



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía

“Elaboración de la primera carta geográfica por
métodos fotogramétricos para la
República Mexicana escala 1:500 000”

Tesis que para obtener el título de
Licenciado en Geografía
presenta:

Juan Daniel Márquez Mendoza

Asesor: Dr. Jorge Caire Lomelí



México, DF. Agosto 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos

" . . . En primer lugar quiero a agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad brindada para mi formación profesional en esta máxima casa de estudios. Al mismo tiempo agradezco a todos los profesores del Colegio de Geografía que durante todos estos años han compartido sus conocimientos y sus experiencias con los estudiantes. Gracias por el valioso esfuerzo que realizan en beneficio de nuestra formación!!! . . . "

" . . . Agradezco enormemente al Dr. Jorge Caire Lomeli, por haber asesorado este trabajo de tesis. Dr. Muchas gracias por la paciencia, la dedicación y los consejos profesionales y personales que ha tenido para con mi persona, es un honor y un orgullo haber compartido con usted estos años de mi vida . . . "


" . . . A los profesores Mtra. Eurosia Carrascal, Geogr. Gabriel Caire, Geogr. Ana Elsa Domínguez e Ing. Marcos Hernández, les doy mis más sinceros agradecimientos por las sugerencias y opiniones vertidas en este trabajo. Las críticas constructivas no solo nos ayudan a crecer como profesionales sino también como personas . . . "

" . . . Un agradecimiento muy especial al Geogr. Enrique Muñoz, por la oportunidad que me ha brindado para desarrollarme en el ámbito profesional. Jefe muchas gracias por haber creído en mi . . . "

" . . . Asi mismo agradezco a Rotograf por haberme apoyado en el diseño y en la elaboración de mis trabajos a lo largo de toda mi carrera.
Javier muchas gracias por todo. . . "

" . . . Y por último y no por esto menos importante, agradezco a Dios por haberme dejado cumplir uno de los tantos sueños que tengo en esta vida . . . "

Dedicatorias



“ . . . Este trabajo esta dedicado principalmente a las dos personas más grandes en mi vida, esas personas que gracias a su enseñanza, apoyo y paciencia, han propiciado que llegue a culminar una de las metas más anheladas dentro de mi proyecto de vida, ellos que supieron encaminarme hacia algo bueno y productivo, ellos que siempre estuvieron a un lado de mi cuando más los necesitaba, ellos que siempre apoyaron todas las locuras que se me ocurrían, ellos que siempre me dieron todo y nunca me pidieron nada a cambio, ellos que me enseñaron a luchar y a vencer las adversidades que la vida te pone. Papá!!! Mamá!!! Gracias por todo, los amo mucho . . .
.!!! ”

“ . . . A mis hermanos Erika, Ale, José Luís, y Michelle, por que sin sus comentarios y sus críticas este trabajo no hubiera sido posible. Gracias hermanitos!!! Por que se que este triunfo es tan mío como de ustedes. Sin olvidar a Mara, Ivonne, Eliud y Netzahí, los latosos de la casa. . . ”

“ . . . A Belén el amor de mi vida y Mariana “la enana”, por que se que el día de mañana podremos cosechar los frutos que ahora estamos sembrando. Gracias “flaca” por echarme porras en los momentos en que sentía que ya no podía. Te amo mucho!!! . . . ”

“ . . . Por supuesto no podían faltar mis amigotes: Erick “ebrick”, Carlos “dogo”, Luís “limón”, Eduardo “palencia”, José Luís “Chamoy”, Erick “negro”, Juan Carlos “cacho”, Armando “gordo”, Alfonso “poncho plus”, Filiberto “fili”, José Gumersindo “gume”, Francisco “paquito”, Daniel “tocayo”. Esto va por ustedes y por todos los momentos agradables que hemos pasado juntos . . . ”

“ . . . Y mis amigas: Arelí, Carmen, Karla, Laura, Maribel, Nancy, Nelly, Paty, Verónica, por que han formado parte de esta historia que todavía sigo escribiendo. . . ”

