ser mínimas, a fin de no afectar la calidad de la imagen; si el avión posee más de un motor, es sumamente importante que ambos trabajen sincronizados.
 - Los tubos de escape, las graseras, etc., deben estar dispuestos de manera que no afecten los elementos ópticos que sobresalen del fuselaje.
 - Espacio adecuado para la tripulación, la que debe estar formada como mínimo por tres personas: un piloto aviador, un camarógrafo y un foto navegante que es el jefe de la tripulación.
 - La instalación de la cámara aérea requiere de la apertura de un orificio en el piso y en la superficie exterior del avión, lo suficientemente amplio como para no estorbar el funcionamiento de la cámara, aun cuando se estén tomando fotografías aéreas inclinadas.
 - La cabina debe ser amplia, para permitir la buena disposición de todo equipo fotográfico y la instalación cómoda del fotógrafo. Si es posible debe incluir un pequeño cuarto oscuro.

Los aviones pequeños y livianos, de uno o dos motores, son en general económicos, fáciles de maniobrar, requieren de poca tripulación y se emplean usualmente para vuelos de alturas medias y distancias no muy largas.

Para los aviones grandes se requiere de más personal y su mantenimiento requiere de un equipo especializado y, por consiguiente, difícil de obtener en la zona de trabajo cuando se emplean aeropuertos pequeños.

Los aviones de retropropulsión presentan ventajas para su empleo en misiones fotográficas aéreas por su gran poder de ascensión, su velocidad y alto techo que poseen; sin embargo, el elevado precio de la unidad y de la adaptación ha limitado su utilización para estos menesteres.

Los aviones de turbinas representan una situación intermedia entre los de retropropulsión y los de pistón. Algunos ejemplos de los aviones utilizados en el levantamiento fotográfico se enuncian a continuación:

- Avión Learjet modelo 25D, con dos motores turbina de 1,339.3 kg. de empuje a nivel del mar cada uno. Peso máximo de despegue a nivel del mar de 6,855.4 kg. Peso vacío básico (incluye combustible que no se puede utilizar) de 3,493.2 kg. Aunque está

certificado para alcanzar una altura de vuelo máxima de 15,544.8 m., la configuración que se le ha dado a este avión debido a la inclusión de la cámara le permite alcanzar únicamente 14,478 m. Este avión está equipado con dos cámaras (**figura 2.4**).

- Aviones Cessna modelo 310 P, que constan cada uno de dos motores de pistón de 280 HP.
- Aviones Cessna modelo 310 Q, biomotores, con la misma potencia que los anteriores. Su peso total cargado, al nivel del mar, es de 2,497 kg. y su peso vacío de 1,595.8 kg. Alcanzan una altura máxima de vuelo de 7,924.8 m. estos aviones y los que se mencionan a continuación están equipados con una sola cámara cada uno.
- Aviones Cessna modificados a Riley, con dos motores de pistón de 350 HP cada uno. Alcanza una altura máxima de vuelo de 8,839.2 m.
- Aviones Cessna modelo 310 modificados a Super Riley, con las mismas características que el anterior.

Junto con el equipo básico del avión, se utilizan normalmente instrumentos auxiliares que son de gran utilidad en misiones fotográficas. Algunos de estos instrumentos son:

Brújula. Un alto porcentaje de los vuelos fotográficos son realizados por navegación visual, es decir, utilizando puntos de referencia marcados en el mapa con el plan de vuelo, que son para que el navegante oriente las líneas de vuelo. En zonas en que los detalles topográficos son escasos (por ejemplo desiertos) o cuando se requiere una mayor precisión en el paralelismo entre las líneas de vuelo, se puede emplear una brújula giroscópica.

Anteojos de navegación. La acción de vientos laterales desvía el avión de su trayectoria de manera que nunca el eje del avión es paralelo con la dirección específica de vuelo.

Esta condición de falta de paralelismo, trae como consecuencia una deficiente sobreposición entre fotografías, siendo necesario girar la cámara para compensar la desviación angular horizontal.

En aviones pequeños y medianos, un simple sistema de navegación visual, constituido por marcas ubicadas en diferentes partes del avión, es suficiente para orientarlo en posición correcta.

Sin embargo, como la precisión de la navegación es fundamental para la obtención de fotografías aéreas, es conveniente emplear un anteojo de navegación que permita al navegante observar el terreno sobre el que está volando y sobre un ángulo variable (para proyectar el vuelo hacia el horizonte), permitiendo así la utilización de referencias en el horizonte que compensen la falta de detalles cuando la zona sobre la que esté volando no los tenga.

Altímetro. El altímetro comúnmente empleado es un barómetro aneroide, calibrado para dar la altura de vuelo sobre el nivel del mar en metros o pies. La calibración se realiza siempre estando el avión en tierra y utilizando el valor de la presión atmosférica local. El valor de la altura de vuelo leído en el barómetro debe ser corregido por presión atmosférica.

Termómetro. Debe ir montado en el elemento sensible fuera del avión para que se encuentre en contacto directo con el aire. La temperatura medida permite calcular la corrección para la altura leída en el barómetro aneroide.

Piloto automático. El piloto automático se conecta a los controles del avión a fin de corregir las desviaciones y mantenerlo sobre una línea recta de vuelo y altura constante. Utilizando un piloto automático se obtienen líneas de vuelo más rectas y las inclinaciones son menores que en los vuelos manuales.

La operación y mantenimiento de estos aviones, deberán ajustarse a lo que establece la ley de vías Generales de Comunicación y sus Reglamentos.

2.5 Condiciones Atmosféricas.

Las condiciones atmosféricas ideales para tomar fotografías aéreas son las de un día claro en que el cielo no esté cubierto en más de un 7% por nubes, niebla, calina^{2.1}, humo, polvo y con viento calmo; Ya que todos estos elementos pueden cubrir los principales puntos de apoyo terrestre o sus homólogos.

La estación del año en que se tomen las fotografías determinará la cantidad posible y también la calidad de la información que se recoja, por lo tanto, la elección de la época para la toma debe ser hecha tomando siempre como criterio fundamental la información que se desea obtener en cada proyecto específico.

^{2.1} Neblina que enturbia el aire con partículas en suspensión.

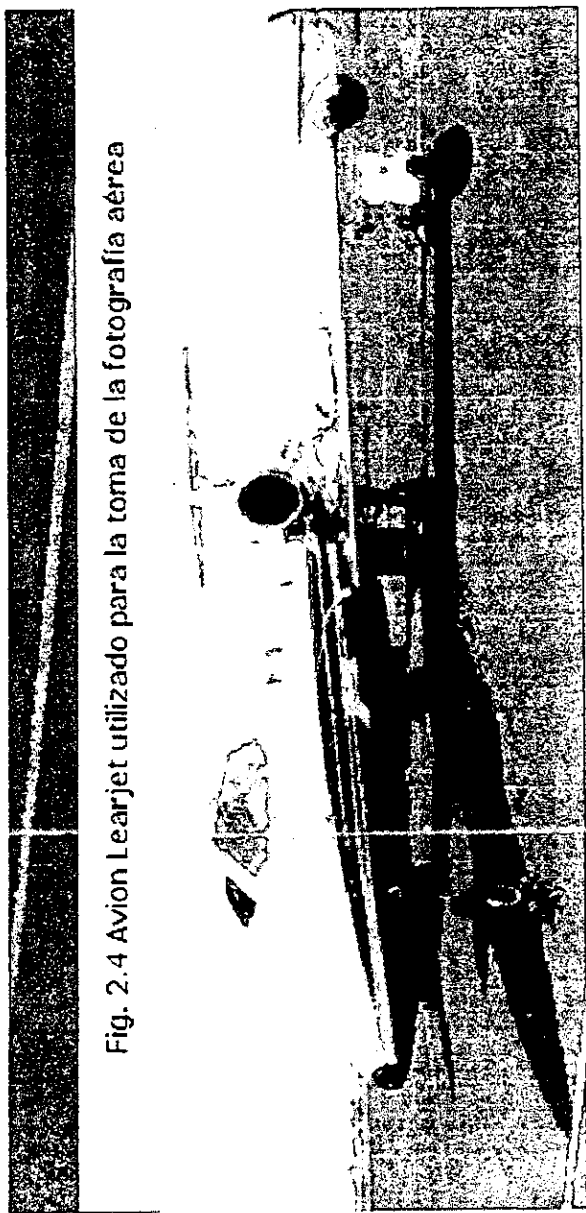


Fig. 2.4 Avion Learjet utilizado para la toma de la fotografía aérea

Algunas zonas de México presentan algunas dificultades para ser fotografiadas durante algunas épocas del año; Por ejemplo, durante el invierno los estados de la península de Yucatán presentan una gran formación de nubes, además de los humos producidos por la quema de vegetación, por lo que el tiempo adecuado para realizar el trabajo, queda reducido a 2 o 3 días únicamente.

Desde el punto de vista fotogramétrico, la época preferida es la del final del otoño (en las zonas templadas), es decir, cuando un alto porcentaje de vegetación ha perdido su follaje y es posible observar el suelo directamente, facilitándose de esta manera el trazo de las curvas de nivel.

El criterio para elegir la época del año en fotointerpretación es deficiente, y depende mucho más directamente del propósito que se pretenda obtener con tal proceso.

En regiones templadas se puede obtener buena información si se emplean emulsiones pancromáticas en primavera o infrarrojos en verano. Para regiones tropicales, se toman las fotografías al principio del tiempo de secas.

En estudios de suelos la época preferida es la de principio de primavera, cuando salen los primeros brotes, pero si se desea conocer el uso del suelo, deberán tomarse fotografías en el transcurso de las diferentes estaciones.

Por otro lado, en cuanto a la iluminación requerida, la hora del día en que se toman las fotografías determina las posibles horas de vuelo y la longitud de las sombras que aparecen en las imágenes.

Si las sombras arrojadas son demasiado largas, muchos detalles importantes pueden quedar ocultos o inclusive desaparecer. Si las sombras son muy pequeñas o no existen (fotografía tomada con el sol en el cenit) la diferenciación e identificación de los objetos puede resultar más difícil por la reducción de contraste.

Siempre es necesario tener una cierta proporción de sombras para poder observar las fotografías en 3 dimensiones.

La altura óptima del sol sería entonces 45° , y existen especificaciones que marcan el ángulo entre 50° y 60° como el adecuado para tomar fotografías aéreas. Las horas en que esto suceda cambiarán naturalmente, según la época del año y la latitud del lugar en cuestión.

2.6 Cámara Aérea

La cámara aerofotogramétrica, se define como un instrumento básico que sirve para tomar aerofotos a partir de una nave aérea.

Tiene como característica fundamental que su diseño permite que las imágenes obtenidas posean componentes geométricos de mayor precisión que cualquier otro tipo de cámara.

A continuación se hace una descripción general de una cámara, en la cual se enunciarán las partes que son de vital importancia, ya que deberán ser revisadas y ajustadas antes de realizar la misión aérea.

1. Sistema Óptico

- **Lentes.** Estos deben de estar bien pulidos, libres de aberraciones, tener alto poder de resolución, ya que de ellos depende que se obtengan distorsiones mínimas en las imágenes. Pueden ser de tipo normal, gran angular y Super gran angular, mismos que se describen más adelante.
- **Obturador.** Es la parte que regula el tiempo de exposición de la película a la luz.
- **Diafragma.** Regula la cantidad de luz que entra a la cámara.
- **Filtro.** Material transparente o dispositivo que puede ser de varios colores (rojo, anaranjado, azul, amarillo), permite eliminar ciertas longitudes de onda de los rayos de luz antes de llegar al lente. Es importante ya que ayuda a asegurar la calidad de la imagen.

2. Cuerpo de la Cámara

- **Plano Focal.** Es la parte de la cámara en que se apoya el negativo o película.
- **Registros de toma.** Son una serie de instrumentos que sirven para medir varios parámetros durante la misión aérea, por ejemplo: reloj, nivel, inclinómetro, altímetro, indicador de tomas sucesivas.
- **Marcas Fiduciales.** Señales grabadas que están en el plano focal. Sirven para determinar el centro geométrico de una aerofoto vertical.

- **Magazín.** Parte de la cámara donde se encuentra el negativo, película o rollo a utilizarse en el vuelo. Entendiendo por película, negativo o rollo, el material donde se registra la imagen de los objetos fotografiados. Este material generalmente está constituido por una serie de capas de compuestos químicos (AgCl, AgBr), una base y sus dos capas protectoras respectivas (una capa de gelatina transparente y

otra capa protectora oscura). Según el tipo de cámara, el rollo es de diferente longitud.

4. Equipo Accesorio

- **Suspensión y amortiguadores.** Constituyen el apoyo de la instalación de la cámara en la nave aérea, su función es evitar las vibraciones de la cámara durante el vuelo.
- **Caja de mecanismo e indicadores.** Esta parte es propiamente lo que constituye el control del mecanismo de funcionamiento de la cámara. Por ejemplo: intervalo metro, velocidad de la película y otros.
- **Telescopio para el foto navegante.** Se utiliza para que el foto navegante (persona que está revisando la misión aérea) observe las condiciones en las que se realiza el vuelo y detecte problemas y errores, y sean corregidos de inmediato. En las figuras **2.5.a.**, **2.5.b.**, **2.5.c.** y **2.5.d.**, se ilustran detalladamente los elementos descritos en este apartado.

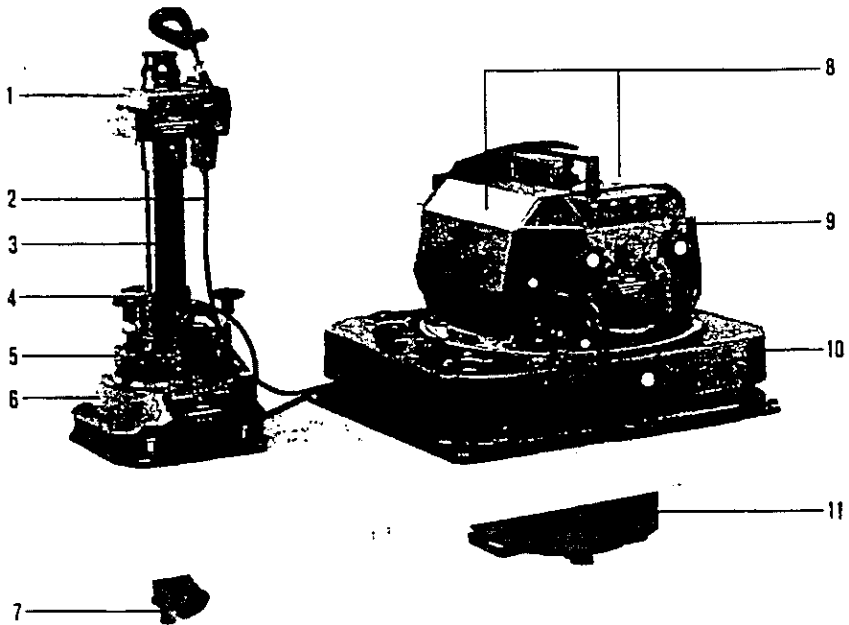
Una vez hecha esta descripción general de una cámara, es necesario identificar lo que es la distancia focal: distancia que existe del centro del lente hasta el plano focal o al negativo; normalmente se da en milímetros y puede ser de diferente longitud según el tipo de lente que se maneje en la cámara.

Por ejemplo: lente normal de 210 mm, lente gran angular de 150 mm, súper gran angular de 90 mm. Este concepto es muy importante considerarlo desde este momento, ya que se manejará muy a menudo y es un elemento clave en el análisis de la geometría de las aerofotos.

De manera complementaria, deberán usarse filtros como elementos necesarios para proporcionar control apropiado de las características espectrales de la luz involucrada en el proceso de formación de las imágenes y también para controlar la iluminación relativa del centro a la esquina del formato del plano focal.

Finalmente, se deberá determinar el tiempo de exposición, considerando alguno de los siguientes métodos:

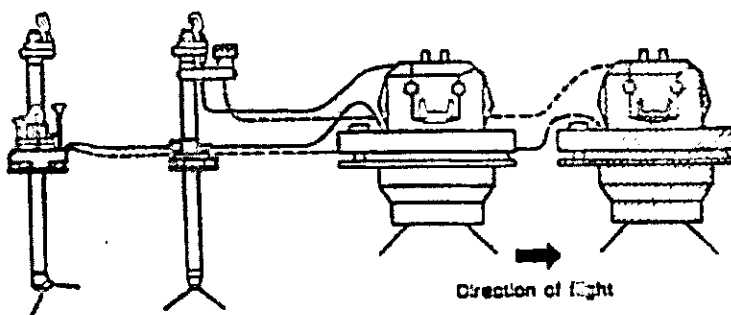
Uno basado en la iluminación del sol (constante) y el conocimiento general previo que se tiene de la atmósfera y la reflectividad de los materiales que forman la superficie terrestre y un segundo método basado en la medición directa de la reflectividad media del terreno.



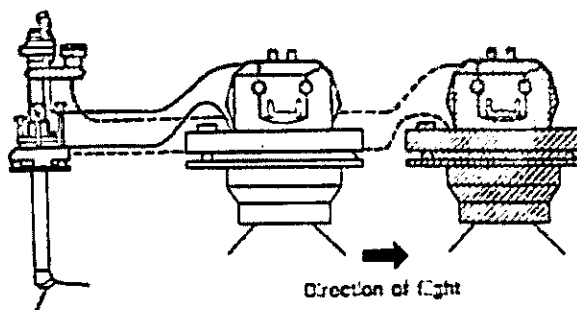
1. Lente de observación del telescopio del fotonavegante.
2. Cable de conexión entre el telescopio y la caja de mecanismos.
3. Mástil o tubo del telescopio.
4. Base del mástil donde se ubica y emite el sonido del obturador.
5. Soporte del telescopio.
6. Montaje del equipo que indica lo que aparecerá en el campo de imagen de la lente.
7. Mirilla oblicua que ubica el objetivo a fotografiar.
8. Compartimiento para película fotográfica.
9. Unidad de manejo.
10. Montaje de la caja de mecanismos.
11. Cono porta lentes.

Fig. 2.5.a. Componentes del equipo utilizado en la toma de fotografía aérea.

Three-man operation



Two-man operation



One-man operation

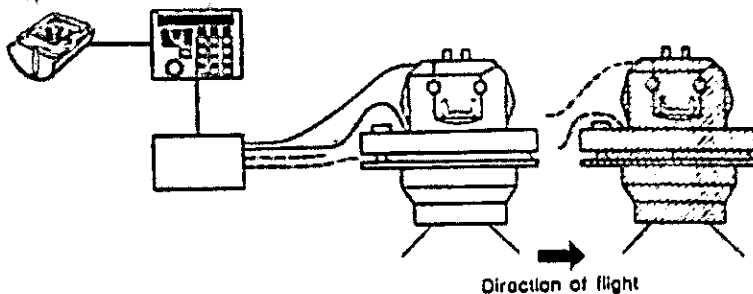


Fig. 2.5.b. Esquema que muestra las posibles configuraciones que puede tener el equipo fotográfico, dependiendo del número de hombres (máximo 3) que lo estén operando

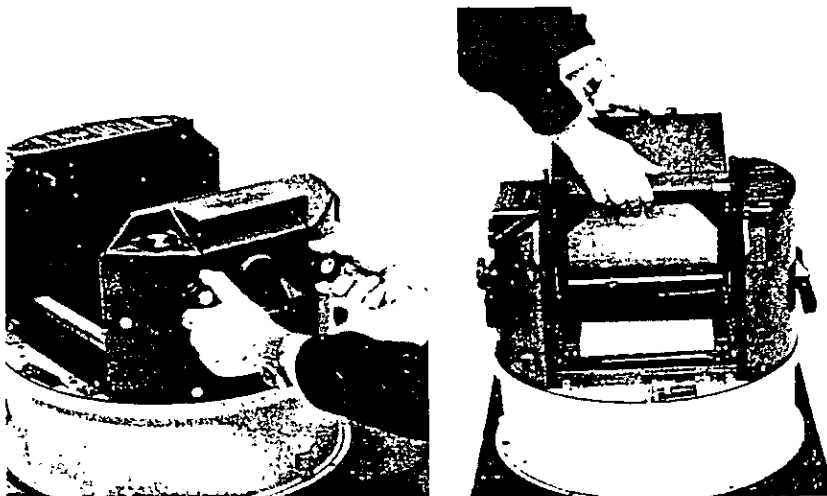


Fig. 2.5.c. Imagen en la que se muestra, de manera más específica, el compartimiento de la película fotográfica.