Introducción

I. Desarrollo histórico de la fotogrametría

La fotogrametría en el mundo

Etapa analógica

Etapa analítica

Etapa digital

La fotogrametría en México

Antecedentes de la carta 1:500 000

Trabajos por administración

Trabajos por contrato

II. Bases para la construcción de una carta geográfica

La estereoscopia

La Fisiología del ojo

La Estereoscopia natural

El paralaje

La Estereoscopia artificial

El estereoscopio

Formas de visión estereoscópica artificial

Cámaras métricas

Elementos de una cámara métrica

Ángulo de cubrimiento

El vuelo fotogramétrico

Elección de la escala de la fotografía

Altura del vuelo

Sobreposición y recubrimientos

Geometría del vuelo

Mapa índice

Factores que afectan la calidad aerofotográfica

Efectos de giro, ladeo, cabeceo y deriva

Programación del vuelo fotogramétrico

Control terrestre

Triangulación radial

3. La expresión cartográfica

La Planimetría

La Rectificación

Los fotomosaicos

La Ortofotografía

Representación planimétrica

La Altimetría

El Paralaje estereoscópico

Principio de la marca flotante

La barra de paralaje

Método para la obtención de cotas

Método General

Perfil de puntos principales
Método por desplazamiento del relieve
Método por diferencia de paralajes
Configuración del relieve por medio de curvas de nivel
Cuadrícula Universal Transversa de Mercator
Edición de la Carta
Características generales de la nueva Carta
4. Sistemas lidar
¿Qué es un Sistema Lidar?
Aplicaciones Lidar
Lidar en México
Características del LH Systems ALS40
Conclusiones
Glosario
Bibliografía

Introducción

La Cartografía es la más científica de las artes y la más artística de las ciencias (Paul Theroux). "La humanidad ha inventado tres grandes formas de comunicación: el idioma, la música y los mapas. Pero la más antigua de las tres es la Cartografía" (The Times. 1992).

La ciencia geográfica analiza los hechos y fenómenos que se presentan sobre la superficie terrestre, así también advierte sus causas, consecuencias, cualidades, cantidades e interrelaciones.

Uno de los postulados metodológicos de la Geografía hace mención al conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra con el fin de establecer de manera precisa las interrelaciones entre los hechos y fenómenos que constituyen el paisaje geográfico, medio que el geógrafo se encarga de plasmar de manera gráfica en los mapas, cartas y planos. La Asociación Cartográfica Internacional define el concepto de mapa como "la representación convencional gráfica de fenómenos concretos o abstractos, localizados en la Tierra o en cualquier parte del Universo" (Sánchez. 2005).

Un plano desde el punto de vista cartográfico, es la representación de una superficie suficientemente limitada para que se haya prescindido de la curvatura de la Tierra en su elaboración, en el que se consideran escalas muy grandes donde las diferencias entre lo real y lo representado son mínimas, las coordenadas pueden ser arbitrarias, y no existe convergencia de paralelos y meridianos, normalmente son utilizados para cuestiones urbanas. En cambio en un mapa o una carta, se toma en cuenta la curvatura de la Tierra, se considera que esta es esférica por lo que esta proyectada a una determinada figura geométrica, se encuentran referidos a un sistema de coordenadas ya establecidos, existe la convergencia de paralelos y meridianos, y se toma el plano de referencia al nivel medio del mar. La diferencia entre una carta y un mapa, es que la carta pertenece al fraccionamiento de un todo, y en el mapa se representa la superficie en un solo documento.

Siendo la Cartografía la principal herramienta con la que cuenta el geógrafo para representar los fenómenos físicos y sociales que se desarrollan sobre la superficie terrestre, es sumamente importante que conozca los procedimientos que se deben seguir para la elaboración de cualquier documento cartográfico, en este caso identificar las principales etapas en la construcción de una carta geográfica por métodos fotogramétricos.

La Fotogrametría es la ciencia orientada a la obtención de información de procesos físicos y sociales que se desarrollan sobre la superficie de la Tierra, a través de procesos de medición e interpretación de imágenes fotográficas. Para la elaboración de cualquier mapa es necesario obtener la mayor cantidad de información posible, una fotografía aérea permite extraer gran parte de la información que se necesita para la realización del mapa, complementándose con datos topográficos, geodésicos, toponímicos, etc.

Partiendo de lo anterior se puede decir que la Fotogrametría es una de las principales ciencias auxiliares de la Cartografía, si bien es cierto que las técnicas que se usan en la Fotogrametría sirven para diferentes usos como el agropecuario, forestal, geológico, geográfico, económico, social, ecológico y últimamente para la salud (ante los problemas de contaminación ambiental), la principal aplicación de esta ciencia es la realización de mapas.

En un principio el levantamiento de la información para hacer un mapa se realizaba de una forma directa, diversas expediciones eran las encargadas de recopilar la información en campo, de acuerdo con las observaciones y mediciones que se hacían en el propio terreno, los datos obtenidos eran plasmados en un mapa con un grado de exactitud inferior de los que se conocen actualmente.

Para la elaboración de un mapa por métodos fotogramétricos, se requiere seguir una serie de procedimientos que van desde la extracción de información sobre la zona de estudio, pasando por métodos como la planeación del vuelo, obtención de fotografías aéreas, localización de puntos de control dentro de las fotos, planimetría, altimetría, hasta la representación final del mapa.

Con los avances tecnológicos, los procesos para la elaboración de mapas también fueron evolucionando a tal grado que hoy en día una simple imagen de satélite puede brindar mucho más información que la que se podría obtener en los métodos puramente terrestres. Los instrumentos utilizados en las técnicas para la elaboración de mapas, han sufrido grandes cambios con el correr de los años, algunos de estos han sido benéficos para cuestiones sociales aunque la mayoría, sobre todo en la Fotogrametría, han sido el resultado de acontecimientos bélicos.

En México la Fotogrametría comienza a ser utilizada por el Departamento Cartográfico Militar, que en ese entonces era el organismo encargado de realizar la cartografía a nivel nacional, aunque algunas secretarías elaboraban sus propios mapas.

Por mandato presidencial, a finales de los años cincuenta se ordena construir una serie de cartas que abarquen todo el territorio nacional con la finalidad de obtener un inventario acerca de los recursos naturales, económicos y sociales que tenían México en ese entonces, es así que se crea una Comisión Intersecretarial encargada de dirigir y coordinar la elaboración de dichas cartas, en donde participan todas las secretarías de estado y algunas dependencias no gubernamentales como la UNAM.

Este trabajo fue realizado bajo estrictas reglas y sobre todo siguiendo una metodología puramente fotogramétrica, que en ese momento era el procedimiento más exacto para obtener información acerca del espacio geográfico por medio de imágenes obtenidas desde aviones.

En el presente estudio, se desglosa paso a paso la elaboración de dicha carta, se trata de estudiar cada una de las etapas empleadas en su construcción, con el propósito de identificar los principales aspectos del método fotogramétrico. Se parte desde una breve reseña histórica en la que se muestran las etapas de evolución de la Fotogrametría a nivel mundial y el impacto que ha tenido en las técnicas para la elaboración de cartografía en el país. Así mismo se explica la forma de trabajo empleada en la construcción de la primera carta para la República Mexicana escala 1:500 000.

Se explican, para un mejor entendimiento del trabajo, las bases en las que descansa la Fotogrametría, explicando las condiciones fisiológicas con las que cuenta el ser humano para poder realizar una visión estereoscópica, y de ahí conocer el proceso paso a paso de la construcción de una carta.

Finalmente se muestra un ejemplo de la aplicación de la Fotogrametría en la actualidad. Las técnicas y los instrumentos empleados a nivel mundial para la obtención de cartografía mucho más precisa y las aplicaciones que se tienen de este tipo de procesos en México.