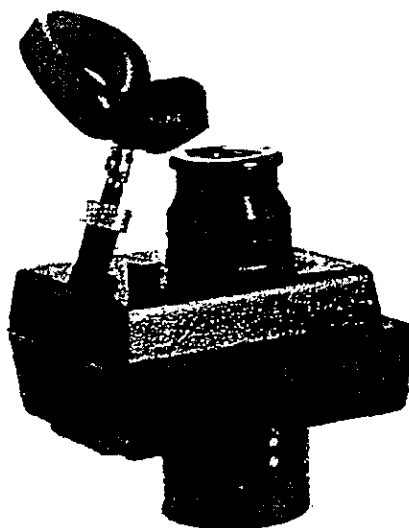


Fig. 2.5.d. Detalle de la lente de observación del telescopio.

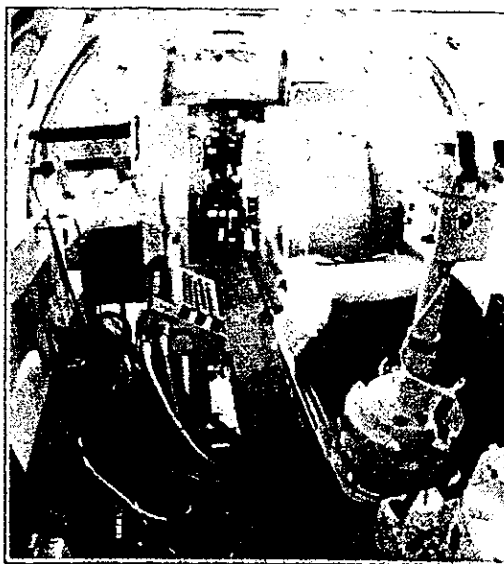


Fig. 2.6 Vista de una Cámara Aérea ya instalada en el avión.

2.7 Elementos de Control en la Toma de Fotografía Aérea Vertical.

Estos elementos de control se refieren a la serie de información que tiene registrada la aerofoto en su margen externo (fuera de la imagen), los cuales son útiles ya que al momento de manejar las imágenes contenidas en la aerofoto, permiten ubicarse con mayor claridad en las diversas características que posee la aerofoto o el conjunto de ellas. Los elementos de control se encuentran registrados básicamente de dos maneras:

- Como instrumentos de control de toma
- Como información adicional de apoyo

2.7.1. Instrumentos

Con variantes mínimas dependientes de las características de fabricación, los instrumentos más comunes en la imagen de la aerofoto al momento de la toma son:

-
- **Nivel de burbuja.** Indica si la toma se ha realizado con cierto grado de inclinación en relación con el eje vertical.
 - **Nivel esférico.** Cuya información da una idea de la inclinación de la fotografía con respecto al plano horizontal.
 - **Inclinómetro.** Instrumento que registra cuantitativamente los grados de inclinación de una toma en relación con el eje vertical.
 - **Reloj.** Indica la hora de la toma de las aerofotos, además permite apreciar el tiempo que transcurre entre una toma y otra en una misma línea de vuelo. El dato de la hora es útil para relacionar los tonos de los objetos, el grado de la presencia de sombras, entre otras.
 - **Altímetro.** Señala la altura sobre la cual se está efectuando el vuelo. Este es dato útil en el manejo de escalas.
 - **Indicador del número sucesivo de toma.** Sirve para conocer la cantidad de aerofotos que han sido tomadas en una misión determinada.
 - **Tipo de cámara utilizada.** Es importante para relacionar el tipo de lente utilizado y la distancia focal.
 - **Distancia focal.** Elemento importante en el manejo de escalas, ya que es la distancia perpendicular desde el centro de la lente al plano de la imagen.

2.7.2. Información Adicional de Apoyo.

- **Número de línea de vuelo y número de foto.** Este par de datos pueden estar expresados en varias formas. Normalmente va de acuerdo al criterio de la compañía que hace el vuelo. Por ejemplo: (45-2), (45-3) ó 2-45, 3-45 ó LV 45-2, LV 45-3.

En cualquiera de las expresiones dadas, el número de la línea de vuelo se identifica con el número que se repite, por ejemplo el 45, y el número de foto se identifica con el número que va cambiando en forma progresiva, ejemplo el 2 y el 3.

- **Datos Técnicos.** Nombre de la dependencia que realiza el vuelo, la zona del mismo, el número de rollo, el nombre del lugar principal de la zona de vuelo, la fecha, la escala aerofotográfica y en algunas ocasiones la distancia focal (cuando no aparece registrada en los elementos de control de toma), ya que

normalmente aparecen en la primera y última aerofoto de cada línea de vuelo.

- **Marcas Fiduciales.** El diseño o forma dependen de la marca de fabricación de la cámara. Se localizan en las esquinas y/o parte media de los lados del marco de las aerofotos. Su aplicación básica es para localizar el centro físico de la fotografía.

A continuación se muestra la imagen de una fotografía aérea (**figura 2.7**), en la cual se indican algunos de los instrumentos antes mencionados, los cuales sirven como información adicional de apoyo.

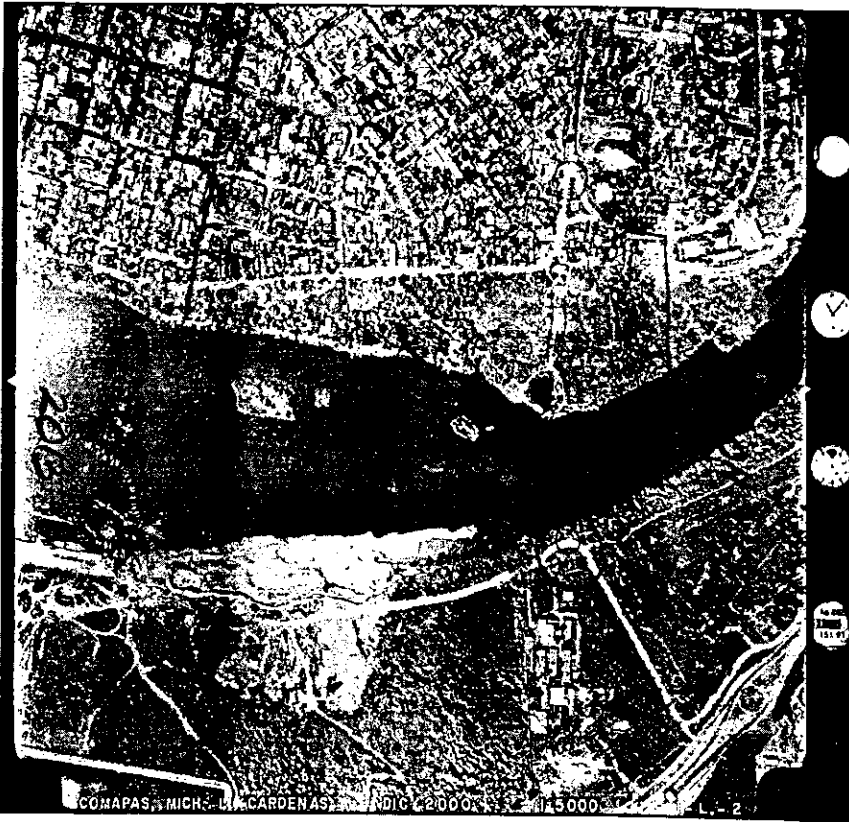


Fig. 2.7 Fotografía aérea y sus componentes

2.8 Imagen Aérea

Los elementos básicos que fueron tratados en el inciso anterior, establecen el **modelo** de la toma de aerofotos. De esta manera podemos decir que la consideración y aplicación de los factores geométricos y la elección de una cámara aérea con ciertas características y requerimientos nos dan como resultado una **Imagen Aérea**.

Estas imágenes, de acuerdo a sus características, pueden ser clasificadas de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Campo ocular de la lente. Utilidad más común de cada tipo de aerofoto.

Normal. Empleadas generalmente en trabajos donde la planimetría requiere gran precisión, por ejemplo en actividades de catastro. Las cámaras normales requieren de gran altura de vuelo para lograr una cierta escala y con ellas los desplazamientos debidos al relieve son pequeños.

Súper gran angular. Útiles para trabajos altimétricos en regiones relativamente planas o no muy accidentados. Esto es debido a que da mayor posibilidad de observar estereoscópicamente los más leves desniveles de terreno. Este tipo de lentes permiten tomar fotografías desde una altura mucho menor para la misma escala, pero los desplazamientos son mayores.

En regiones de clima tropical, donde abundan las formaciones de nubes bajas, la cámara súper gran angular puede ser la solución para tomar fotografías de escala media y pequeña, si para las escalas requeridas es posible volar por debajo de la capa de las nubes que cubren la zona, sin pérdidas molestas de iluminación.

Gran angular. Representa una situación intermedia entre los casos mencionados. Este tipo es el que posiblemente tiene mayor uso, y siguiendo en orden decreciente, el súper gran angular y el normal.

Respecto al grado de definición de imagen, la normal tiene información menos distorsionada en cambio en la súper gran angular es mayor.

Los criterios básicos que se toman en cuenta para elegir el tipo de lente son: el objetivo u objetivos de trabajo, condición topográfica y los costos de la misión.

Tipo de aerofoto (lente)	Campo angular de la lente	Distancia principal o focal para aerofotos de formato de 23 cm x 23 cm
1. Normal	60°	210 mm
2. Gran angular	90°	150 mm
3. Súper gran angular	120°	90 mm

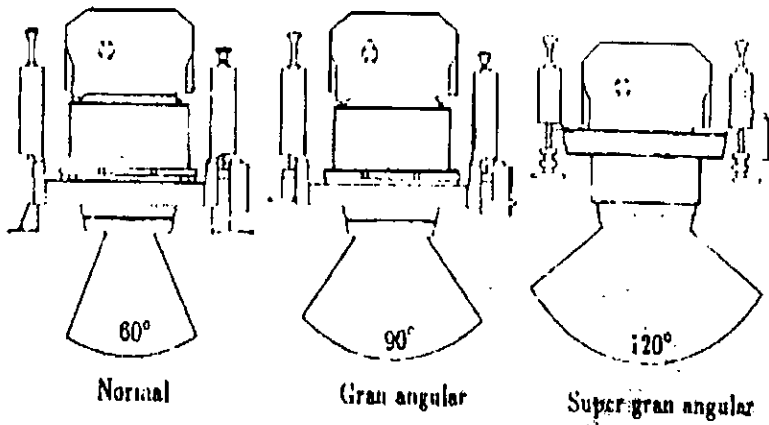


Fig. 2.8 Tipos de lentes utilizados en cámaras aéreas

2. En función de la inclinación del eje óptico de la cámara

Tipo de Aerofoto Características	Vertical	Inclinada (baja oblicua)	Muy inclinada (alta oblicua)
Grado de Inclinación (g_i)	$g_i < 3^\circ$	$3^\circ \leq g_i \leq 45^\circ$ Sin horizonte en la foto	$45^\circ \leq g_i \leq 90^\circ$ Con horizonte en la foto
Superficie fotografiada	Muy pequeña	Pequeña	Grande
Forma del área fotografiada	Rectangular	Trapezoidal	Trapezoidal
Escala	Uniforme para un mismo plano horizontal	Decrece desde el primer plano hasta el fondo	Decrece desde el primer plano hasta el fondo
Ventaja	Fácil de restituir	Puede ser restituida con instrumentos convencionales	Económica e ilustrativa por su gran recubrimiento del terreno
Uso más frecuente	Fotogrametría y fotointerpretación	Fotointerpretación en general	Fotointerpretación en general

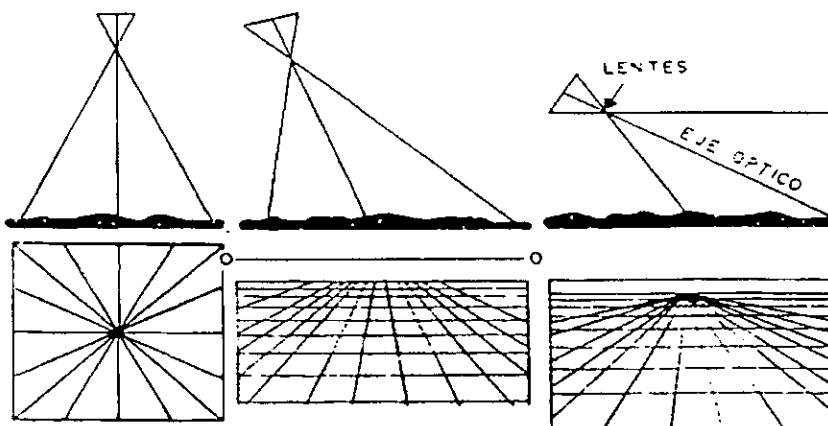


Fig. 2.9 Esquema en el cual se observan cada uno de los tipos de aerofoto según la inclinación del eje óptico.

3. En función del tamaño.

Con formato. Entendiéndose por formato a la forma y dimensión de la aerofoto, esto depende del plano focal de la cámara utilizada, pudiendo ser los más comunes de 18 cm x 18 cm, y de 23 cm x 23 cm.

Sin formato. Son fotografías continuas que resultan cuando la película se encuentra expuesta manteniendo su movimiento sincronizado con la velocidad del avión.

4. Rango de sensibilidad del espectro cromático.

Pancromática. Con rango de sensibilidad que comprende entre 0.4 a 0.7 micrones (M).

Infrarrojas. Con rango de sensibilidad que comprende entre 0.3 a 0.9 micrones (M), incluyendo esta de porción infrarroja del espectro electromagnético.

5. Por el tipo de emulsión

Fotografía blanco y negro. Esto es cuando la emulsión fotográfica cuenta con una sola capa que brinda la imagen en blanco y negro.

Fotografías a color. Cuando la emulsión fotográfica está compuesta comúnmente de tres capas distintas coloraciones complementarias lo cual permite obtener la imagen a su color natural.

La ventaja de las películas a color, sobre las películas en blanco y negro, es que mientras éstas sólo pueden distinguir aproximadamente 200 tonos diferentes de gris, en imágenes a colores el número puede ser mil veces mayor.

Por consiguiente, permiten distinguir mejor los detalles, especialmente de las zonas en sombras, y apreciar mejor los objetos pequeños.

las condiciones atmosféricas requeridas para fotografías en colores son más estrictas que para fotografías en blanco y negro, y es indispensable que el cielo esté completamente claro.

Para la toma de fotografías a baja altura (300 m) no se utilizan filtros, esto es, elementos ópticos que al absorber determinadas radiaciones contribuyen a una mejor identificación o definición de ciertos objetos fotográficos.

Para alturas mayores es necesario utilizar filtros con la consiguiente pérdida de contraste, que es mayor en el caso de fotografías en colores por lo que el uso de está limitado a escalas pequeñas y grandes, empleándose fotografías en colores a escala pequeña sólo para propósitos de reconocimiento.

Fotografías infrarrojas. Originalmente, las películas infrarrojas fueron desarrolladas con fines militares para descubrir camuflajes, esto es, objetos pintados de verde (imitando el follaje).

En la fotografía infrarroja la vegetación sana, por ejemplo, aparecerá de color marrón-rojo, mientras que los objetos pintados de verde aparecerán de color azul púrpura.

Entre las aplicaciones civiles en que la película infrarroja brinda mejores resultados está el campo forestal. Mediante el empleo de ésta emulsión resulta sencillo diferenciar tipos de bosques, así como distinguir entre vegetación enferma o quemada y áreas húmedas de áreas secas, siempre con base en las diferencias de reflectividad de las radiaciones infrarrojas.

Debido a la escasa reflectividad infrarroja del agua, esta película puede ser empleada también ventajosamente para la delineación de corrientes de agua y líneas costeras.

Existen películas infrarrojas en blanco y negro e infrarrojas a color. Las películas infrarrojas en color, generalmente, dan colores falsos para la mayoría de los objetos de la naturaleza.

Difieren de las películas en colores convencionales en que son sensibles a las radiaciones verde, roja e infrarroja, en lugar de ser sensibles al azul, verde y rojo.

Finalmente cabe mencionar que la película deberá ser de grano fino, alta velocidad, base de emulsión fotográfica y dimensionablemente estable. No se usará película vencida y deberá ser almacenada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Las fotografías aéreas que no cumplan con las especificaciones definidas, serán rechazadas y deberán ser corregidas sin cargo adicional.

Cada negativo estará debidamente etiquetado con los datos de fecha de vuelo, línea y número de foto, nombre del área cubierta y escala media de los negativos.

2.9 Estándares Adicionales

Como se ha mencionado, elementos como el clima, tipo de emulsión fotográfica, altura de vuelo, instrumentos de control o el tipo de lente utilizado, determinan las características de una fotografía aérea vertical.

Sin embargo, es importante hacer mención también de los estándares que debe cumplir toda fotografía para poder ser utilizada en los procesos de interpretación.

Dichos estándares aseguran la estereoscopia en cada par de fotografías, lo cual es la base en trabajos fotogramétricos, a continuación se definen e ilustran mediante un esquema al final de este apartado (**figura 2.10**).

Sobreposición Longitudinal

En lo general, la sobreposición longitudinal promedio entre fotografías sucesivas deberá ser suficiente para proporcionar un cubrimiento estereoscópico completo, deberá darse de acuerdo a la necesidades del proyecto, y estar comprendida en un 60% con una tolerancia máxima de más menos 5%.

En ningún caso, el traslape longitudinal deberá ser menor del 52%. En algunos casos puede pedirse una sobreposición longitudinal del 90% que puede ser útil en caso de llevar a cabo una triangulación aérea con puntos de control establecidos previamente en el terreno, para ortofotografía, o bien en caso de zonas de nubes bajas, para poder escoger los pares estereoscópicos más convenientes.

Sobreposición Lateral

La sobreposición lateral entre fajas de vuelo adyacentes deberá estar comprendida dentro del $30 \pm 15\%$. Solamente en caso de extremo relieve, las sobreposición podrán ser más bajas pero no menores del 5%.

Inclinación o cabeceo

En el momento de la exposición de cualquier negativo, la inclinación del eje óptico de la cámara aérea respecto a la vertical, no excederá de 3° . La inclinación relativa entre dos negativos sucesivos, no deberá exceder de 4° .

Giro

Durante el vuelo se deberá compensar el giro alrededor de eje vertical para mantenerlo por debajo de 5° . Se considerará fuera de especificación una línea de vuelo cuando cualquier serie de dos o más

fotografías tengan un giro resultante superior a 10° , medido con respecto a la misma línea de vuelo.

Deriva

Todas las líneas de vuelo deberán estar dentro de $\pm 5^\circ$ de la dirección especificada en el Plan de Vuelo y la dirección promedio entre las líneas adyacentes deberá ser paralela dentro de $\pm 5^\circ$. Deberá ejercerse especial cuidado para mantener todas las líneas tan rectas y paralelas como sea posible.