La finalidad de este documento, es la de crear conciencia entre los estudiantes de geografía para que se adopte un conocimiento mucho mayor acerca de la cartografía, debido a que muchas veces solo se concretan a utilizar los mapas o plasmar información en ellos de una manera tan somera que nunca se detiene a investigar mediante qué métodos se elaboró el mapa que está usando. Como geógrafo resulta indispensable y de carácter obligatorio el tener nociones claras y precisas sobre los métodos que se emplean en la construcción de una carta geográfica.

La metodología empleada fue la que se utilizó en los años de 1956 a 1958, por la entonces llamada "Comisión Intersecretarial Coordinadora del levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana". Aunque los trabajos realizados por dicha comisión se dividieron en dos partes (Trabajos por Administración y Trabajos a Contrato), en el fondo todas las cartas de esta serie se trabajaron de la misma manera.

Capítulo I

Desarrollo histórico de la Fotogrametría

1.1 La Fotogrametría en el mundo.

La Fotogrametría y la fotointerpretación surgen de la disponibilidad de imágenes fotográficas, que pueden ser utilizadas tanto con fines cualitativos (cuando se interpreta el carácter de las imágenes), como cuantitativos o métricos. La disponibilidad de estas imágenes fue gracias a una evolución científica y técnica que datan de fechas anteriores a ellas, así que es pertinente considerar que los orígenes de ambas disciplinas se encuentran en descubrimientos y trabajos como se describen a continuación:

La evolución de la Fotogrametría se puede dividir principalmente en tres etapas:

- a) Etapa Analógica: abarca desde los años 1839 a 1970, es un período caracterizado por la utilización de instrumentos analógicos, donde no se daban procesos de producción automatizados, y las medidas y dibujos se realizaban por operadores humanos.
- b) Etapa Analítica: aunque su base teórica data del año 1957, fecha de la invención del restituidor analítico, no es sino hasta 1970 cuando se acepta esta etapa. Se desarrollan muchas técnicas y nace la Fotogrametría asistida por computadoras. Aborda la resolución informatizada de los cálculos fotogramétricos, utilizando como información de entrada las medidas realizadas sobre la fotografía en formato analógico.
- c) Etapa Digital: conocida por la utilización de instrumentos digitales, la Fotogrametría Digital desarrolla las mismas funciones que un restituidor analítico, proporciona la posibilidad de realizar procesos semiautomáticos y automáticos de las tareas fotogramétricas operando sobre las imágenes de satélite o fotografías digitales.

1.1.1 Etapa Analógica

El estudio de la fotografía es muy amplio y muy antiguo, se piensa que el primero en hacer algunos estudios sobre este tema fue Aristóteles, quien en el año 350 a.C. encontró que la trayectoria de los rayos luminosos es rectilínea y que la imagen del Sol resulta circular, aún cuando se proyecte a través de un orificio cuadrado. Euclides en el año 300 a.C. estudió el fenómeno de la refracción, y Platón menciona este acontecimiento en su obra titulada "La República". R. Snell y Renato Descartes, en los años de 1631 y 1637, determinan las leyes de la refracción, cada uno lo hizo por separado (Caire. 1977).

En 1725, se tienen los primeros indicios de la utilización de perspectivas con fines cartográficos, M. A. Capeller, en Suiza, había realizado por un método similar al de intersecciones de la Topografía, un dibujo sobre el Monte Pilatos (Lucerna, Suiza). Estas perspectivas fueron construidas con un procedimiento ideado por el pintor alemán Alberto Durero (1471-1528) en el siglo XVI. Como es de imaginar la serie de imprecisiones en estos trabajos eran muy elevadas para utilizarse en la cartografía. Capeller no pudo perfeccionar su procedimiento y su idea no tuvo mayor relevancia (Lehman. 1975).

Las primeras fotografías impresas que se conocen, aparecieron en el año de 1839, estas se tomaron con una cámara de eje horizontal, hecho que da lugar al inicio de la Fotogrametría Terrestre, su autor fue el francés Jacques Daguerre (1787-1851), y este tipo de imágenes recibieron el nombre de "daguerrotipos" sin embargo debe compartir créditos con William Herschel (1738-1851), quien en 1819, descubrió los hiposulfitos y su capacidad para disolver el cloruro de plata. Al mismo tiempo que se imprimen estas fotografías, se construyen los primeros aparatos con características estereoscópicas de la marca Wheatstone. Fue una caja con espejos y dos orificios que permitían observar relieves en grabados y fotografías. Elliot en el año de 1834, obtuvo una serie de imágenes estereoscópicas, con ayuda de una caja provista de dos orificios a la distancia de los ojos y una agujero central en la cara opuesta, a través del cual pasaban los rayos luminosos procedentes de los grabados, los que al cruzarse en el interior de la caja daban la sensación de relieve. Aunque debe de otorgársele todo el crédito a David Brewster (1781-

1868), quien en el año de 1844 construyó los primeros estereoscopios con prismas y lentes (Lehman. 1975).

A partir del año 1849, la Fotogrametría adquiere un carácter relevante, es el coronel francés Aimé de Laussedat (1819-1907), a quien debe considerarse como el verdadero fundador de ella, aunque él la haya llamado "Metrofotografía" (Lujan. 1991). Realizó importantes estudios sobre la utilización de fotografías con fines métricos. Fue el primero en construir un aparato apropiado para los levantamientos fotogramétricos y elaboró el primer método de restitución. Este se funda en la utilización de fotografías de un objeto, obtenidas desde los extremos de una base, de las cuales es posible deducir dos direcciones por cada punto que se va a determinar y cuya intersección fija el punto, lográndose así la restitución completa del objeto fotografiado por el conjunto de todos sus puntos. (Caire, Jorge. 1977). Estudió las fotografías matemáticamente como proyecciones perspectivas, esto aceleró su aplicación en la Topografía. Todos los estudios y trabajos que realizó, fueron publicados en su obra llamada "Recherches sur les instruments, les méthodes et le desin topographiques" en 1868, donde describe sus investigaciones, ideas y proyectos acerca de la Metrofotografía.

En esos mismos años pero en Alemania, Koppe ideó un método fotogramétrico basado en intersecciones, aunque no resultó del todo práctico sirvió para establecer las bases de la Fotogrametría actual. Siguiendo los trabajos de Koppe, von Albrecht Meydenbauer (1834-1921) en 1858, utilizó pares estereoscópicos para el levantamiento de obras arquitectónicas, las fotografías utilizadas eran de carácter horizontal y presentaban facilidad para utilizar el método de intersecciones. Algunos autores siguieron este método, aunque al aplicarlo con fotografías verticales encontraron dificultades debido al volumen considerable de cálculos necesarios para cada trabajo (Blachut. 1987).

Si bien los procedimientos de Laussedat y Meydenbauer significaban todo un adelanto, ambos chocaban en algún momento con un grave problema: la identificación de un mismo punto en ambas fotografías. En el caso de los edificios que revelaba Meydenbauer, el problema no era tan grave debido a la gran cantidad de puntos que se podían reconocer en las fachadas, pero en el caso de los paisajes se tenía mayor dificultad.

Mucho antes de la aviación, y aún antes de intentar tomas aéreas desde globos o dirigibles, se hicieron ensayos con fotografías desde las parte más altas de las laderas escarpadas. La similitud entre las tomas aéreas y un mapa resultaba muy atractiva. En 1867, el austriaco Theodor Scheimpflug (1865-1911), comenzó sus importantes trabajos sobre rectificación, técnica que con el correr del tiempo adquiriría gran difusión, y en 1898 sentó las bases de la idea de la proyección doble (Blachut. 1987).

En Italia, Paolo Ignazio Porro (1801-1875), desarrolla una cámara en la que se emplea el principio panorámico al fotografiar gran parte de la superficie visible de cada estación (Ruiz. 2003).

Carl Pulfrich (1858-1927), había tenido una activa participación en el diseño del *Telemetro Estereoscópico*, el cual incluía en los planos, imágenes del anteojo binocular, las semimágenes de la escala estereoscópica de Rollet y conocía, además, la propuesta de Stolze (1892) de desplazar micrométricamente cuadrículas sobre fotografías estereoscópicas, logrando de esta manera que la imagen fusionada estereoscopicamente de las dos cuadrículas se percibía como moviéndose en profundidad (Lujan. 1991).