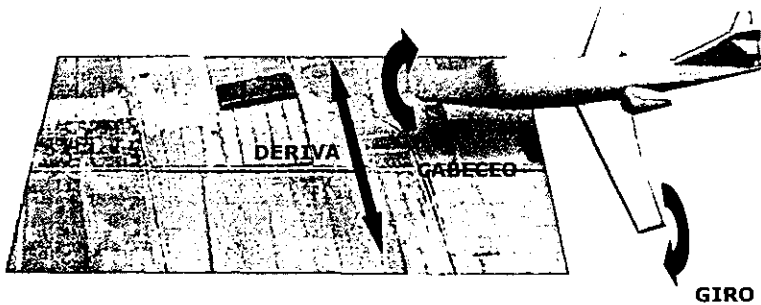


Fig. 2.10 Estándares adicionales considerados en la toma de fotografías aéreas.

2.10 Proceso de Fotografía

La toma física de aerofotos se efectuará después de diseñado el plan de vuelo a realizar, en el cual, entre otra información, se encuentran definidas una serie de especificaciones técnicas que hay que considerar tales como:

- Escala aerofotográfica
- Distancia focal
- Tipo de película
- Porcentaje de sobre posición
- Tipo de cámara
- Superficie a volar
- Equidistancia entre líneas de vuelo
- Cantidad de fotos a tomar

Generalmente este procedimiento de la toma, consiste en volar toda el área de trabajo a través de líneas o fajas de vuelo.

Por cada línea de vuelo se obtiene en forma secundaria y longitudinal todas las aerofotos necesarias, cumpliendo con los estándares de sobre posición longitudinal y lateral, cabeceo, giro y deriva, mencionados en el punto anterior.

Para el control de la toma de cada foto, en lo que se refiere a sobre posición longitudinal, la cámara lanza disparos en forma sincronizada y automática, considerando para ello también la velocidad del avión y la escala utilizada, entre otros detalles.

Al cumplir con la equidistancia definida entre líneas previamente, se obtiene la existencia de la sobre posición lateral.

La utilización de la sobre posición longitudinal y lateral en la toma de aerofotos es muy importante por varias razones, dentro de las principales tenemos:

- Asegurar que entre dos fotos sucesivas, no queden áreas o huecos sin fotografiar.
- Permite organizar el material aerofotográfico a través de un "tendido" del mismo.
- Facilita el revisar si hubo desviaciones en la toma de aerofotos (deriva, giros, cabeceos, ladeos u otros movimientos indeseados).
- Ayuda a tener una liga completa de las diversas características que posee un área determinada.
- Auxilia a detectar diferencias de escala.
- Permite trabajar con áreas centrales en las aerofotos, ya que son las que presentan mayor distorsión.
- Da oportunidad para efectuar la observación de las imágenes en su tercera dimensión

El proceso fotográfico, incluyendo revelado, fijado, lavado y secado de toda la película expuesta, deberá ser ejecutada de tal manera que los negativos estén libres de manchas químicas o algunas, con una densidad normal y uniforme y una calidad de grano fino.

Los negativos deberán estar libres de manchas estáticas o cualquier mancha y deberá tener un tono uniforme y una densidad normal entre 0.3 y 1.5, con un factor gama entre 0.6 y 1.0

Finalmente al desarrollar este procedimiento, se obtiene el conjunto de aerofotos que fueron tomadas, ya que estarán en condiciones de ser utilizadas para diferentes propósitos, como por ejemplo el armado del **foto índice**, sobre el cual se basarán trabajos posteriores (**figura 2.11**).



Fig. 2.11 Índice Fotográfico.

CAPITULO 3.

CONTROL TERRESTRE

El propósito del levantamiento de control para fotogrametría, es determinar la posición horizontal y vertical de los vértices y puntos de control. Para la construcción de cualquier mapa o plano, se debe contar con el apoyo de un cierto número de puntos de control fijos en el terreno y que estén perfectamente identificados en las fotografías.

Estos puntos son monumentados y de orden superior, pasando siempre por puntos de mayor y menor precisión, conservando siempre las especificaciones de proyecto.

Para el levantamiento de este tipo de puntos de apoyo, existen una gran variedad de instrumentos y procedimientos, cuya selección puede hacerse de acuerdo con el tamaño del área por levantar, la disponibilidad económica y la precisión deseada.

El método que se recomienda es el de aerotriangulación analítica, apoyándose en poligonales y radiaciones. En la actualidad todos los trabajos del levantamiento de cartografía deberán estar ligados por medio de receptores **Global Position System (GPS)** a la **Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)**.

3.1 Especificaciones de Precisión

Como se mencionó anteriormente, la poligonación, es la metodología recomendada en el levantamiento para el apoyo directo y las triangulaciones aéreas.

Lo anterior es posible, ya que en la actualidad se cuenta con equipos de medición bastante precisos y muy potentes, como por ejemplo:

- Distanciómetros electrónicos
- Teodolito de precisión WILD T-2
- Estaciones totales electrónicas
- Equipos de intercomunicación

Para la elaboración de la poligonal, ésta se optimizará contando con una carta geográfica 1:50,000 del lugar, y con todos los datos de vértices y bancos de nivel del mismo.

La precisión de un punto o triangulación, depende no solo de cierres lineales, sino del levantamiento en general integrado por la

conformación de figuras, cierres triangulares, del cuidado en las observaciones azimutales y cenitales, y de la cantidad de la medición de las distancias.

Por lo general se busca un lado para tomar el azimut y se comprobará con otro lado de la red para así estar ligado y comprobado.

El desarrollo de todos los vértices de la poligonal se buscará que sea en sitios con alturas superiores, como lo son: cerros, edificios, puentes, iglesias, tanques elevados, casas, etc. ; Estando además bien distribuidos en la zona, esto para tener un dominio completo de la localidad y lograr un levantamiento satisfactorio de los puntos de control.

En la medida de contar con una buena distribución de vértices de poligonal, el levantamiento de los puntos de control será más eficiente y reducirá el tiempo de trabajo.

Es importante señalar que todos los puntos de control deberán estar basados en el sistema **UTM** (Universal Transversal de Mercator), husos 14 y 15^{3.1}, y referidos al **WGS 84** (World Geographic System) del año 1984. Todas las mediciones deberán estar expresadas en metros.

3.1.1. Cartografía y la Red Geodésica Nacional Activa.

El desarrollo de la cartografía está determinado por la influencia de factores de tipo nacional e internacional, entre los que se encuentran: políticos, administrativos, militares, religiosos, económicos, científicos, técnicos y culturales.

La relación entre estos dos factores y el peso que cada uno de ellos tuvo a través del tiempo, matizaron de manera distinta cada época de la historia y se reflejaron evidentemente en la producción de los mapas en nuestro país.

La necesidad de desarrollar y actualizar la cartografía del país da lugar a la integración de la **Red Geodésica Nacional Activa**, a fin de establecer un marco de referencia único al cual se integren todos los levantamientos y se eliminen las diferencias e incongruencias resultantes de la aplicación de sistemas locales.

^{3.1} Para cuestiones de ubicación, el sistema UTM ha dividido la circunferencia ecuatorial de la Tierra en 60 zonas o husos. Cada una abarcando una longitud de 6°, equivalente a una distancia aproximada de 668 Km

La Red Geodésica Nacional Activa es un sistema de referencia que determina la posición geográfica, latitud, longitud y altura sobre el nivel medio del mar, así como valores gravitacionales de numerosos puntos del país.

Es la estructura maestra en la que descansa el levantamiento de la serie topográfica de mapas en la escala 1:50,000, serie que a su vez sirve de base para la elaboración de la cartografía del Sistema Nacional de Información Geográfica en todos sus temas y escalas.

La Red se desarrolla a través de mediciones diversas, cuyas características dependen del grado de desarrollo tecnológico, desde los métodos tradicionales con base en medidas de ángulos, distancias y alturas directamente sobre la superficie terrestre, hasta el empleo de sistemas fundamentados en la recepción de señales de satélites artificiales.

La **Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)** fue puesta en marcha por **INEGI** en febrero de 1993, con la finalidad de producir información geodésica a partir de un marco de referencia uniforme y confiable, acorde a las precisiones que proporcionan los modernos equipos GPS.

La RGNA constituye una estructura básica de referencia geodésica para el país y se encuentra integrada por un total de 15 estaciones fijas GPS distribuidas estratégicamente en el territorio nacional (**figura 3.1**), físicamente establecidas mediante instalaciones permanentes sobre las que se hacen las mediciones de precisión de acuerdo a estándares internacionales para definir sus coordenadas

La Red se encuentra en operación 23 horas al día los 365 días del año; el servicio se suspende solamente durante una hora, tiempo que se emplea para recolectar la información captada, y para dar mantenimiento al equipo. Con base en la información captada, se establece, densifica y conserva la RGNA.

Con el objeto de mejorar la calidad de los levantamientos realizados con las nuevas tecnologías y aprovechar al máximo la potencialidad de los modernos equipos, México adopta un nuevo sistema geodésico de referencia, que define en forma única un marco matemático sobre el cual se determina la forma y tamaño de la Tierra, o de parte de ella, inclusive su campo gravitacional. Por lo anterior, puede tener una concepción global absoluta, regional o continental.

Esto se logró, modificando la normatividad que desde 1985 regía los levantamientos geodésicos en nuestro país. De tal modo el 27 de Abril de 1998 fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación

las Reformas a las Normas para este tipo trabajos, situación que repercute actualmente en todos los levantamientos que integran al Sistema Nacional de Información Geográfica.

El objeto de estas normas, fue definir y normar la ejecución de los nuevos levantamientos geodésicos.

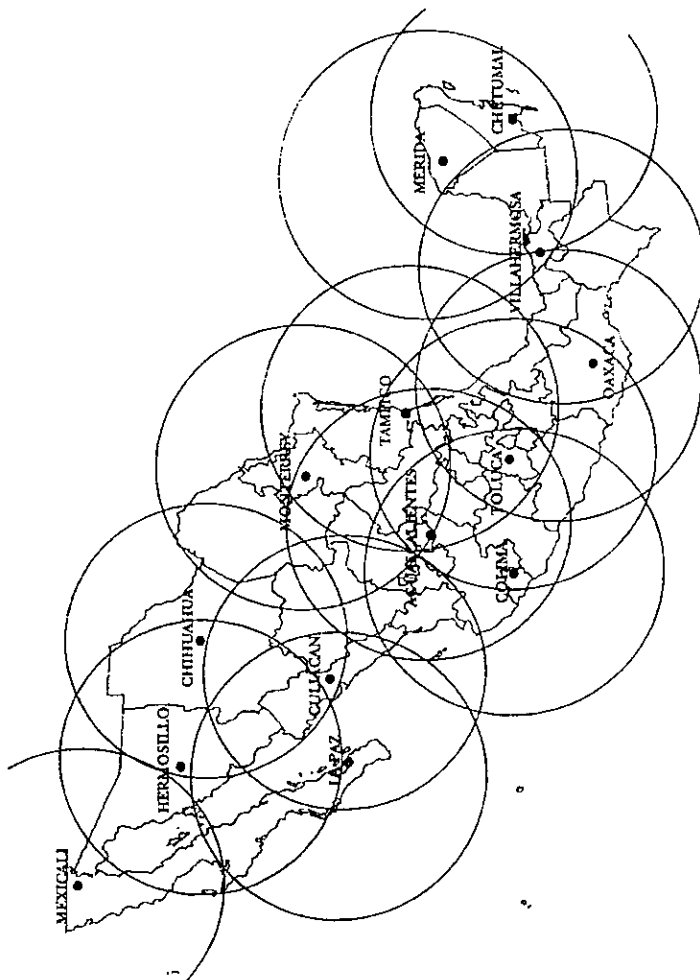


Fig. 3.1 Distribución nacional de las 15 estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa.

Red Geodésica Nacional Activa Cubrimiento por Estados

T= Cobertura Total
P= Cobertura Parcial

ESTADO	ESTACION													
	Aguascalientes	Chetumal	Chihuahua	Colima	Cuicatlan	Hermosillo	Lapaz	Mérida	Mexicali	Monterrey	Oaxaca	Tampico	Toluca	Villahermosa
Aguascalientes	T			T						T		T	T	
Baja California						P			P					
Baja California Sur					P	P	P							
Campeche		T						T			P			T
Coahuila	P		P		P					T		P		
Colima	T			T									T	
Chiapas		P						P			P			T
Chihuahua			T		P	P	P			P				
Distrito Federal	T			T							T	T	T	
Durango	P		P	P	T		P			P		P		
Estado de México	T			P							T	T	T	
Guanajuato	T			T						P	P	T	T	
Guerrero	P			P							P	P	T	
Hidalgo	T			P						P	T	T	T	
Jalisco	T			T	P					P		P	P	
Michoacán	T			T							P	P	T	
Morelos	P			P							T	T	T	
Nayarit	T			T	P		P						P	
Nuevo León	P									T		P	P	
Oaxaca											T		P	P
Puebla	P										T	P	T	P
Querétaro	T			P						P	P	T	T	
Quintana Roo		T						T						P
San Luis Potosí	T			P						T	P		P	
Sinaloa	P		P	P	T	P	T							
Sonora		P	P		P	T	P		P					
Tabasco								P			P			T
Tamaulipas	P									T		P	P	
Tlaxcala	P										T	T	T	
Veracruz	P									P	P	P	P	P
Yucatán		T						T						P
Zacatecas	T			P	P					P		P	P	

Uno de los aspectos más importantes de las reformas, es que en ellas se establece la implementación de la RGNA y la implementación de la tecnología GPS; así mismo, se homogenizan los criterios para realizar levantamientos geodésicos.

Otro de los cambios fue que se establecieron las bases para adoptar nuevos parámetros de referencia cartográfica e, indirectamente, se fincó la necesidad de transformar la información referida al elipsoide de Clarke de 1866 y al Datum de partida NAD27^{3.2} y vincularla a los parámetros del nuevo elipsoide GRS80^{3.3} y Datum ITRF92^{3.4}, estos últimos, totalmente compatibles con la tecnología GPS.

3.1.2. Problemática General y Expectativas de la Cartografía.

El incremento en el número de entidades que integran los sistemas cartográficos, requieren de acciones eficientes para extender las redes geodésicas estatales ligadas a la RGNA. Esta acción permitirá integrar en un solo sistema cartográfico todos los levantamientos independientes y constituirá un marco de referencia para el posicionamiento relativo de trabajos de apoyo terrestre que se ejecuten localmente.

Debe considerarse que el cambio del Datum NAD27 por el ITRF92, ocasionará problemas técnicos al integrara la cartografía de los dos sistemas, ya que son sistemas geodésicos incompatibles. Esta situación ha de prevenirse utilizando el nuevo Datum desde el inicio de los levantamientos.

Asimismo, los levantamientos de fotografía aérea deberán adecuarse a los adelantos tecnológicos con el fin de aumentar la calidad de los productos y reducir los costos y tiempos de producción. Deberá extenderse el uso de cámaras modernas digitales de alta resolución con compensación de movimientos del avión, lo que favorecerá los levantamientos a través de vuelos más altos y por ende la utilización de escalas más chicas; del mismo modo, deberá utilizarse la técnica

^{3.2} El elipsoide de Clarke de 1866 y el NAD27 (Norteamerican Datum 1927) constituyen el sistema de referencia geodésico que junto con la proyección UTM o cónica conforme de Lambert, definían el formato Cartográfico Nacional, hasta la publicación de las reformas a las normas técnicas para levantamientos geodésicos en 1998.

^{3.3} El GRS80 (Sistema Geodésico de Referencia 1980) adoptado y recomendado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, se define en forma dinámica, haciendo coincidir el centro geométrico del elipsoide con el centro de masa de la Tierra.

^{3.4} Al ITRF se le agrega el año en que fue determinado y en el que la posición de los ejes coincide con las definiciones del IERS (Servicio Internacional de Rotación de la Tierra), y tiene en cuenta la tectónica global. Se le denomina sistema dinámico instantáneo porque las coordenadas de los puntos cambian con el tiempo por movimientos propios de los mismos y por el perfeccionamiento de los parámetros que rigen el sistema. Es el sistema de referencia que utiliza la RGNA.

del GPS aerotransportado, para establecer el apoyo terrestre en el momento de la toma de la fotografía.

La fotogrametría seguirá siendo una técnica ampliamente utilizada en los levantamientos cartográficos catastrales, sin embargo, continuará limitada por el cubrimiento de regiones con bastante vegetación, o para representar zonas desarrolladas en fechas posteriores a la toma de la fotografía.

Para subsanar lo anterior, se extenderá el uso de métodos directos, en específico el de GPS, que es totalmente compatible con la RGNA, con los Sistemas de Información Geográfica y de gestión catastral.

Un problema en la representación, es el uso de la proyecciones cartográficas, ya que en algunos levantamientos catastrales se utilizaron los sistemas ortogonales locales propios de los levantamientos topográficos; en otros las coordenadas geográficas se calcularon a partir del Datum 27 y de la proyección UTM.

En ambos casos, los valores de las cuadrículas se interpretaron como coordenadas ortogonales, lo cual, para la cuadrícula UTM es incorrecto, ya que en ella está implícito cierto grado de deformación^{3.5}.

No existe una proyección adecuada para todas las entidades de la República, en muchos casos la cuadrícula UTM no puede usarse como sistema ortogonal de referencia. Por esta razón, paulatinamente se utilizarán otras proyecciones o se adecuarán las existentes buscando la mejor representación de la realidad en función de los intereses que se persigan.

La cartografía catastral por su grado de detalle, podría convertirse en la base sobre la que se establezcan múltiples aplicaciones cartográficas urbanas que requieran de un grado menor o igual de precisión, y que deberán representarse en escalas que vayan desde medianas hasta grandes.

Continuará la tendencia de los gobiernos de los estados por descentralizar las actividades catastrales y establecer la formación de institutos dotados de personalidad jurídica y autonomía técnica y operativa; responsables de normar las funciones catastrales y

^{3.5} Las proyecciones cartográficas tienen deformaciones que no tienen los levantamientos topográficos, uno es conocido como el factor de escala, y otro es la reducción al nivel del mar. El factor de escala es propio de cada proyección y su valor depende del valor que ocupe en la zona por levantar dentro del proyecto, en ocasiones reduce y en otras aumenta el valor de las distancias y superficies. Efecto similar, produce la reducción al nivel del mar, que es siempre negativa, es decir, la distancia se reduce. Ambos factores se combinan y cuando son de igual signo, el efecto es perceptible y el manejo resulta incómodo.

registrales, de la generación de los estudios e información básica de los intervenciones de recursos de suelo urbano y rural; así como del levantamiento y representación de la información cartográfica.

3.1.3. Dimensiones de la Tierra.

Alrededor del año 250 a. de C., un sabio griego, Eratóstenes, que vivía en Egipto, calculó el tamaño de la Tierra y aparentemente sus cifras se aproximaron bastante a las que ahora nosotros aceptamos. Eratóstenes estimó que la distancia entre Alejandría y Siena (la actual Aswán), en Egipto era de 5000 estadios, alrededor de 925 Km (575 millas), ya que se estima que esa unidad griega de medida era equivalente a 185 m.

Determinó la distancia de arco de $7^{\circ} 12'$, observando que el ángulo situado encima del horizonte sur del sol de mediodía en Alejandría era de $82^{\circ} 48'$, en el momento en que se suponía que el sol de mediodía estaba en posición vertical sobre Siena. (figura 3.2)

La distancia de arco de $7^{\circ} 12'$ es de $1/50$ de la totalidad de un círculo; por lo tanto 50 veces la distancia estimada entre Alejandría y Siena correspondía a 250,000 estadios. De este modo halló que la circunferencia de la Tierra era de 46,250 km. (aproximadamente 28,750 millas), lo que solo es un 15% más largo que lo real. El método de Eratóstenes era correcto, pero sus mediciones y sus supuestos fueron algo erróneos.