En 1901, Carl Pulfrich, en Jena, Alemania, construyó un restituidor denominado estereocomparador, este instrumento permitió eliminar el problema de la identificación de puntos homólogos y permitió la medición de coordenadas y paralajes con una alta precisión, esto marcó uno de los hitos fundamentales de la Fotogrametría. En este instrumento se procesaban fotogramas terrestres tomados con los ejes de ambas cámaras paralelos entre sí y perpendiculares a la base o, en todo caso, ejes paralelos entre sí y con una cierta desviación con respecto de la perpendicular de la base, las coordenadas de un punto se realizaban mediante operaciones sencillas, el dibujo del mapa se hacía de la misma manera que si esos puntos hubieran sido obtenidos por procedimientos de la Topografía, con una buena cantidad de puntos aislados, se interpolaban las curvas de nivel y además rasgos cartográficos (Sifuentes. 1997).

El estereocomparador significó un gran avance en esa época, sin embargo no permaneció estático, y el aparato por sí mismo era una gran invitación a ser perfeccionado y convertido en un instrumento que superara las dificultades del tedioso y lento dibujo de punto por punto.

Así fue como en el año de 1914, la casa Zeiss pudo construir con todo éxito el aparato diseñado por Eduard Von Orel (1877-1941), que iba a cambiar la Fotogrametría de manera radical. El estereoautógrafo de Von Orel, estaba diseñado sobre la base del estereocomparador de Pulfrich al que se acopló un dispositivo de regletas mecánicas que transmiten los valores de las coordenadas puntuales de los fotogramas. Este instrumento fue el primero en permitir el trazo continuo de los rasgos cartográficos, especialmente de las curvas de nivel, lo cual posibilitaba una representación del relieve más apegada a la realidad, que la que brindaban los anteriores procedimientos por interpolación, pero además la velocidad con la que podía realizarse la cartografía del terreno, colocaba a la nueva técnica fuera de toda comparación con la lenta y costosísima tarea topográfica tradicional (Valdés. 1981).

Aunque muchos autores a lo largo de toda la historia coinciden en que el estereoautógrafo fue un instrumento que revolucionó la forma de hacer la cartografía (la utilización de fotogrametría terrestre) por la automatización en el trazado de las cartas, las grandes esperanzas depositadas en este instrumento no llegaron a cumplirse, debido principalmente a dos factores: 1) durante la Primera Guerra Mundial se comprobó la inutilidad de este método para cuestiones militares y 2) el hecho de que el procedimiento solo es posible cuando se pueden encontrar estaciones de tomas fijas con vistas libres y favorables al terreno a relevar. Este es el caso solamente en las montañas, pero no en regiones llanas como sucede en tierras cultivadas y cultivables. (Finsterwalder, R. 1952)

En 1915 Oscar Messter, en Alemania, construye la primera cámara para tomar fotografías en serie y Gasser, con las ideas de Scheimpflug, construyó su proyector doble (Doppelprojektor), que puede considerarse como el primer aparato restituidor apto para fotografías aéreas con un buen funcionamiento (Finsterwalder, R. 1968). La observación

de las imágenes proyectadas en la mesa medidora se hacía por el método anaglífico (Caire. 2003).

En 1920 Umberto Nistri (1895-1962) construyó su Fotocartógrafo, también con el sistema anaglífico (Pérez.2006)

En 1921, Walter Bauersfeld (1879-1959) propuso una elegante solución para trabajar con el principio de Porro-Kope, con lo cual Zeiss construyó el estereoplanígrafo, en su época el estereoplanígrafo era el estereorestituidor más exacto (Burkhardt, R. 1987).

A partir de 1921, Hermenegildo Santoni (1896-1970) en Italia, retomó la proyección mecánica con su Autoreductor, al que le siguieron posteriormente toda una serie de diseños "... con abundancia de ingeniosas ideas, por ejemplo, la eliminación de los efectos de la distorsión de la lente, de curvatura terrestre y refracción" (Burkhardt, R. 1987).