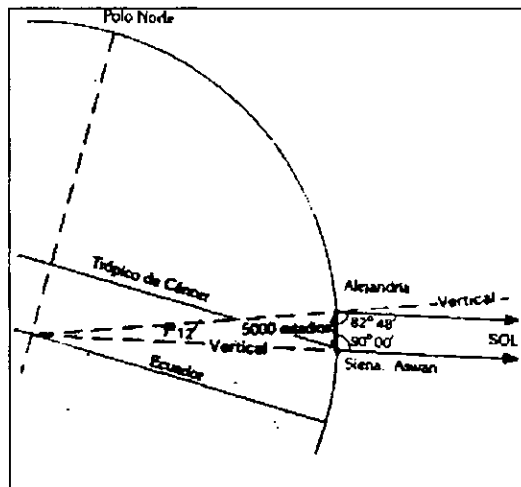


Fig. 3.2 Relaciones utilizadas por Eratóstenes para el cálculo de circunferencia de la Tierra.

En los tiempos actuales se han calculado con suma precisión las dimensiones de varios elipsoides, utilizando el método desde varios arcos astrogeodésicos, medidos con exactitud. Se han encontrado diferencias debido a que los parámetros utilizados fueron calculados en áreas pequeñas.

Recientemente la Asociación Internacional de Geodésia ha adoptado nuevas dimensiones para el elipsoide de referencia, el denominado Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS 80), que esta reproducido en la tabla que se muestra a continuación.

El elipsoide GRS 80 se utilizará como base para una nueva superficie cartográfica de referencia en los Estados Unidos, denominada North American Datum 1983 (NAD 83).

Sistema Geodésico de Referencia GRS80.

Semi-eje Ecuatorial (A)	Semi-eje polar (b)	1/f
6,378,137 m	6,356,752 m	298,257

Partiendo de un elipsoide dado, pueden calcularse otras diversas dimensiones de la Tierra útiles en cartografía. En la siguiente tabla se proporcionan dimensiones de la Tierra basadas en el GRS 80.

Dimensiones de la Tierra (basadas en el GRS80).

	Kilómetros	Millas (USA)
Diámetro ecuatorial	12,756.3	7,926.4
Diámetro polar	12,713.5	7,899.8
Circunferencia ecuatorial	40,075.1	24,901.5
Radio de la esfera equiárea • (aproximado)	6,371	3,959
Superficie de la Tierra (aproximado)	510,064,500 km ²	196,937,000 km ²

• La esfera equiárea es una verdadera esfera que posee la misma superficie que el elipsoide. Todos los radios de esta esfera son idénticos.

3.1.4. Sistema Universal Transversa de Mercator.

Tanto los continentes, como las montañas que se elevan por encima del nivel del mar, e incluso el achatamiento, es decir, la diferencia entre los radios polar y ecuatorial, que resultan de la rotación de la Tierra, son comparativamente poco importantes con las dimensiones del mismo, por esto representan irregularidades menores en la esfericidad de la Tierra.

Sin embargo, a pesar de que estas desviaciones son relativamente muy pequeñas, son muy importantes en el proceso de posicionamiento de puntos en la superficie, ya que afectan las observaciones y la precisión de los resultados.

Por esto, para la transformación sistemática de las relaciones geométricas observadas sobre la superficie esférica de la Tierra a la superficie plana del mapa, se requiere de la consideración de dichas anomalías denominadas **geoide**.

Por otro lado, las observaciones realizadas sobre el *geoide*, deberán transferirse a una superficie de referencia geométrica rectangular, la cual se conoce con el nombre de **elipsoide**, que incorpora el achatamiento y se aproxima muchísimo al geoide.

Finalmente, las relaciones geográficas tridimensionales del elipsoide deberán transformarse al plano bidimensional del mapa, por medio de un proceso denominado **proyecciones cartográficas**, como por ejemplo el sistema UTM, del cual hablaremos a continuación.

A pesar de que algunos países hayan desarrollado sistemas particulares útiles para sus necesidades, el sistema de cuadrícula Universal Transversa de Mercator (UTM) es el comúnmente utilizado.

Este sistema de reticulado y la proyección en que se basa ha sido adoptado para mapas topográficos, referencias de imágenes de satélites, bases de datos de recursos naturales (Sistema de Información Geográfica), y otras aplicaciones que requieren localizaciones precisas.

En el sistema de coordenadas UTM, la superficie terrestre comprendida entre latitudes 84°N y 80°S, ha sido dividida en columnas Norte-Sur de un ancho de 6° de longitud, llamadas *zonas o husos*. Se numeran de 1 a 60 hasta el Este, empezando en el meridiano 180°. Cada columna es dividida en cuadriláteros de 8° de latitud.

Las hileras de cuadriláteros tienen asignadas letras consecutivas de la C a la X (omitiendo la I y la O), empezando en los 80° latitud Sur. (La hilera X tiene 12° de latitud, extendiéndose desde los 72°N a los 84°N para cubrir todas las zonas de la Tierra del hemisferio Norte). Cada cuadrilátero tiene asignado una combinación número-letra. Como siempre, en una red de referencia se lee hacia arriba y hacia la derecha. Cada cuadrilátero es dividido en cuadrados de 100,000 m designados mediante un sistema de combinación de letras (**figura 3.1.3.**)

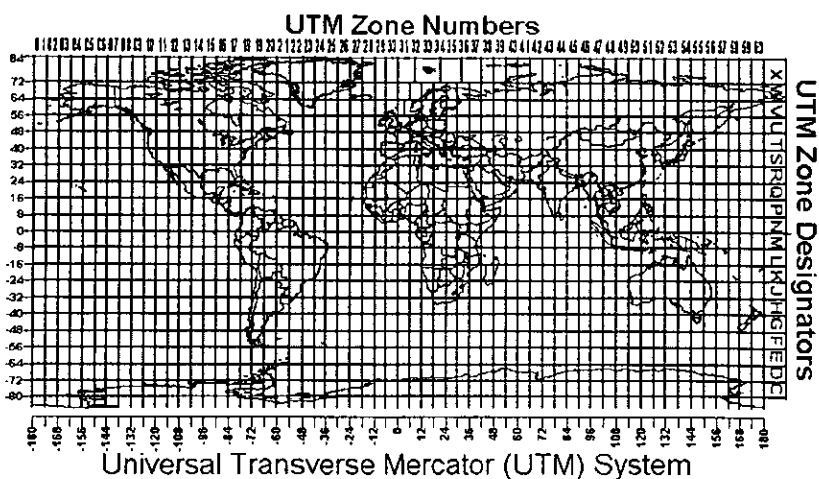


Figura 3.1.3. Cuadrícula para el sistema de coordenadas UTM

Dentro de cada *zona o huso*, el meridiano central toma un valor de 500,000 m Este. El Ecuador es asignado como teniendo un valor de 0 m Norte para el hemisferio Norte y un valor arbitrario de 10 millones de m Norte para el hemisferio Sur.

Para la red UTM es empleada la proyección transversa de Mercator, por lo que a lo largo de cualquier línea Norte-Sur de la cuadrícula (sólo la línea central de la cuadrícula de cada zona es un meridiano) el factor de escala es constante, pero varía en dirección Este-Oeste.

A lo largo de la línea central de la cuadrícula de cada zona de la red UTM, el factor de escala es de 0.99960 (escala menor), y en los márgenes de la parte más ancha de la columna (en el Ecuador) a unos 863 Km de distancia del centro, el factor de escala es 1.00158.

3.2 Funcionamiento de Sistema Global por Satélite (GPS)

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha sentido la necesidad de orientarse en el planeta en que vive, y este deseo se ha satisfecho tradicionalmente a través de instrumentos tales como el astrolabio, con el que se observaban las estrellas en el cielo, la brújula magnética, con la cual se consigue saber en que dirección encontramos los polos magnéticos de la Tierra, etc. Actualmente los métodos de orientación han ganado en precisión con respecto a los anteriores, más también lo han hecho en sofisticación.

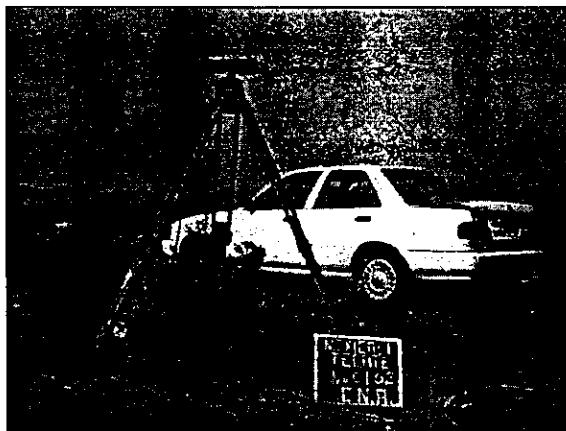


Fig. 3.4 Imagen de un GPS en campo, en la cual, se puede apreciar un maletín en el que se encuentra la fuente de poder y el hardware utilizado para el monitoreo continuo de satélites.

La era actual ha producido instrumentos que tecnológicamente han evolucionado, y por último con la llegada del satélite, se han desarrollado sistemas que los complementan, como por ejemplo el **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**, el cual es objeto de este apartado.

El sistema GPS, consiste en la localización geográfica por medio de la captación de señales satelitales, y fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Se basa en un

diseño que al principio sirvió para apoyar los requerimientos de navegación y para determinar la posición geográfica de personas, vehículos y sitios en tierra, mar y aire, estáticos o en movimiento.

Este sistema posee características técnicas integrales que facilitan la determinación de coordenadas y distancias, a través de la realización de rápidos operativos, que se explicarán más adelante, con los que se obtienen altas precisiones y exactitudes en un mínimo de tiempo respecto a los sistemas tradicionales.

Es decir, la utilización de los satélites de la constelación Navstar (descrita posteriormente) con técnicas GPS, ha abierto un inmenso abanico de posibilidades de aplicación, ya que permite situar puntos con grandes precisiones en aplicaciones geodésicas y topográficas, y precisiones altamente sofisticadas para navegación en tiempo real por tierra, mar y aire.

Esta capacidad de situar puntos, se realiza en el marco de un sistema de referencia global extraordinariamente homogéneo, garantizando además de observaciones breves y fáciles, una coherencia y uniformidad de escala y orientación hasta ahora sin precedentes.

Las aplicaciones del GPS que pueden ser de importancia en el campo de la ingeniería civil, son las siguientes:

- Establecimiento de base de replanteo de alta precisión en obras lineales de largo recorrido, como carreteras, ferrocarriles, canales, etc.
- Establecimiento de redes de alta precisión para el replanteo de grandes obras de ingeniería, como túneles, puentes, presas, etc.
- Determinación expedita de redes eléctricas, telefónicas, de conducción de agua, oleoductos, etc.
- Apoyo fotogramétrico en escalas medias y altas con excelente rendimiento en cualquier tipo de terreno, logrando precisiones mayores a los ± 0.20 metros con observación GPS rápida.
- Localización de obras hidráulicas en cuencas hidrográficas.
- En la actualización de los Sistemas de Información Geográfica, permite gran flexibilidad y fiabilidad en la adquisición de la información necesaria, a la cual, además se le puede dar un tratamiento inmediato de manera digital y/o gráfica.
- Localización y control de vehículos de auxilio y servicio.

-
- Inmediata localización y delimitación de zonas afectadas en grandes desastres naturales.
 - Inventario expedito de redes viales de cualquier tipo, como fluviales, caminos, etc.

El funcionamiento del sistema GPS, puede entenderse mediante los siguientes cinco pasos:

1. Triangulación

Aunque parezca improbable, la base del Global Position System es la **Triangulación** desde los satélites, ya que la idea general es utilizarlos en el espacio como puntos de referencia que ubicamos aquí en la Tierra.

Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite triangular nuestra posición en cualquier parte del planeta (**figura 3.5**)

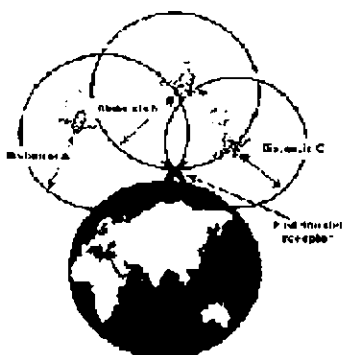


Figura 3.5 Esta imagen muestra cual es la idea geométrica para el posicionamiento de GPS. La cual consiste en medir nuestra distancia al menos a tres satélites de manera simultánea, para de esta forma encontrar nuestra posición en la Tierra.

Prácticamente, se podría realizar el cálculo con tres mediciones, pero matemáticamente, necesitamos cuatro satélites por razones técnicas que se verán posteriormente.

2. Distancias

La manera como podemos conocer la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio, es midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar a nuestro receptor de GPS.

Esta señal, la cual viaja a la velocidad de la luz, aproximadamente 300,000 Km por segundo, es conocida como **Código Seudo Aleatorio**, y es emitida tanto por nuestro GPS como el satélite con el cual queremos medir nuestra posición.

Lo más complicado de este procedimiento, es la medición del tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales, con el cual podemos conocer la distancia; Sin embargo, los tiempos son extremadamente cortos, por lo que se requiere de relojes muy precisos.

¿Un Código Aleatorio?

Este Código Pseudo Aleatorio (CAP) es una parte fundamental del GPS. Fundamentalmente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado.

Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo, es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su único CPA, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esta manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior del mismo. El Código Seudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EE.UU. de controlar el acceso al sistema GPS.

Pero hay otra razón para la complejidad de este código, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la teoría de la información para amplificar las señales de GPS. Por esta razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores GPS sin el uso de grandes antenas.

3. Control perfecto del tiempo

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos debe ser muy exactos. Por el lado de los satélites, el **timing** es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

Sin embargo, los receptores GPS no cuentan con este tipo de relojes, los cuales elevarían su costo por encima de los US\$100,000 y nadie podría acceder a ellos.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros receptores. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor de GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

El secreto para obtener un timing tan perfecto es efectuar una medición satelital **adicional**, es decir, con una cuarta medición, efectuada como control cruzado, **no** intersectará con las tres primeras.

De esta manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos el equivalente de un reloj atómico.

4. Conocer donde están los satélites en el espacio

En relación con la Tierra, los satélites están flotando a una altura de 200,000 Km, lo cual es un gran beneficio para este caso, ya que algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitarán de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EE.UU. colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS. En Tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que le informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Aunado a lo anterior, es importante señalar que el control constante de las órbitas satelitales, agrega precisión.

Este control es realizado por el departamento de Defensa, y los errores que ellos controlan, son los llamados errores de efemérides, o sea, la evolución orbital de los satélites que se produce por influencias gravitacionales del Sol y de la Luna y por la presión de la radiación solar sobre estos.

5. Conocer los Errores del Sistema.

Hasta ahora hemos estado tratando los cálculos del sistema GPS como si todo el proceso ocurriera en el vacío. Pero en el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de GPS para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta. Es por eso que debemos tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

En primera, la velocidad de la luz solo es constante en el vacío, por otro lado una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, además que, una vez entrando en la atmósfera, la señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor de GPS.

Todo lo anterior, crea el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno de los EE.UU. que pudo gastar 12,000.00 millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud.

Dicha política se denomina **Disponibilidad selectiva** y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición.

El Departamento de Defensa también puede enviar los datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos envían a los receptores de GPS como parte de la señal que emiten.

Estos errores en su conjunto son la fuente unitaria de error de los sistemas GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave

encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

Afortunadamente todos esos errores no suman demasiado error total. Existe una forma de GPS, denominada GPS diferencial, que reduce significativamente estos problemas.

Resumen de las fuentes de error de los sistemas GPS

Fuentes de error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj del satélite	1.5	0
Errores orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en la recepción	0.3	0.3
Señal fantasma	0.6	0.6
Disponibilidad selectiva	30	0
Exactitud Promedio de Posición		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

En conclusión, y en apoyo a lo antes descrito como ventajas del Global Position System, podemos considerar lo siguiente:

- No se necesita intervisibilidad entre los puntos, por lo que el usuario elige las estaciones con gran flexibilidad y según sus necesidades, y no en función de las condiciones orográficas; Si no que deben tomarse en consideración los satélites activos e inactivos, así como su ángulo de elevación.
- En cuanto a ese ángulo de elevación, es importante que el receptor no capte satélites que no estén muy juntos en el cielo, ya que durante la triangulación satelital tendremos incrementos la tolerancia de error acerca de una posición; El cual es conocido como error por **"Dilución Geométrica de Precisión"**
- En apoyo fotogramétrico, los puntos pueden casi siempre elegirse de antemano, quedando únicamente por realizar el estacionamiento del receptor en dichos puntos.
- Durante el proceso de restitución, la configuración de los puntos puede ser de extraordinaria calidad ya que, condiciones como las de inter visibilidad y orografía, son nulas.

-
- El rendimiento de la observación es muy superior, especialmente por estar ya completa la constelación de 24 satélites. Es decir, con un receptor fijo y dos receptores móviles, se pueden obtener rendimientos al menos tres veces superiores a los obtenidos por poligonación.
 - Además en fotogrametría es también interesante conocer las coordenadas exactas de las vistas aéreas, así como la inclinación del eje de la cámara.

Actualmente, los elementos de orientación de las cámaras son determinados por el proceso de orientación relativa y absoluta de las fotografías, o en la triangulación aérea.

En modo cinemático, la técnica GPS permite obtener presiones del orden del decímetro o incluso mejor, lo que exige acudir a la técnica diferencial acoplada con sistema inercial para determinar también la inclinación del eje de la toma, este procedimiento permite reducir considerablemente el número de apoyo de la red, y por consiguiente reducir a su vez el costo de una triangulación aérea.

- Como desventaja podría citar el actual costo de los equipos GPS, aunque es previsible que en poco tiempo, y más con la competencia existente en el sector comercial, lleguen a ser más baratos que las estaciones totales topográficas.

3.2.1. Constelación Navstar GPS.

El Navstar GPS es un sistema de radionavegación basado en satélites, este sistema mantiene una cobertura global y continua para todos aquellos usuarios que cuenten con receptores capaces de procesar las señales emitidas por los satélites.

Este sistema se compone de lo siguiente:

- Segmento Espacial
- Segmento de Usuarios
- Segmento de Control

El sistema operacional del **segmento espacial** para GPS, está constituido por 24 satélites que viajan de manera confidencial en órbitas que se encuentran a 20,200 kilómetros de la Tierra, las cuales son recorridas en aproximadamente 12 horas (**figura 3.6**)

Cada satélite del sistema Navstar transmite, con tiempos precisos, pulsaciones binarias que contienen información sobre efemérides constantes y sus órbitas actualizadas, además que a través de las antenas de navegación que se encuentran dentro de estos, es como pueden mantener una orientación constante tanto con la tierra como con el Sol.

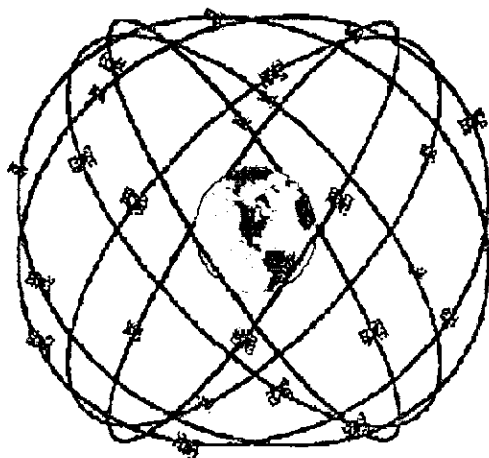


Figura 3.6 Constelación Navstar.
24 satélites, 6 órbitas, 4 satélites por órbita a 20,200 Km. de altitud y 55° de inclinación.

El **segmento de usuarios** lo integran los miles de receptores de la señal Navstar que se encuentran en tierra, aire y en naves sobre el mar.