La doble proyección dio pie a diseñar nuevos instrumentos, como el aerosíplex o el aerocartógrafo, ambos de Reinhard Hugershoff (1882-1941) en 1928; en esta misma fecha la marca Wild, de Suiza, construye el Autógrafo para la restitución automática de planos por observación de vistas fotográficas. A partir de estas fechas se elaboran nuevos métodos y procedimientos fotogramétricos para la aerotriangulación, cuyos principios se deben al Dr. Otto Von Gruber (1884-1942), este proceso reduce considerablemente el número de puntos de apoyo en la superficie terrestre (Pérez. 2006).

La fotogrametría aérea adquiere una rápida y formidable difusión con los aparatos restituidores analógicos. A pesar, en general, de su elevado precio, las fabricas principalmente europeas, los producen en gran número y los comercializan por todos los rincones del planeta. El camino abierto por el instrumento llamado estereoautógrafo, de Von Orel en la Fotogrametría Terrestre se ensanchaba considerablemente, y algo mucho más importante, la producción de mapas y planos de todo tipo se incrementaba ampliamente.

La modalidad analógica llegó a pesar profundamente en la Fotogrametría. Un ejemplo: hasta la sencilla fórmula de paralajes, empleada para calcular desniveles aproximados partiendo de diferencia de paralajes, había originado la construcción de un pequeño dispositivo mecánico que permitía obviar el uso de esa fórmula, que no resultaba práctica para el empleo de la regla de cálculo por la presencia de una suma en el denominador. Otro ejemplo: el genio de Hermenegildo Santoni no se agotó en el diseño de aparatos restituidores; también diseñó un ingenioso dispositivo que él designó "Periscopio Solar", mediante el cual se fotografiaba el sol con una cámara solidaria con la principal. Con la posición del sol en esa fotografía auxiliar era posible calcular los ángulos Ω y ϕ de la orientación exterior de la cámara principal. Como para ello era necesario conocer la posición del sol en el instante de toma, lo cual implicaba el empleo de fórmulas de la trigonometría esférica, cuyo manejo era ligeramente engorroso, Santoni inventó el remedio analógico.

En el esplendor de la etapa analógica, hasta se incubó otro lema, "Quien mucho calcula, piensa poco", citado por Karl Kraus para enfatizar el fuerte arraigo de los procedimientos analógicos, aun en la década de los sesenta cuando las computadoras, si bien incipientes, eran ya una realidad. Este lema iba más lejos que el de Von Gruber, que al fin y al cabo, sólo proponía evitar los cálculos, puesto que insinuaba que el fotogrametrista que se aventuraba a proponer métodos numéricos no hacía trabajar demasiado a su cabeza (Blachut. 1987).

1.1.2 Etapa Analítica

En 1943 aparece el primer ordenador. Durante las décadas de los cuarenta y cincuenta autores como Earl Church (1890-1956), Helmut Schmid y Duane Brown (1929-1994), siguiendo los trabajos de Sebastián Finsterwalder (1862-1951), desarrollan modelos para resolver el método fotogramétrico. Aparece una serie de mono y estereocomparadores que proveen las observaciones que en modo "off-line" entran en los algoritmos programados en las grandes computadoras (Julia. 2002).

Con el advenimiento de las computadoras el citado lema de Von Gruber pierde naturalmente toda vigencia. Mal puede mantenerse un arte basado en la eliminación de los cálculos cuando las computadoras permiten hacerlo a altísimas velocidades.

Sin embargo esta transición de la Fotogrametría Analógica a la Analítica fue muy lenta.

En 1957, el geodesta finlandés Uki Helava (1923-1994), diseña el primer restituidor analítico basado en la alimentación "on-line" de datos para algoritmos programados y por la realimentación recíproca desde el ordenador hacia las portaplacas de manera que se hace factible emular la capacidad operativa de las barras guía de los analógicos. Tenía un costo muy elevado, y es hasta los años ochenta cuando el precio de los restituidores analíticos comienza a ser más accesible dentro del mercado fotogramétrico, es entonces cuando gozan de una gran expansión forzando la extinción de sus predecesores.