Estos receptores captan con gran precisión la señal emitida por cuatro o más satélites, de manera simultánea o continua, después la computadora del receptor GPS procesa los resultados y determina su posición exacta.

Si los satélites del sistema pudieran permanecer estáticos, es decir, con una localización orbital precisa y un tiempo exacto, no serían necesarios otros elementos de control complementarios; Desafortunadamente los satélites tienden a perderse y es por eso que son necesarias las computadoras que integran el **segmento de control**.

El **segmento de control** incluye un grupo de 5 estaciones de monitoreo, repartidas alrededor de la Tierra, que registran las trayectorias de cada uno de los satélites, lo cual sirve para mantener un control de su comportamiento, así como de cualquier otro error que pudiera producirse en el **timing** de los relojes atómicos que se encuentran a bordo (**figura 3.7**)

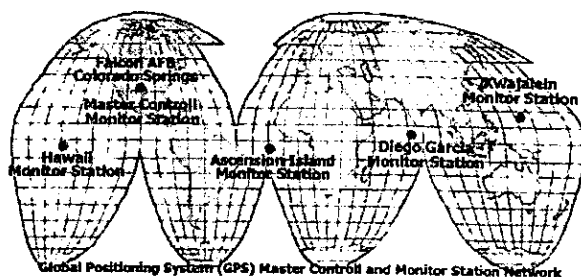


Figura 3.7 Control maestro y red de estaciones de monitoreo de la constelación Navstar.

De esta manera la información es enviada a alguna de las cuatro antenas que transmiten de manera constante a los satélites Navstar, coordenadas actualizadas de las efemérides, además de factores de corrección para los relojes atómicos.

Finalmente, los satélites reenvían a todos los usuarios la información corregida respecto a su posicionamiento orbital y el timing de la señal.

3.2.2. Uso de Posicionadores (GPS) para la ejecución del Vuelo

Por lo general, los vuelos fotogramétricos se hacen mediante navegación visual, utilizando como referencia mapas a escala 1:25,000 y 1:50,000 para el trazo del plan de vuelo. De esta manera, el foto navegante visualmente deduce, por medio de las características y detalles del terreno, el inicio, el eje y el final de la línea de vuelo.

Posteriormente, por medio del regulador de la cámara, se pueden obtener las fotografías a intervalos regulares. Sin embargo, esta labor manual, cuando se trata de tomas a grandes escalas, donde

tendremos bloques formados por varias líneas, representa errores en la composición del mosaico de fotografías.

Es por eso, que al tener este problema, se presenta la necesidad de aumentar el número de puntos de enlace, la utilización de la técnica de navegación GPS, es la solución para obtener la formación de bloques regulares por medio del disparo automático de las fotos sobre puntos previamente definidos. **(figura 3.8)**

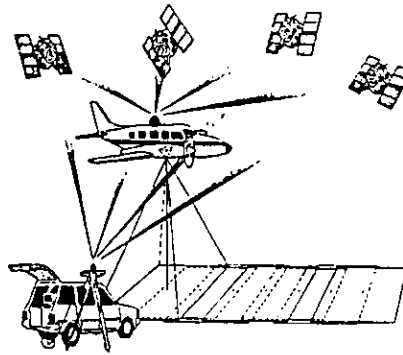


Fig. 3.8 Esquema en el que se muestra el uso de posicionadores (GPS) en la toma de fotografías aéreas para tener el control de las

Únicamente se requiere de las coordenadas UTM o geográficas de los puntos de inicio y final de la línea, lo que activará automáticamente la cámara y mediante un dispositivo de pantalla, se podrá corregir la deriva, dando como resultado líneas rectas y bloques regulares.

3.3 Densidad de Puntos de Control

El Control Terrestre, será distribuido de manera tal que permita un adecuado control de cada bloque para los propósitos de programación del apoyo en el proceso de triangulación aérea y ajuste de bloques.

Cada par estereoscópico, deberá contar con al menos seis puntos de control fotogramétrico. A continuación se muestra el formato mediante el cual se hace el registro de los puntos de control terrestre. **(figura 3.9)**

3.4 Reportes de Control Terrestre

Los puntos deberán identificarse en los contactos de papel, mediante una fina perforación y croquis de detalle, en la parte posterior de la foto o en libretas especiales para tal fin.

El resultado numérico del Levantamiento Terrestre y de la triangulación aérea (listado de coordenadas x y z), formará parte del reporte final. Los puntos deberán identificarse en los contactos

CROQUIS DE CONTROL TERRESTRE
Santa Cruz, Sonora.

Picado en foto:

1 h 40 4

Escala de vuelo:

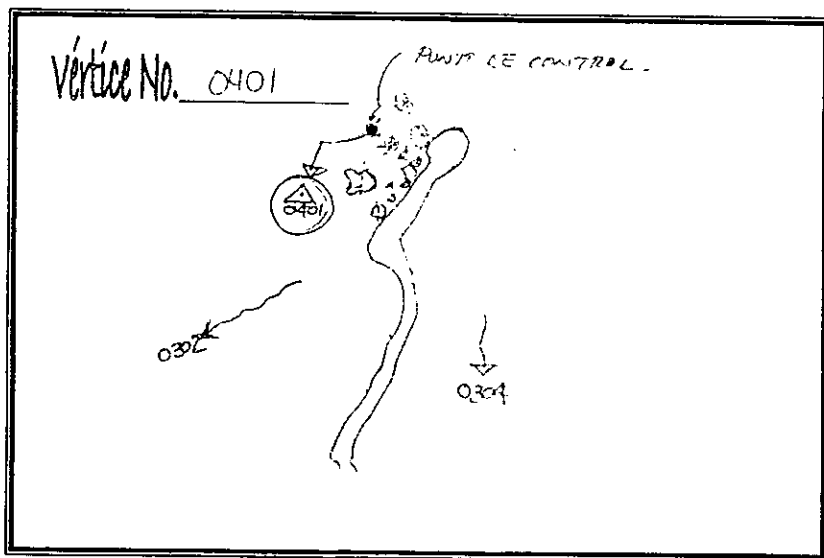
1:5000

Fecha:

5/10/8

Descripción:

Picado en la mancha negra que es
un círculo



Hoja No: 14/24

Fig. 3.9 Formato en el cual se registran los puntos de control en campo, en el que se indican, entre otras cosas, la altura y ubicación exacta de los mismos.

CAPITULO 4.

PROPAGACIÓN DE APOYO TERRESTRE.

Los puntos de apoyo terrestre, deberán establecerse con tal densidad, que cada modelo estereoscópico deberá tener un mínimo de seis puntos de control, colocados de la siguiente forma: Dos en cada extremo superior e inferior que servirán como **puntos de liga** entre las líneas de vuelo y dos al centro que servirán de **puntos de pase** entre fotos consecutivas de una misma línea (cercanos a los puntos nardales).

Esta distribución garantiza la orientación absoluta precisa en los instrumentos fotogramétricos.

Para la distribución de los puntos del apoyo terrestre, se deberá contar con un croquis general orientado hacia el norte, en el cual se marquen claramente todos los aspectos para la localización del punto y que muestran gráficamente los detalles más importantes. La ejemplificación de dicho croquis se muestra al final del capítulo anterior.

4.1 Picado de Puntos.

El contratista es el encargado de la selección e identificación de los puntos de control en las copias de contacto del papel (fotografía), los cuales serán *picados* mediante una perforación de 2 décimas de milímetro de diámetro.

Este proceso se realizará utilizando instrumentos de precisión como el Wild PUG-3 o equivalente, finalmente serán marcados mediante una circunferencia y su número respectivo

4.2 Identificación de Puntos en el Campo.

No está de más señalar que en la ejecución del levantamiento topográfico de los puntos de apoyo, la calidad en la precisión es básica para la correcta interpretación e identificación de los detalles por parte de los operadores de restitución.

Queda establecido, que los detalles que deben escogerse como puntos de control fotogramétrico deben ser visibles con lupa en las fotografías, además que no se antepongan estereoscópicamente de manera lateral y longitudinalmente con árboles o construcciones. **(figura 4.1)**

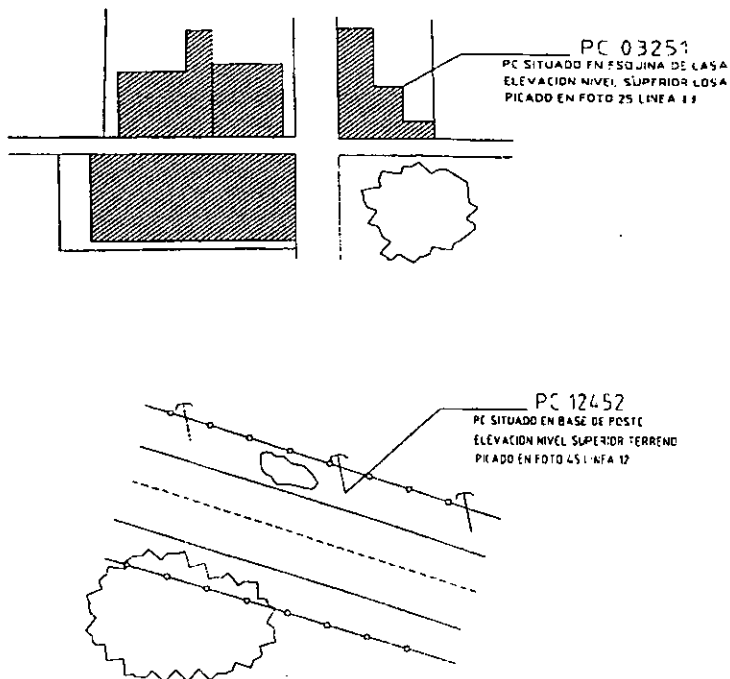


Fig. 4.1 Ejemplos de la selección de Puntos de Control en campo.

Una vez que se haya seleccionado en el terreno el detalle más adecuado, visiblemente con estereoscopia en la fotografía, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Localización del punto por medio de un piquete en la fotografía, encerrándolo en un pequeño círculo al frente y reverso, anotando su número.
2. Ubicación del punto por medio de un croquis, copiando únicamente los detalles planimétricos con la mayor precisión, y señalando con un punto, una punta de flecha y su número; Incluyendo su orientación al norte.
3. Lugar preciso del punto incluyendo una narración escrita que deberá ser clara y exacta.

4.3 Aerotriangulación Analítica.

Para todo trabajo fotogramétrico, es necesario contar con una red de puntos de control terrestre suficientemente densa a fin de poder orientar en forma absoluta cada *estereomodelo*.

Muchas veces, se exige el mapa de un área en la cual no existe dicha red de control, o en caso de existir, no lo es en la densidad suficiente. Para proveerse del control terrestre adicional, se podrían usar métodos directos sobre el terreno (triangulación, poligonales, etc.) pero en muchos casos, se prefiere la aerotriangulación.

La aerotriangulación es una actividad que tiene por finalidad densificar el apoyo terrestre en campo; Por esto, mediante un análisis de diapositivas, se hace la selección de los puntos de apoyo terrestre, los cuales deberán establecerse, en primera instancia, en lugares que estén a buena altura y libres de objetos que impidan su visibilidad.

Estos lugares pueden ser por ejemplo cerros, edificios, iglesias, tanques elevados, casas, etc; Es muy importante contar con puntos de control con estas características, ya que de esta forma se facilitan y eficientizan trabajos posteriores.

Como ya se mencionó, existen otros métodos con los cuales realizar el apoyo terrestre (como la poligonación que se explicará posteriormente), sin embargo, la aerotriangulación es preferida por las razones siguientes:

- La aerotriangulación exige un mínimo en cuanto a trabajo de campo y, por consecuencia, resulta más rápida y generalmente es mucho más económica que los métodos clásicos.
- La aerotriangulación proporciona un control de apoyo en terrenos difíciles e inaccesibles (selvas, desiertos, altas montañas, etc.)

Desde luego, debe existir el control terrestre (GPS) para hacer posible la determinación de los puntos de apoyo fotogramétrico y su transformación al sistema de coordenadas geodésico (UTM); sin embargo se puede reducir enormemente el número de puntos-terreno, dependiendo dicha reducción de la exactitud que requiere el proyecto.

Estos trabajos serán realizados por un ingeniero especialista en esta fase (fotogrametrista), así como por una persona auxiliar; posteriormente, concluida la determinación de las coordenadas de los puntos de control en campo, se procesará la información utilizando

un equipo restituidor de captura digital y un software para extender y densificar el control terrestre para procesos cartográficos.

4.4. Apoyo terrestre mediante poligonación.

Como se mencionó anteriormente, la poligonación es un método alternativo a la aerotriangulación para el apoyo terrestre en campo, el cual puede ser llevado a cabo mediante los instrumentos más comunes en topografía, como son el teodolito, distanciómetros electrónicos o estaciones totales, ligados a un receptor GPS o a un banco de nivel geodésico.

Para este proceso, existe una clasificación del cierre, la cual está en función de la tolerancia requerida, la cual dependerá del orden de la poligonal y del tipo de trabajo establecido por el contratista.

A continuación se describen las características de cada tipo de clasificación, además se incluyen las tablas con las tolerancias antes mencionadas.

Primer Orden: Los levantamientos geodésicos que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de la red geodésica primaria, al estudio del movimiento de la corteza terrestre, al establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos de ingeniería importantes, con fines de investigación científica, y en general a todo trabajo que requiera de una exactitud no menor que 1/100,000.

Segundo Orden Clase I: Deberá tener aplicación en la densificación de la red geodésica primaria y de la correspondiente en áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados de las zonas en alto desarrollo y valor de suelo, en la conformación de un marco básico de una mayor densificación de la red, en el levantamiento y trazo de límites administrativos y en general, para todo proyecto que requiera de una exactitud no menor de 1/50,000.

Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica primaria y ajustarse junto con ella.

Segundo Orden Clase II: Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos en áreas que no tienen un alto índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo; en levantamiento para **apoyo cartográfico y procesos fotogramétricos**, en el establecimiento de control geodésico a lo largo de la costa, ríos navegables y entre vías de comunicación importantes, en fraccionamientos y parcelamientos, en áreas de alto

valor del suelo, en construcción y en todo tipo de trabajos que requieran de una exactitud no menor que 1/20,000.

Tercer Orden Clases I y II: Se deberá destinar al control geodésico de áreas de valor medio a bajo del suelo, a proyectos locales de desarrollos, levantamientos topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería en general, para todo tipo de trabajo que requiera de una a dos partes en 10000 según las necesidades.

TOLERANCIA EN CIERRE ANGULAR

ORDEN DE LA POLIGONAL	NORMAL	EN ÁREAS URBANAS
PRIMERO	$2'' \sqrt{N}$	$2'' \sqrt{N}$
SEGUNDO CLASE I	$3'' \sqrt{N}$	$3'' \sqrt{N}$
SEGUNDO CLASE II	$6'' \sqrt{N}$	$8'' \sqrt{N}$
TERCERO CLASE I	$10'' \sqrt{N}$	$15'' \sqrt{N}$
TERCERO CLASE II	$30'' \sqrt{N}$	$30'' \sqrt{N}$

N = Número de vértices

TOLERANCIA DEL CIERRE LINEAL

ORDEN DE LA POLIGONAL	TOLERANCIA DE CIERRE (m)
PRIMERO	$0.04 \sqrt{K}$
SEGUNDO CLASE I	$0.08 \sqrt{K}$
SEGUNDO CLASE II	$0.20 \sqrt{K}$
TERCERO CLASE I	$0.40 \sqrt{K}$
TERCERO CLASE II	$0.80 \sqrt{K}$

K = Desarrollo de la poligonal en kilómetros

4.4 Ajuste Analítico de Bloques.

El ajuste analítico de bloques, es el proceso complementario de la aerotriangulación, ya que mediante procesos matemáticos digitalizados se obtiene la posición exacta de todos aquellos puntos utilizados en la densificación del apoyo terrestre.

Los GPS en campo nos darán el posicionamiento de los puntos utilizados en la aerotriangulación, a partir de esta información, en gabinete se podrán conocer las coordenadas de los puntos picados en las diapositivas.

Mediante programas específicos para este proceso, como lo es el *Modular Analytical Photogrammetry Program (MAPP)*, se orientan y compensan los errores en los *estereomodelos*.

Este programa está estructurado de tal forma que pueda correr en una PC, este diseño lo hace muy funcional. Cuando se requiere una gran precisión, se pueden utilizar métodos secuenciales y puede efectuarse un ajuste final con un programa de ajuste simultáneo de bloques (*ALBANY*).

Todos Los datos deben procesarse inicialmente con MAPP, para asegurarse que estén libres de equivocaciones, y para proponer una primera aproximación para el ajuste de bloques.

Posteriormente, se ingresan los datos y después de algunas iteraciones se compensarán los resultados en forma analítica para conocer las coordenadas finales del proceso.

Las restricciones del programa MAPP, al realizar el Ajuste Analítico de Bloques, son las siguientes:

- Los ajustes horizontales están restringidos a primero y segundo orden.
- Los ajustes verticales pueden ser hasta de tercer orden.
- El número máximo de líneas en un bloque es de 50.
- El número máximo de puntos de control, puntos de liga, y puntos de chequeo, es de 500.
- No hay límite para el número de puntos auxiliares en una línea o bloque.

Es conveniente decir que estas nuevas coordenadas, estarán en el mismo sistema que el control terrestre levantado directamente en campo, y las elevaciones referidas al nivel medio del mar.

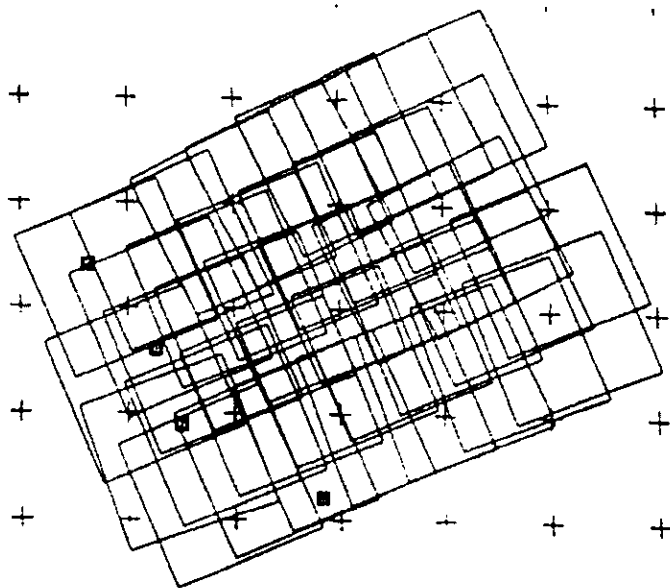


Fig. 4.2 Ajuste Analítico de Bloques.

CAPITULO 5.

RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

5.1 Introducción

Una vez que se han obtenido los materiales de apoyo y los datos, puede iniciarse el proceso de restitución. No hay diferencia en los procedimientos básicos cuando se hace la restitución en espacios abiertos y cuando se hace en áreas de la ciudad. Sin embargo, la complejidad de la restitución en áreas urbanas exige un trabajo particularmente cuidadoso.

El operador debe verificar constantemente la selección adecuada de los modelos estereoscópicos y si es necesario, puede verse en la necesidad de modificar los límites de restitución asignados para cada modelo individual.

En el curso de los últimos años, la restitución fotogramétrica ha sufrido grandes cambios. Hasta hace solo unos años, el restituidor analógico con pantógrafo representaba el aparato standard, hoy por el contrario se cuenta con instrumentos analíticos e instrumentos analógicos asistidos por software de captura de información.

La diferencia que existe entre un restituidor analítico y un análogo es el sistema de proyección, compuesto de elementos electrónicos en lugar de mecánicos. Por tal hecho, el trabajo del operador en la restitución no tiene modificación alguna; no obstante el proceso de orientación de la fotografía si se facilita.

Con los métodos de dibujo asistidos por computadora, la información cartográfica es hoy en día almacenada bajo forma numérica, por otra parte, al análisis puramente visual de las fotos durante la restitución viene a añadirse la posibilidad de tratamiento numérico de la imagen.

Una de las características principales de la restitución digital es la posibilidad de restituir directamente líneas y curvas de nivel. Esta posibilidad existía ya en el trazo directo en el papel, pero el resultado de la restitución gráfica no era más que un manuscrito que necesitaba de un trabajo adicional de edición cartográfica.

Los sistemas de dibujo asistidos por computadora han permitido mejorar la presentación gráfica, hoy en día, una carta o plano es generalmente almacenado en forma digital y no necesariamente es impreso más que sobre pedido.

La introducción de los sistemas digitales a la restitución representa una verdadera revolución cartográfica. Es importante hacer ver que la introducción de los sistemas no tiene como único objetivo crear cartografía numérica. A la vez permite la edición de documentos gráficos, estos sistemas tienen una funcionalidad más extensa:

- Toma de Datos
- Gestión de Datos
- Análisis de Datos
- Presentación de Información

La gestión de datos geométricos exige una estructuración apropiada de la información en relación con los objetos, y se puede de este hecho establecer relaciones de vecindad, generalmente por medio de un banco de datos relacional. Esta particularidad hace la diferencia a un sistema de información geográfica de un simple sistema cartográfico.

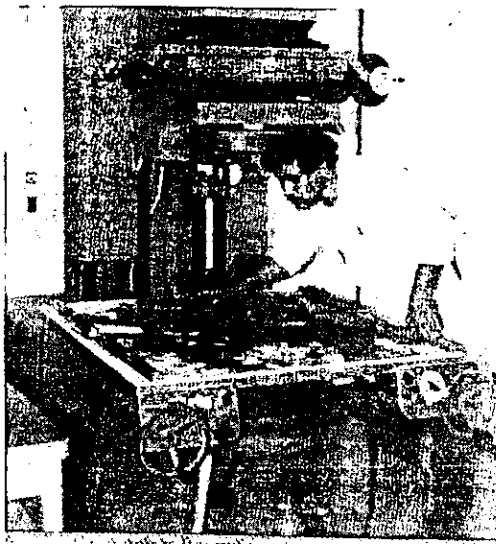


Fig. 5.1 Laboratorio de Restitución Fotogramétrica

La necesidad de estructurar los datos con relación a los objetos es muy útil sin ser necesariamente molesta. No es preciso, sin embargo, olvidar que una sola hoja de una carta nacional representa una enorme masa de datos, destinados no solamente a ser administrados, sino también analizados.

5.2 Descripción del proceso

En la etapa de restitución fotogramétrica se contó con las diapositivas, las fotografías aéreas escala 1:5,000, los croquis de campo de cada Punto de Apoyo y las coordenadas de la proyección UTM, en el sistema WGS84 (World Geographics System del año 1984), que es el sistema utilizado para estos proyectos. La restitución fotogramétrica consta de las siguientes cuatro etapas:

a) Orientación Interior

Esta actividad consistió en el centrado de diapositivas. Es decir, en colocar dos diapositivas sucesivas de una misma línea de vuelo en los porta placas del equipo restituidor y establecer el punto principal con respecto a su propia distancia, es decir, hacer coincidir las marcas fiduciales de las diapositivas y el punto principal, que es el centro geométrico de la fotografía, con las marcas fiduciales contenidas en los porta placas de las cámaras de los equipos restituidores.

b) Orientación Relativa

En esta etapa se borró el paralaje (visión borrosa) de los desplazamientos aparentes de los objetos en las imágenes con relación a un sistema de referencia.

Se considera borrado el paralaje cuando todos los detalles planimétricos del modelo estereoscópico se ven nítidos y sin que presenten distorsiones.

c) Orientación Absoluta

Para lograrla, se fijó la posición de la cámara y la orientación angular de las fotografías que consistió de tres elementos de posición y dos elementos de orientación angular. La posición se define en términos de tres distancias de coordenadas rectangulares (x,y,z).

Los elementos de orientación angular son básicamente la inclinación de la perpendicular de la fotografía y el acimut del plano principal.

d) Captura Digital de Información Planimétrica y Altimétrica

Cuando las tres orientaciones anteriores se lograron, se fueron capturando en los equipos restituidores los detalles planimétricos y altimétricos; almacenándolos en archivos magnéticos de las zonas urbanas de la ciudad en estudio. Para la captura digital, pueden ser utilizados los equipos siguientes:

- Restituidores marca Wild, modelo B8S
- Restituidores marca Wild, modelo AGI.

La captura de datos planimétricos y altimétricos se hizo a través de niveles ó layers, dando uno para cada rasgo: banquetas, cercas, construcciones, corrientes de agua, cotas fotogramétricas, curvas de nivel, perímetros, etc.

La restitución se realiza respetando las especificaciones y normas técnicas establecidas por la CNA. En esta actividad participan seis operadores, divididos en tres turnos por equipo.

5.3 Planimetría.

La planimetría es la parte de la topografía que determina y representa en una superficie plana una porción de la Tierra.

Se va generando así, un conjunto de áreas específicas que se estudian detalladamente. La densidad de la planimetría depende de la escala de las fotografías áreas y del mapa de proceso.

En áreas urbanas es enorme la cantidad de detalles del terreno por identificar y simbolizar en la restitución. Durante las operaciones convencionales de restitución, el operador sigue los detalles del terreno con la marca flotante y los contenidos de las fotos se capturan en el manuscrito.

La captura de la información se va generando puntualmente siguiendo el detalle a restituir con la marca flotante, todo esto se debe hacer ordenadamente, ya que cualquier detalle omitido es de vital importancia.

Para el concepto fotogramétrico entenderemos como planimetría, la representación horizontal de los rasgos físicos naturales y artificiales que contienen uno o más modelos orientados correctamente. La planimetría se elabora generalmente con base en el siguiente orden:

- Vías de comunicación
- Manzanas y construcciones
- Hidrografía
- Vegetación
- Rasgos culturales

Vías de comunicación. El trazo de estos detalles, como en el caso de las carreteras, se hace del ancho real de la misma, en el caso de alguna autopista, los acotamientos se trazan aparte. En los ferrocarriles se hace del ancho real de cada parámetro de la vía. En el caso de veredas o brechas solo se trazarán las que se consideren importantes y duraderas. Todo esto se traza a nivel de terreno.

Manzanas y construcciones. Para el trazo de ciudades, generalmente se empieza con el trazo del límite de las manzanas llevando la marca flotante sobre el parámetro de las construcciones, bardas y banquetas. Enseguida se hace el trazo de los predios sobre este parámetro, ya sea de las construcciones, bardas, cercas y sobre todo aquello que defina un lote, para los predios que por construcción de la manzana existen pero que no están físicamente determinados, se puede trazar como propiedad indefinida.

Después del trazo de los predios, continuamos con el trazo de construcciones, ubicando la marca flotante sobre los techos de las mismas, estas se identificarán con el número correspondiente al número de niveles de las construcciones.

Cabe mencionar que en algunos casos de edificios muy altos y por la perspectiva del mismo, no es posible ver el número de niveles, en este caso lo que procede es medir la altura del edificio y dividirla entre tres, que es el promedio por nivel.

Las banquetas se trazarán al nivel del piso, en algunos casos las banquetas no se ven por la perspectiva de las construcciones altas, en este caso, hay que deducirlas con el ancho de las otras que sí se ven o, recurrir directamente a métodos terrestres para conocerlas.

Hidrografía. Estos detalles se dibujan a nivel del espejo de agua, en el caso de ríos secos y de arroyos intermitentes, se trazan a nivel de terreno cuidando que estos coincidan con la configuración de las curvas de nivel. También se delimitarán las zonas sujetas a inundación identificándose con el texto de ZSI.

Vegetación. En el caso de la vegetación, se traza la zona boscosa y árboles grandes que puedan afectar la visibilidad del operador y que pudieran obstruir el trazo de algún detalle físico existente. Estos se trazarán con la marca flotante a nivel de la vegetación.

Equipamiento Urbano. Para todos estos detalles generalmente se utilizan textos y símbolos para su representación, como ejemplo podemos citar los postes, torres de alta tensión, plazas, panteones, iglesias, monumentos, etc., todos se dibujan a nivel de terreno y en algunos casos con sus dimensiones reales.

De manera general, podemos resumir que la cartografía planimétrica incluirá los siguientes rasgos físicos naturales y urbanos foto identificables, por lo tanto es un trabajo completo y confiable:

Manzanas en el caso de zonas urbanas, vialidades, vías férreas, puentes, carreteras, terracerías, centrales eléctricas y todas aquellas instalaciones visibles en la foto, pistas aéreas, canales, depósitos de agua, escurrimientos, arroyos, ríos, manantiales, lagos, pantanos, presas, vegetación, cotas fotogramétricas en lugares específicos, zonas boscosas y arboladas, huertas, toponimia, poblados, presas, límites internacionales, estatales, municipales, leyendas de ríos, presas, cerros y caminos.

5.4 Altimetría.

La altimetría es la representación en un plano horizontal del relieve contenido en uno o más modelos estereoscópicos orientados correctamente. La representación de la topografía de una porción de la superficie terrestre se lleva a cabo mediante la materialización de las curvas de nivel que se deducen con el punto flotante en un modelo espacial.

Las curvas de nivel se diferencian entre sí con el objeto de facilitar su identificación e interpretación, para esto se les asigna diferente tipo de macro, tipo de línea y color a cada quinta curva, acotándolas periódicamente; éstas son las llamadas *curvas maestras*.

Entre dos curvas de nivel maestras existen cuatro curvas con diferente macro, tipo de línea y color que las curvas maestras, y se denominan *curvas de nivel secundarias u ordinarias*.

Cuando la equidistancia entre curvas fijas previamente no es suficiente para representar claramente la topografía que se estudia, es conveniente recurrir al trazo de curvas de nivel auxiliares con línea discontinua, esto se usa generalmente en topografías poco accidentadas.

Casi siempre el trazo de curvas de nivel, resulta una operación más sencilla, si se le compara con la restitución de la planimetría; en el sentido que una curva de nivel está determinada por el operador que se fía de su percepción estereoscópica.

Es raro que un operador experimentado tenga que corregir o despegar las curvas ya trazadas.

En ciudades densamente edificadas, sin embargo, las dificultades surgen de diversos orígenes. El porcentaje de áreas abiertas, que podrían considerarse representativas de la superficie natural del terreno, puede ser muy pequeño y estar restringido a patios, calles y las ocasionales plazas.

Cuando las calles son estrechas y el interior de las manzanas está completamente edificado, entonces las curvas de nivel usuales pueden reducirse a solo escasos y pequeños sectores que no suministran una imagen completa del terreno.

Para superar esta dificultad y dar una información significativa sobre la topografía general de la ciudad, las curvas de nivel pueden extenderse en líneas punteadas a través de todos los edificios y estructuras que cubren el terreno, suponiendo que las construcciones no han modificado la superficie del terreno.

En este método cualquier excavación o relleno deberán considerarse como una parte del terreno natural.

Al trazar las curvas en calles pavimentadas o plazas, debería recordarse que la superficie es probablemente muy lisa, y que en ciudades bien construidas mantienen una forma demarcada teóricamente.

En consecuencia, puede esperarse que las curvas tengan una forma predecible, o al menos que no se desvien drásticamente de ella. La diferencia de tonos en la fotografía pueden afectar la percepción estereoscópica y dar una forma poco probable a la curva dibujada.

Para calles y plazas sin pavimento, las curvas de nivel menos parejas muestran mejor carácter de la superficie. Pero en este caso, podría también evitarse el trazar todas las micro formas con exactitud, ya que no tiene sentido (**figura 5.1**).

Puesto que las superficies del terreno (pavimento o no) que se encuentran en las ciudades, son lisas en comparación con el terreno natural, podrán trazarse curvas de nivel confiables por medio de interpolación a partir de elevaciones de puntos medios.

Una alternativa a la restitución de las curvas de nivel continuas, es la determinación fotogramétrica de un número suficiente de elevaciones de puntos aislados, con la posterior interpolación manual o con la ayuda de software de interpolación (DTM) de las curvas de nivel en la cual debe prestarse especial atención a las formas planimétricas.

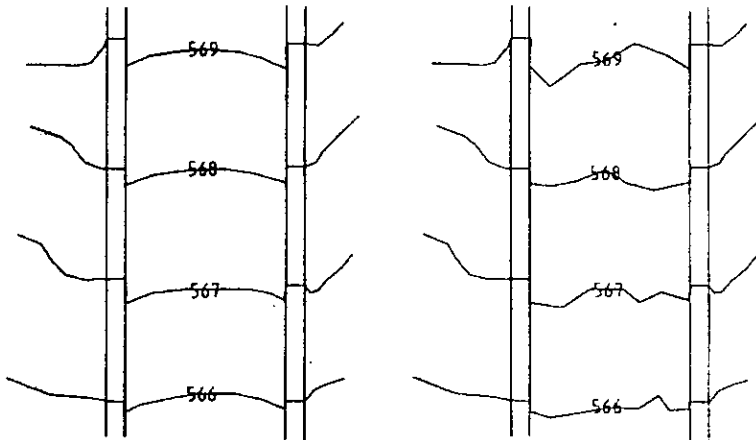


Fig. 5.1 Trazo correcto de curvas de nivel en superficie pavimentada (izq).

Este procedimiento ofrece buenos resultados, especialmente si las elevaciones se seleccionan aproximadamente a lo largo de las curvas y en puntos de cambios bruscos de pendiente.

Cuando se encuentran dificultades para el trazo continuo de las curvas de nivel, el operador ubica la cota de Z a la altura que quiere restituir, luego mueve la marca flotante sin cambiar la altura para interceptar el terreno en el lugar donde la marca parece tocar la superficie del terreno.

Esta posición se marca enseguida en el manuscrito con un trazo corto, luego el operador se mueve fuera de la pendiente, de manera que la marca parezca flotar sobre la superficie del terreno y marca el siguiente punto de intersección de la curva de nivel, y así sucesivamente, quedando el trazo de las curvas interrumpidas (línea punteada) para posteriormente unirlos en el proceso de edición (**figura 5.2**).



Fig. 5.2 Trazo de curvas de nivel en el proceso de restitución.

En este procedimiento, cada punto marcado se establece con una alta precisión y pueden incluirse aún los pequeños rasgos del terreno, mientras que la velocidad de trazo es apenas un poco más baja que la de operación de trazo continuo.

Diversos proyectos de ingeniería requieren una mayor precisión en elevación que la que puede ofrecerse, económicamente, mediante los métodos fotogramétricos actuales.

Partiendo de bancos de nivel, los ingenieros, empleando técnicas de nivelación pueden establecer nuevos bancos, puntos de referencia y perfiles longitudinales y transversales de mayor precisión. Sin embargo, el grueso de la información vertical general necesaria en el área de la

ciudad, puede determinarse más rápida y económicamente por medios fotogramétricos.

5.5 Edición Cartográfica.

Con el registro digital numérico de todos los detalles de la restitución, esta etapa ya solo se limita a la conformación de las hojas que formarán el producto final. No por ello deja de ser importante ya que también es un filtro para eliminar todos aquellos errores que se pudieron cometer durante el proceso de restitución.

La edición es la parte donde a todos los elementos que componen las cartas, se les asigna la calidad de líneas, símbolos, índices, solapas, cuadros de construcción y todo lo necesario para su mejor interpretación y manejo.

Probablemente los argumentos más importantes par el uso de sistemas de dibujo automático se deriven de las consideraciones operacionales adicionales, tales como las dificultades para actualizar las cartas.

Esto tiene particular validez en cartografía de áreas urbanas, en escalas grandes. En las cuales hay cambios físicos frecuentes que requieren modificación de los contenidos de la carta básica.

Debido a la rapidez con que estos cambios ocurren, las cartas deben revisarse continuamente o, por lo menos, a través de un proceso periódico frecuente.

Con los sistemas automáticos de trazo, los contenidos de las cartas están almacenados digitalmente y cualquier alteración de esos contenidos puede realizarse con relativa facilidad.

Por supuesto, no pueden permitirse nuevos mapas de toda la ciudad todos los días, pero una periódica impresión de la carta resulta una proposición práctica. Más aún, es una cuestión relativamente simple dibujar automáticamente una pequeña sección de la carta, en el momento que se requiera.

Además, cualquier sección de los contenidos almacenados puede imprimirse en una hoja de papel, esta presentación visual y gráfica carece de la precisión rigurosa y la estabilidad dimensional de una carta convencional, sin embargo, esto puede carecer de importancia para muchas aplicaciones.

El dibujo automático reemplaza, en cierta medida, solamente el trabajo manual del dibujante, pero no del operador fotogramétrico quien debe todavía registrar numéricamente el manuscrito básico.

Antes de la llegada de los sistemas digitales de restitución, el proceso de edición era bastante lento y costoso, además, se enfrentaban dificultades derivadas de la falta de personal entrenado para trabajar como dibujante cartográfico.

5.6 Especificaciones para los Planos Tipos.

Dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), uno de los productos ha obtener, corresponde a los *planos tipo* para cada una de las redes que conforman el sistema hidráulico de las diversas áreas urbanas de la República Mexicana.

Toda la información relativa al levantamiento de las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada, además de quedar implantada en el SIG, se plasmará por separado en planos tipo escala 1:1,000; En los cuales quedará representada una zona de 1,000 m en el sentido de las *x* (abscisas) y 500 m en el sentido de las *y* (ordenadas), esto es, una superficie de 0.5 km².

Para la elaboración de estos trabajos se emplean *planos base*, los cuales están a la misma escala (1:1,000), y contienen planimetría, cuadros y títulos de identificación, simbología y notas generales.

Finalmente, quedarán complementados con la información de las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada, encontrada durante el levantamiento, y así obtener los planos tipo.

Siempre se dibujará exclusivamente con tinta negra y utilizando puntos que garanticen la calidad de las líneas o equipos de inyección de tinta.

Para los trabajos preliminares y de campo, se recomienda obtener copias de los planos base, sobre los cuales se planearán los trabajos y vaciará la información preliminar.

5.6.1. Identificación y Nomenclatura de los Planos.

Este proceso se deriva de la forma siguiente; El área donde se efectuará el levantamiento físico de la infraestructura hidráulica, deberá ser dividida en cuadrados de un kilómetro de lado, coincidiendo con las

coordenadas de cuadrícula múltiplos de esta unidad. En cada cuadrado se ubican dos planos de 1,000 por 500 metros uno sobre otro.

Para identificar cada plano, se usará una clave que está relacionada con las coordenadas de la esquina inferior izquierda de cada uno de los planos.

De cada una de las coordenadas, abscisa y ordenada, se tomarán los dígitos que hacen referencia a las decenas y unidades de kilómetro, colocando primero las correspondientes a las abscisas y después las de las ordenadas, quedando un número de cuatro dígitos, como el que se muestra a continuación, correspondiente a las hojas que tienen por coordenadas de la esquina de referencia (26000, 35000) y (26000, 35500).

A este número se le agregará una letra **N** o **S**, dependiendo si la ordenada es múltiplo cerrado del kilómetro, con las claves:

2635N para la hoja de coordenadas (26000, 35500), y
2635S para la hoja de coordenadas (26000, 35000)

5.6.2. Tamaño y Orientación.

- Las Hojas deberán tener un tamaño de 1.02 m. X 0.74 m, esta área se dividirá en dos partes principales. La primera comprende un área de 100 x 50 cm, y contendrá la planimetría e información gráfica de la red respectiva.

La segunda parte, la información marginal, ocupa un área de 100 x 21 cm, y contendrá los recuadros de identificación, localización, notas y simbología, entre otros.

- Se dibujarán *marcos* que dividirán y delimitarán cada una de estas áreas de la manera siguiente:

Marco principal. Se dibujará una línea de 2.5 milímetros de grosor y con las dimensiones indicadas en la **figura 5.4**, de manera tal que se dejen márgenes de 1 cm en los bordes superior e inferior, y de 0.9 cm en el izquierdo y derecho.

Cuerpo del plano. Se dibujará una línea de grosor de 0.3 milímetros en el interior de este marco se dibujará el caneavá de referencia usando líneas de 0.25 mm de grosor.

En el borde del marco del cuerpo del plano, se consignarán los valores de las coordenadas para cada una de las líneas del caneavá, debiendo aparecer completas en la esquina inferior izquierda resaltando el dígito de las centenas y en las demás consignar solo los valores del dígito de centenas (hectómetros). El tamaño de letras será de 2 mm.

Información marginal. Se dibujará con una línea de 0.3 mm de grosor, de acuerdo a las dimensiones marcadas en la figura 5.4.

- Todas las hojas estarán orientadas con la dimensión mayor en sentido Oeste este, con el Norte hacia arriba y contendrá el caneavá de referencia en espaciamientos de 10 cm a la escala del plano (100 m en la escala 1:1,000). No se dibujará ningún símbolo especial para indicar el Norte.

No habrá traslape de información entre planos contiguos, esto es, el empalme de planos se hará a tope y ligado con precisión.

5.6.3. Contenido de los Planos.

Como premisa en todo *plano tipo* deberá contarse con todos los detalles naturales o artificiales del terreno, además deberá contener tanta información del terreno como sea posible y describir los siguientes detalles:

- Se contendrán todos los textos y números, además de los rasgos contenidos en las hojas planimétricas y altimétricas. Cada una de las hojas deberá llevar la cuadrícula del Sistema de Coordenadas UTM, en intervalos de 10 cm en la escala establecida, es decir a cada 100 metros cerrados.
- Puntos de control horizontal y vertical, como límites de propiedad, límites de parcela, muros y cercas.
- Edificios y estructuras permanentes, tales como carreteras elevadas, puentes, monumentos, calles, plazas, árboles, postes de alumbrado, hidrantes, pozos de visita, coladeras, alcantarillas, vegetación, ferrocarriles y otros medios de transporte.
- Elementos de transmisión y comunicación, como mástiles, torres de alta tensión rasgos de relieve de terreno, curvas de nivel, elevaciones de puntos, terraplenes y represas, elementos de desagüe, canales y zanjas.

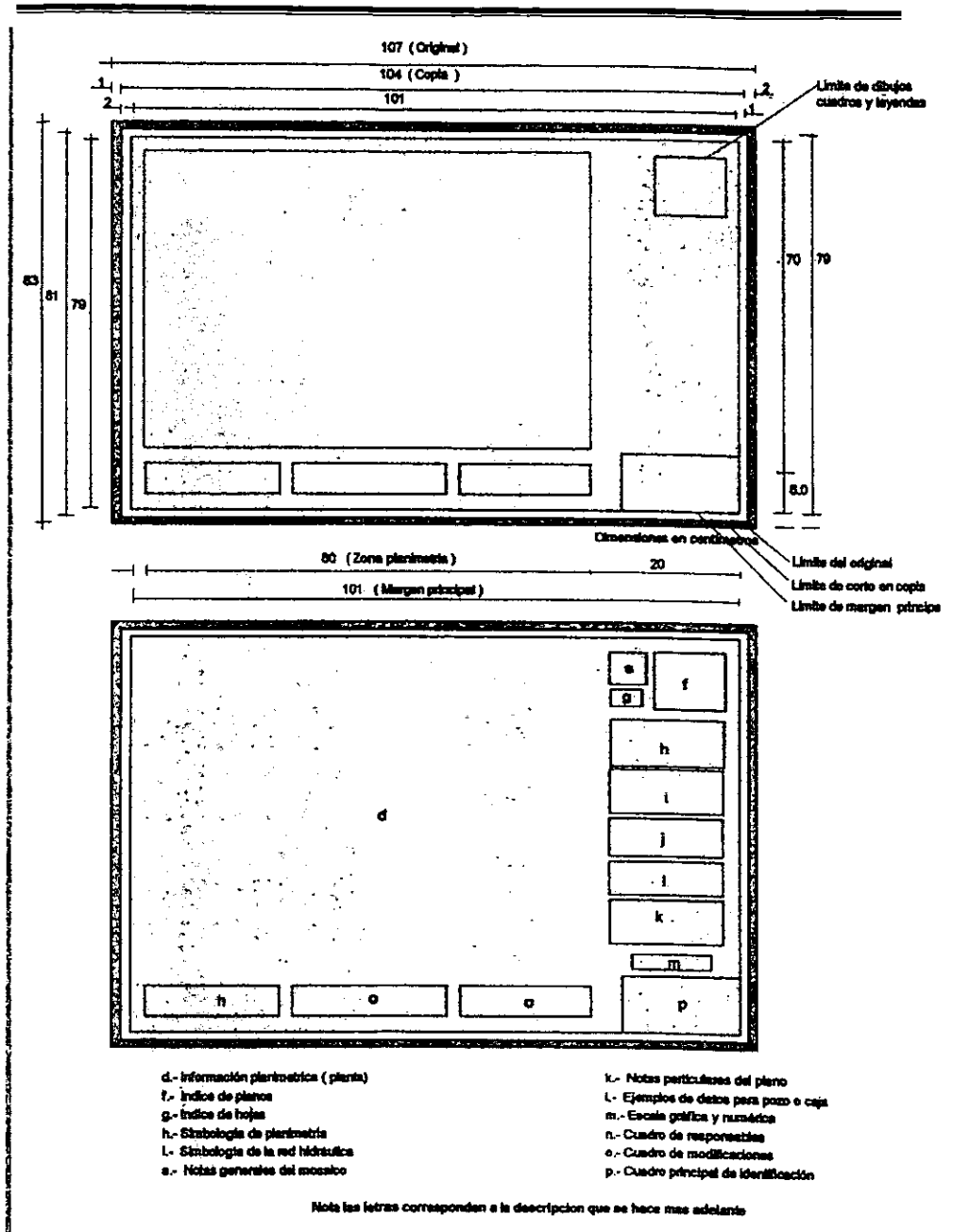


Fig. 5.4 Formato utilizado en la elaboración de planos.

-
- Con excepción de los objetos pequeños como pozos de visita, coladeras, alcantarillas y postes de alumbrado que se representan por símbolos, todos los otros objetos son representados en su verdadera forma y dimensiones a nivel del terreno.
 - En el margen de cada Hoja se indicarán los valores de coordenadas con números de altura de 3 mm.
 - Los puntos de control terrestre deberán indicarse con triángulos de 3 mm. de lado y los de control fotogramétrico con círculos de 3 mm. de diámetro, para ambos casos. La nomenclatura y la cota de cada uno de ellos será un texto de 3 mm. de alto.
 - La toponimia^{5.1} deberá anotarse con letras mayúsculas de 3 mm. de altura.
 - Las cotas de la altimetría se anotarán con números de 1.5 mm. de altura, en posición vertical en donde sea posible y en los demás casos estarán orientadas de manera que sean legibles sin necesidad de girar la hoja.
 - En el cuerpo del plano se dibujarán todos los elementos planimétricos que consignen los planos base, y que se relacionen en las especificaciones correspondientes, excepto los linderos de predios;

Por otro lado se señalarán, en su posición exacta y con el símbolo correspondiente, los bancos de nivel maestros y auxiliares existentes, consignando su clave y elevación.

En el recuadro de notas particulares de la información marginal, se consignarán también los datos de los mismos.

- Se incluirán de manera complementaria, también en el cuerpo del plano, un recuadro de 21 x 6 cm, donde se reproducirá la simbología usada para el dibujo de los diferentes elementos de la planimetría, y en otro de 23 x 9.5 cm, se reproducirá la simbología empleada para representar la infraestructura hidráulica, en la **figura 5.5** se muestra la tabla donde que consigna los símbolos y tipos de letra a utilizar.
- En un recuadro de 15 x 7 cm se incluirán las notas generales referentes principalmente a la metodología, como por ejemplo: el

^{5.1} Toponimia es la asignación de nombre que se le da a lugares como Colonias, Plazas, Calles, Edificios principales, Arroyos y cuerpos de agua, Ríos, Carreteras, etc.

periodo de elaboración de la cartografía catastral, la escala que se utilizó para la fotografía aérea, el área que abarca el plano en km, o el sistema de proyecciones empleado.

- Finalmente, otros elementos que se incluirán serán los datos de pozos y cajas, la escala gráfica y numérica, nombre de la empresa contratada, logotipo de la misma, número de contrato, nombres y
- Firmas de los técnicos responsables y la identificación principal del plano; La ubicación de esta información queda especificada en la figura 5.4

El tamaño de los símbolos en una escala dada, deberá ser tan cercano como sea posible al verdadero tamaño de los objetos representados. este procedimiento permite la ampliación o reducción fotográfica de la carta a otra escala sin necesidad de dibujar nuevamente los símbolos.

Por lo tanto, el tamaño de los símbolos utilizados con la carta básica deberá ser cuidadosamente seleccionado. Hay una mayor flexibilidad en el grosor de las líneas de la carta, y esto puede depender de los hábitos locales de los consumidores.

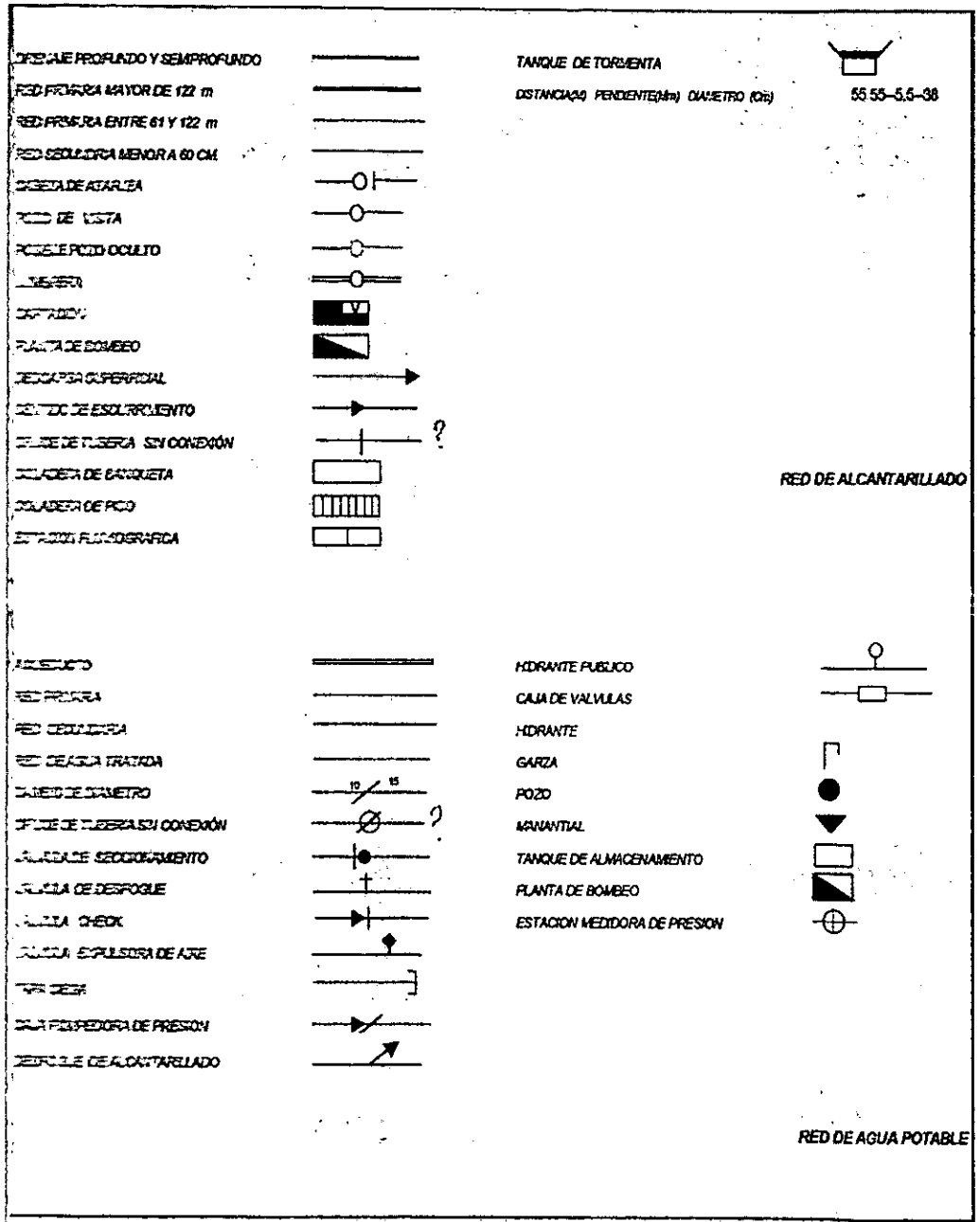


Fig. 5.5 Simbología para redes de Alcantarillado y Agua Potable

5.7 Contenido del Archivo Digital. (Planimetría y Altimetría)

Los rasgos altimétricos y planimétricos de los Sistemas de Información Geográfica, serán clasificados en el archivo mediante niveles o capas como se ilustra en la página siguiente (**figura 5.6**), por otro lado y de manera complementaria, en la **figura 5.7** se presenta la imagen de un plano elaborado mediante el proceso de restitución.

5.8 Productos a Entregar y la Duración de los Servicios

- Plan de Vuelo indicando el sentido de las Líneas de vuelo y Ubicación del Apoyo Terrestre.
- Dos juegos de copias de contacto con identificación y nomenclaturas de los Puntos de Pase, de Liga y Puntos de Control Terrestre.
- Foto-índice de Vuelo.
- Memoria de Cálculo del Apoyo Terrestre y Libretas de Campo.
- Listado de Coordenadas del Apoyo Fotogramétrico (resultados de la Triangulación Aérea) y un archivo ASCII.
- Dos juegos de Diapositivas con los Puntos de Pase y de Liga picados.
- Negativos Fotográficos de las Líneas de Vuelo que fueron utilizadas para el proyecto.
- Archivos Electrónicos de cada hoja que conforman el cubrimiento del proyecto. Los archivos de Planimetría y altimetría estarán separados.

NIVEL O CAPA	DESCRIPCION	ELEMENTO GRAFICO	COLOR	TIPO DE LINEA	TAMANO TEXTO	GRUPO
NOMENCLATURAS						
NOMENCLATURAS	Texto de calle	TEXTO	BLANCO		4	
	Texto de colonia	TEXTO	BLANCO		6	
	Texto de leyenda	TEXTO	BLANCO		5	
	Texto de límites	TEXTO	BLANCO		5	
PLANIMETRIA						
MANZANAS	Manzanas	POLIGONO	AMARILLO	CONTINUA		
LOTES	División de lotes, bardas, límites	LINEA	VERDE	CONTINUA		
CONSTRUCCIONES	Construcciones	LINEA	ROJO	CONTINUA		
INFRAESTRUCTURA	Canchas deportivas	POLIGONO	BLANCO	CONTINUA		
	Vialidad en general	LINEA	GRIS	CONTINUA		
	Carretera pavimentada	LINEA	GRIS	CONTINUA		
	Camellones y banquetas	LINEA	ROJO	CONTINUA		
	Jardin	POLIGONO	VERDE	CONTINUA		
	Zona arbolada	POLIGONO	VERDE	CONTINUA		
REFERENCIAS GEOGRAFICAS						
REFERENCIAS-GEO	Canev4	GRUPO	BLANCO			CANEV
	Coordenadas geográficas	TEXTO	BLANCO		2	
	Coordenadas UTM	TEXTO	BLANCO		3	
	Marco del plano	GRUPO	BLANCO			MARCO
DRENAJE RED SECUNDARIA						
DRENAJE-SEC	Pozo de visita	CIRCULO	ROJO	CONTINUA		
	Red diám. 30 - 45 cm	LINEA	ROJO CL	CONTINUA		
	Long-Pend-Diámetro	TEXTO	BLANCO		2 ó 2.5	
	Indicador (rayo)	MULTILINEA	ROJO	CONTINUA		
	Cabeza de atarjea	LINEA	ROJO CL	CONTINUA		
	Cambio de diámetro	GRUPO	ROJO CL			CDIAM
	Descarga superficial	LINEA	BLANCO	DISCONTINUA		
	Sentido de escurrimiento	GRUPO	ROJO CL			SENESC
	Coladera de banqueta	GRUPO	ROJO			COBAN
	Coladera de piso	GRUPO	ROJO			COPISO
	Boca de tormenta	GRUPO	ROJO			BOTOR
	Coladera de piso y banqueta (combinación piso y banqueta)	GRUPO	ROJO			PLUPISO
	Pozo virtual	CIRCULO	ROJO	DISCONTINUA		
DATOS-SEC	Elevación de brocal	TEXTO	BLANCO		2	
	Elevación de tubos	TEXTO	BLANCO		2	
	Clave del pozo de visita	TEXTO	ROJO		2.5	
	Bandera	MULTILINEA	BLANCO	CONTINUA		
DRENAJE RED PRIMARIA						
DRENAJE-PRIM	Pozo de visita	CIRCULO	ROJO	CONTINUA		
	Colector diám. 60-122 cm	LINEA	VERDE-CL	CONTINUA		
	Colector diám > 122 cm	LINEA ó MULTILINEA	MAGENTA	CONTINUA		
	Long-Pend-Diámetro	TEXTO	BLANCO		2 ó 2.5	
	Indicador (rayo)	LINEA ó MULTILINEA	ROJO	CONTINUA		
	Cruce de tubos con conexión	GRUPO	MAGENTA			CRUCD
	Cabeza de atarjea	LINEA	MAGENTA	CONTINUA		
	Cambio de diámetro	GRUPO	MAGENTA			CDIAM
	Descarga superficial	LINEA	BLANCO	CONTINUA		
	Sentido de escurrimiento	GRUPO	MAGENTA			SENESC
	Drenaje profundo	LINEA	VERDE-CL	CONTINUA		
	Lumbreras	GRUPO	ROJO			LUMBR
	Captaciones	GRUPO	ROJO			CAPTAC
Pozo virtual	GRUPO	ROJO			POZOV	

Fig. 5.6 Ejemplificación de la estructura del Archivo Digital, en el cual se muestran las distintas capas que lo integran

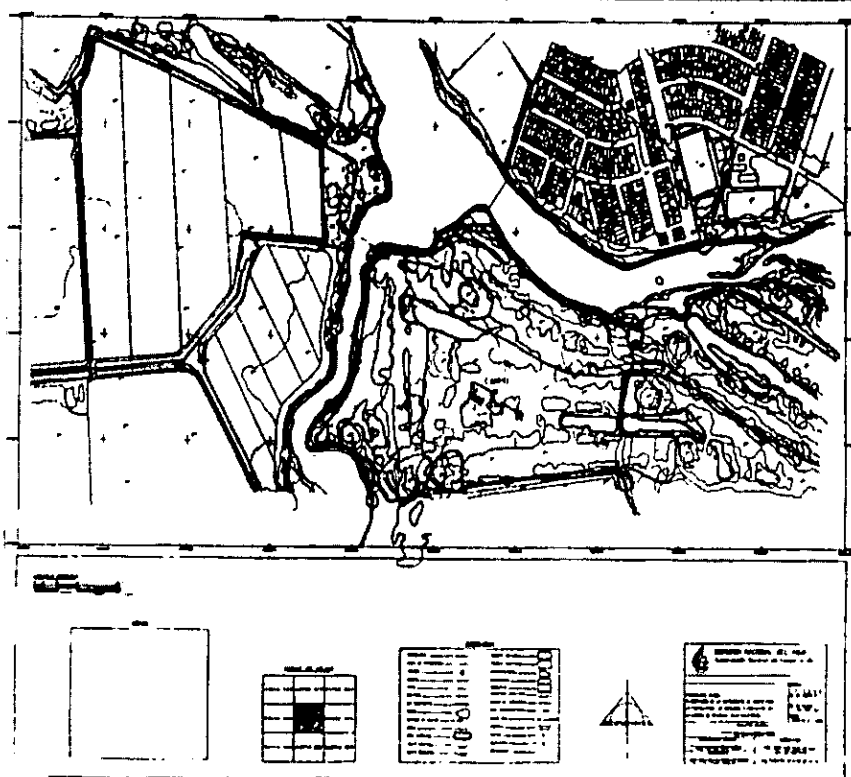


Fig. 5.7 Ejemplo de un plano elaborado mediante el proceso de restitución, el cual consiste en *restituir* el volumen que se pierde al tomar la fotografía, por medio de aparatos especiales que regeneran la visión estereoscópica.

- Plano de las hojas del cubrimiento del proyecto con Planimetría, Altimetría y Toponimia dibujada sobre material de base estable y reproducible.

Las actividades incluidas en los presentes términos de referencia se desarrollarán en un período de 75 días naturales; a partir de la fecha en que se den por iniciados oficialmente los trabajos.

5.9 Actualización de la Información.

Es importante implantar un sistema permanente de actualización de la información de las redes hidráulicas, partiendo de los datos de planos que aportan los levantamientos directos.

Los procesos de actualización deberán realizarse bajo la premisa de *bajo costo* y paralelamente a las actividades normales como son el proyecto, construcción y operación.

Algunas de las sugerencias que se presentan pueden servir también para obtener datos de áreas que no se hayan cubierto en los levantamientos directos; sin embargo, en estos casos será indispensable contar con, cuando menos, planos base de estas zonas.

Por otra parte, los hundimientos diferenciales que se presentan en algunas ciudades del país, dan una vigencia relativamente corta a los datos de cotas de tubos de alcantarillado, por lo que después de algunos años no será válida la actualización por los métodos simples (indirectos) que se proponen aquí, sino que será necesario efectuar nuevamente labores específicas de nivelación como pueden ser la ubicación de piezas especiales, detección de estructuras ocultas, desasfaltado de pozos y cajas, renivelación de brocales de pozos y contramarcos de caja, o el desazolve de pozos y cajas.

Los principales enfoques para actualizar la información de un SIG, se enuncian a continuación, cada uno de estos enfoques o tipos de actualización requieren de diferentes estrategias y sistemas de apoyo, los cuales serían inmediatos en planos y se tendría además, simultáneamente, en la base de datos, el registro detallado de las modificaciones o adiciones efectuadas.

En varios de los tipos de actualización que se mencionarán, son indispensables las visitas en campo, pero estas normalmente se harán aprovechando otro trabajo donde la acción complementaria de obtener y registrar la información, para la actualización no sea gravosa.

Para los primeros cuatro tipos de actualización mencionados se presentan los procedimientos sugeridos. Sobre los otros dos, solo cabe comentar que uno corresponde a trabajos de gabinete a partir de datos de otras formas de actualización, y el otro a trabajos de dibujo basados en fotografías de vuelo más recientes.

-
- Revisión de la Información contenida en planos
 - Actualización de elevaciones de bancos de nivel oficiales
 - Actualización del estado de conservación de pozos y cajas
 - Modificaciones o ampliaciones por obras
 - Actualización de diagnósticos y cuantificaciones de las redes
 - Complemento o actualización de la planimetría



Fig. 5.8 Vista del equipo indispensable en campo

I. Revisión de la Información contenida en planos. El proceso para confirmar los datos de un plano producto de un levantamiento físico, simultáneamente a las labores de operación o mantenimiento hidráulico, será el que se describe a continuación.

La oficina administrativa de los sistemas de aprovisionamiento de agua potable y saneamiento, en sus áreas de operación y mantenimiento, deben tener un ejemplar de cada plano con la red de agua potable, drenaje y agua residual tratada, de su zona de trabajo.

Cada una de estas zonas irán comprobando la información paulatinamente en una copia heliográfica de cada plano, marcándola con color verde si queda confirmada, con amarillo si hay dudas y con rojo si es incorrecta y hay que cambiarla. Si no tiene señal alguna, quiere decir que aún no se revisa.

Debe procurarse que el personal de campo se familiarice con las claves de estructuras que aparecen en los planos, para evitar confusiones o dudas, y así poder apreciar visualmente (sin necesidad de medir) si la *información previa* que aparece en cada formato es acertada o no.

Todas las discrepancias observadas durante un mes, se concentrarán en un formato especial para cada tipo de red, y una copia de este formato deberá enviarse con esa periodicidad al área de informática, la cual junto con las diversas oficinas y reducciones tamaño carta de los planos donde estarán marcados los cambios necesarios, realizarán las correcciones.

El área de informática deberá crear un sistema para registrar las correcciones en cuanto se reciban, y un sistema para difundirlas en las oficinas que manejen esa información.

Las realizarán las modificaciones, se imprimirán semestralmente las versiones corregidas y se enviarán a las oficinas delegacionales o de operación que les competan.

II. Actualización de elevaciones de bancos nivel oficiales.

En las zonas donde se presenten hundimientos regionales y diferenciales, será importante programar una verificación anual de los bancos de nivel de apoyo (**figura 5.9**), el cual resulta útil para actualizar los planos de drenaje, ya que aunque no se conocerá exactamente el movimiento o cambio de pendiente de cada tubo, se podrán inferir las zonas donde han ocurrido, o es probable que ocurran, reducciones importantes en la capacidad de conducción.

Dando como un hecho que se contará anualmente con estos datos, el área de informática puede desarrollar un sistema para diagnosticar las zonas más afectadas por los hundimientos y su repercusión en las capacidades de conducción.

Esto se haría con una base en los bancos oficiales en que se apoyó el levantamiento de cada parte del plano de la red, sus cotas anteriores y actuales, y los hundimientos diferenciales de otros bancos en el entorno.

Por otra parte, un procedimiento análogo puede emplearse durante los trabajos de levantamiento y nivelación directa de los pozos, ya que las ligas que se hagan a bancos oficiales del organismo operador serán de utilidad, sin necesidad de esperar la verificación anual que se apuntó antes.



Fig. 5.9 Inspección de bancos de nivel oficiales.

III. Actualización del estado de conservación de las cajas.

Al finalizar un contrato de levantamiento, no deben existir pozos de visita ocultos o azolvados, ni cajas de válvulas ocultas o inundadas; por esto no se especifican, en la entrega final, algún plano del estado de conservación de estos elementos.

Por otro lado, en caso de requerirse esa información, estará en los reportes de avance y en la información de apoyo a las estimaciones administrativas de cada contrato (**figura 5.10 y 5.11**)

IV. Modificaciones o ampliaciones por obras.

Este tipo de actualización será necesario cuando se efectúen obras de expansión de la red hacia nuevas zonas, ampliaciones de diámetros o construcción de nuevos elementos de infraestructura (tanques de almacenamiento o plantas de tratamiento, entre otras).

En este caso, la oficina encargada de la construcción tendrá la obligación de enviar los planos y reportes de obra terminada.



Fig. 5.10 Inspección en una caja de válvulas



Fig. 5.11 Renivelación de un pozo de visita.

Esta información puede ser solicitada al constructor como requisito indispensable para el finiquito o cierre administrativo de su contrato.

El análisis y procesamiento de la información puede ser realizada por el personal de trabajo social, ya que solo requiere mantener abiertos los canales de comunicación permanentes entre el organismo operador y las oficinas de construcción, operación y mantenimiento del sistema hidráulico, para contar oportunamente con la información requerida para mantener actualizados los planos con información hidráulica.

Los planos del proyecto nunca deberán entregarse como infraestructura existente, a menos que se haya confirmado su construcción de acuerdo al proyecto.



Fig. 5.12 Vista del detector de metales en funcionamiento, con la finalidad de encontrar modificaciones o ampliaciones en la red, que no estén registradas en planos.

CONCLUSIONES

No cabe duda que los fenómenos, tanto naturales como sociales, han aleccionado a los gobiernos en mucho lugares alrededor del mundo, las dos guerras mundiales en Europa el siglo pasado por ejemplo, dejaron tal devastación, que para los trabajos de reconstrucción quedó claro que era necesario tener un control eficaz de los recursos y así poder iniciar con el reordenamiento de las ciudades.

Paulatinamente, esta necesidad creció y la tecnología empleada para satisfacerla fue evolucionando hasta dar paso a los Sistemas de Información Geográfica, que han tenido desde su creación en Canadá en 1962, particular importancia en las últimas décadas, fundamentalmente en Europa y países como Canadá, Estados Unidos y Australia.

En estos lugares se han implementado tanto en el ámbito público como privado, a tal escala que las instituciones bancarias son participes de esta actividad, ya que el conocimiento de esta información está encaminado a la planeación de estrategias de mercado y sus reglamentaciones correspondientes.

En México, sin embargo, no se ha logrado aún un desarrollo sólido de esta tecnología, ya que actualmente no tiene las aplicaciones suficientes como para representar una alternativa inmediata a las necesidades de crecimiento.

Esta demora se ha visto plasmada en los retrasos y deficiencias que ha tenido nuestro país en infraestructura urbana, ya que a lo largo de la historia, la información geográfica ha sido fundamental en la planeación y construcción de estos proyectos.

No obstante en México, por ejemplo, el conocimiento de la información básica no ha sido suficiente, por lo que aún estamos en el proceso que nos llevará a lograr avances considerables en la aplicación de esta tecnología, lo cual es fundamental, ya que actualmente estamos viviendo problemas producto de la inadecuada planeación en proyectos de infraestructura.

Por esto creo que, sin ser tendencioso, podría afirmar que errores y sus consecuencias en este rubro pudrían haberse evitado con el conocimiento necesario de las condiciones geográficas del país.

A manera de ejemplificar lo anterior, podría citar el problema del abastecimiento de agua potable en la zona conurbana de la Ciudad de México.

Todo esto se debe a que nuestros principales recursos de alimentación y mantos acuíferos se encuentran entre los 0 y 500 m sobre el nivel medio del mar, sin embargo nuestra principal concentración de población se ubica a 2,200 m de altitud.

La zona metropolitana de la Ciudad de México alberga el 20% de la población total del país, lo cual pone en evidencia los débiles intentos descentralizadores que no han logrado modificaciones significativas.

En el otro extremo, la dispersión de la población en decenas de miles de pequeñas comunidades hace económicamente incostrable la dotación de servicios básicos a nivel regional.

Esta situación ha generado una serie de problemas sociales, económicos y administrativos, que retan y vencen a los mejores esfuerzos para resolverlos; lo mismo el transporte, la dotación de agua y la seguridad pública.

El abastecimiento de agua potable en la zona metropolitana de la Ciudad de México constituye quizá, uno de los mejores ejemplos de la *lógica antigeográfica* aplicada a nuestras soluciones, por lo que la discutiremos brevemente.

Para satisfacer a la población, se requiere una dotación de 1,800 millones de metros cúbicos, por otro lado, las precipitaciones en la cuenca del Valle de México son anualmente del orden de 6,500 millones de metros cúbicos aproximadamente.

Sin embargo, no hacemos nada por conservar el agua que tanto necesitamos y que ya subió 2,200 m de altitud a los que se encuentra la ciudad, y el agua de lluvia que bien podría permanecer alta, regando los mantos y depósitos naturales, por el contrario la mandamos por el gran tubo del drenaje profundo y para conseguir el líquido necesario recurrimos a cuencas vecinas de las cuales la traemos mediante enormes proyectos hidráulicos a costos demasiado elevados, afectando social, económica y ecológicamente a las regiones que tienen la desgracia de ser vecinas de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Este y otros problemas nos hacen sentir que las posibilidades de desarrollo dependerán en gran medida de la calidad, suficiencia, operatividad y claridad de la información con que contemos para alimentar el proceso de toma de decisiones para el cambio.

Actualmente, un intento por descentralizar la actividad económica en la Ciudad de México, es la construcción del nuevo aeropuerto, que tentativamente podría llevarse a cabo en Texcoco, Estado de México, o Tizayuca en Hidalgo.

En ambos casos se han efectuado estudios y proyectos en áreas geológicas, ecológicas, económicas, climatológicas y de factibilidad que establezcan las posibilidades de satisfacer las necesidades propias que requiere el sustentar este tipo de infraestructura, y de los habitantes, principalmente de la Ciudad de México.

Particularmente, me inclino por Tizayuca, ya que sus condiciones de distancia, orografía, topografía, representa una alternativa real que por un lado, dará un impulso económico a esa región, y por otro representará una disminución considerable de contaminantes y caos vehicular en la Ciudad de México.

Texcoco no obstante, representa la típica zona lacustre y arcillosa que requiere de procesos más complejos y económicamente más elevados para lograr la estabilidad suficiente; Además por su cercanía al actual aeropuerto, sería absorbido rápidamente por la mancha urbana que está en constante crecimiento.

En contraste con el auge que en este momento tienen las telecomunicaciones y el desarrollo de la tecnología digital, y en comparación con otros años, la industria de la construcción está viviendo una recesión en nuestro país.

Sin embargo, la formación que nos brinda la Ingeniería Civil, nos pone frente a frente con la situación real de México, y no nos permite dar la espalda al compromiso que nos obliga a abandonar los posiblemente egoístas, espacios institucionales o personales, y ventilar franca y responsablemente los problemas que nos afectan.

Día a día comprobaremos que se postergan soluciones del desarrollo nacional, por la carencia de información suficiente y oportuna.

Problemas como el de la tenencia de la tierra en el medio rural o urbano, la dotación de los servicios básicos de agua potable, alcantarillado y pavimentación, la planeación del desarrollo urbano y la producción agropecuaria tropiezan una y otra vez con el hecho de que las bases de información son insuficientes y no correlacionales.

En síntesis, podríamos decir que a la fecha el país aún no cuenta con un sistema de información integrado, capaz de alimentar adecuadamente el proceso de toma de decisiones requerido para

lograr el nivel de desarrollo que reclama la población, cada vez con mayor urgencia.

Como mencioné anteriormente, los Sistemas de Información Geográfica no se encuentran en una situación muy privilegiada, no obstante México dispone actualmente de buenas armas (aunque no suficientes) de información que podrían ser utilizadas en la implementación de un Sistema Nacional de Información Cartográfica.

Este Sistema deberá abarcar las características físicas de nuestro territorio, redes hidráulicas, redes eléctricas, redes telefónicas, reserva territorial, servicios públicos, servicios sociales, vialidad, comunicaciones y transportes, etc.; para lograrlo se cuenta con la siguiente información:

- El país está cubierto con fotografía aérea escala media 1:50,000 a 1: 70,000.
- La carta topográfica escala 1:50,000 está terminada para todo el territorio nacional (a nivel edición provisional).
- Las principales ciudades de cada estado están cubiertas por ortofotos y en proceso el cubrimiento total escala 1: 50,000.
- La carta catastral y su base de datos funcionando en algunas ciudades importantes del país escala 1: 1,000.
- México tiene gran capacidad instalada para la ejecución de estudios geográficos tanto a nivel público como privado, incluyendo personal altamente capacitado y equipo moderno y suficiente.
- Se han experimentado metodologías, consiguiendo importantes éxitos y graves fracasos, y de ambos se puede aprender.

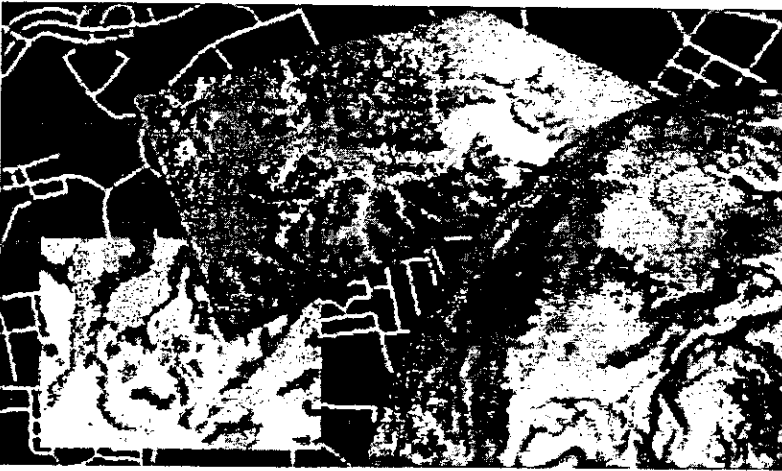
Creo que ya es tiempo que aprendamos a conocer y aprovechar los recursos de nuestro territorio, por medio del conocimiento detallado y una cultura dirigida a toda la población del país y no solo a una minoría técnica.

No podemos continuar con los actuales enfoques de dispersión e inercia en los procesos de producción de la información geográfica nacional, ya que si no se integran las necesidades de información junto con el inventario de lo ya elaborado, no será posible construir un eficaz sistema nacional.

La comunicación entre productores y usuarios es fundamental, ya que así se dispersan las confusiones y se conoce la demanda real, y así se logrará concebir a la información geográfica como un recurso estratégico.

Cabe aclarar que esta tarea no es labor de una sola institución, secretaria o sector económico, ya que la labor implica la construcción de un sistema de información a la medida de un país en desarrollo sin serlo, un sistema que nos permita inventariar y defender nuestros recursos para aplicarlos a la solución de nuestros problemas.

Existe la capacidad, creatividad y energía, solo hace falta la decisión de actuar. Hemos de entender que esta será una decisión de cada día y en cada frente de trabajo, lo que implicará en ocasiones sacrificar intereses personales y así vencer el rezago con los recursos con los que contamos.



México tiene las posibilidades técnicas para desarrollar y aplicar los Sistemas de Información Geográfica, los cuales representa una verdadera posibilidad de crecimiento para nuestro país.

BIBLIOGRAFIA.

1. Cartografía y Levantamientos Urbanos

Teodor J. Blachut
Adam Chrzanowski
Jouko H. Sastamoinev
Ed. Springek-Verlag New York Inc. 1979

2. Understanding the Navstar GPS, GIS and IVHS

Tom Logsdon
Ed. Van Nostram Reinhold, 2da edición.

3. GIM International

The Worldwide Magazine For Geomatics
March 2001, volume 15
Gitc Publication

4. Geographic Information System

A guide to the technology
Jonh C. Antenucci
Peter L. Croswell
Michael J. Revany
Ed. Van Nostram Reinhold, 2da edición.

5. Fundamentos de Fotogrametría

Uso de Materiales Aerofotográficos
Bernard Herrera
Universidad Autonoma de Chapingo
Ed. Limusa. Noriega Editores
México 1987

6. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Juan Antonio Martínez Rosique
José Miguel Fuster Escuder
Universidad Politécnica Valencia
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones
Edita Servicio de Publicaciones
España 1995

7. Manual para el Levantamiento de las Redes Hidráulicas en Áreas Urbanas y Especificación Técnica para la Elaboración del Sistema de Información Geográfica

Comisión Nacional del Agua (CNA)
Coordinación de Asuntos Fronterizos (CAF)

8. Folleto de Informativo (SINFA)

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)
Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA)
México, Octubre 2000.

9. Manual del Programa Modular de Fotografía (ALBANY)

Sistemas de Información Geográfica S.A. de C.V. (SIGSA)
San Francisco 1375, Col. Del Valle 03210
México D.F.

10. Cámara para Fotografía Aérea (Wild RC20)

Manual Técnico y de Instrumentación
Fotogrametría Internacional Struck
Suiza 1999