El restituidor analítico, al no depender de dispositivos ópticos o mecánicos para la formación del modelo, trajo una sensible mejora en la precisión y, además, permitió el empleo de cualquier tipo de fotografías, o aun de imágenes no fotográficas. Los errores sistemáticos producidos por la distorsión de la lente, la variación dimensional de la película y los efectos de la refracción atmosférica y la curvatura terrestre podían ser fácilmente resueltos, y esto se convertía en otra ventaja importante. Aunque en realidad, la gran ventaja que presentó la Fotogrametría Analítica en ese momento no era por el restituidor analítico sino por el formidable cambio en las técnicas de Aerotriangulación.

La aerotriangulación analógica concatenaba los modelos de una pasada en los aparatos analógicos. Estos eran, o bien del tipo Multiplex con varios proyectores, o aparatos con paralelogramo de Zeiss, o algún otro dispositivo equivalente. La muy desfavorable propagación de errores tenía una cierta ventaja: el efecto de la doble sumatoria en los errores de transferencia hacía que (aún considerando que esos errores fueran accidentales), las deformaciones finales de la pasada tenían una apariencia sistemática. Estas deformaciones podían evaluarse mediante el empleo de puntos de control terrestre al comienzo, a la mitad y al final de cada pasada. La compensación era principalmente gráfica y consistía en dibujar parábolas que permitían interpolar las deformaciones en las

tres coordenadas para cualquier punto. La precisión de esos procedimientos era muy limitada porque no respondían a una verdadera compensación por mínimos cuadrados.

La evolución de la aerotriangulación analítica está caracterizada por muchos meandros, motor del cambio, en este caso la computadora, era algo que evolucionaba día a día. Una cosa era pretender resolver la compensación en bloque por un método riguroso con las computadoras de 1960 y otra muy distinta era hacerlo con las computadoras de 1990.

Evidentemente, la mejor solución era hacer la compensación en bloque por mínimos cuadrados según haces de rayos. Esta solución implicaba manejar sistemas de ecuaciones de un elevado número de incógnitas (6 por fotografía, es decir, 6000 para 1000 fotografías) y fue propuesta por Schmid en 1956. Su implementación requería una computadora monstruosa para la época. Douane Brown también trabajó con esta idea y desarrolló un programa que no estaba a la venta. El usuario debía enviar los datos y recibía los resultados, a un costo nada despreciable (Bonneval, H. 1972).

Por este motivo alcanzaron un auge importante algunas soluciones híbridas. En el instrumento analógico se formaban las pasadas y éstas eran luego procesadas por un programa de compensación en bloque por polinomios. De esta manera, el número de incógnitas se reducía drásticamente (entre 8 y 12 por pasada según el tipo de polinomio), con lo cual la compensación podía llevarse a cabo en computadoras no demasiado potentes y de costo accesible. Otra posibilidad muy empleada fue la de los modelos que eran medidos de manera independiente en el aparato analógico para ser concatenados luego por software para formar la pasada y continuar como en el caso anterior con la compensación por polinomios (Shut, G. H. 1977).

Estas soluciones, que no requerían computadoras onerosas, fueron muy empleadas durante la década de los setenta, y aún en la de los ochenta, a pesar de que no brindaban una solución rigurosa de acuerdo a mínimos cuadrados. En esto tuvo mucho que ver la generosidad de G. H. Schut, del National Research Council de Canadá, que puso sus programas gratuitamente a disposición de la comunidad fotogramétrica internacional.

Desde los años sesenta, Fritz Ackermann (1929-) consciente de que las empresas fotogramétricas, especialmente en la parte privada, no poseían estéreo ni monocomparadores, y de que, por lo tanto, no podían leer coordenadas en los fotogramas, propuso la compensación por modelos independientes, aquí también el número de incógnitas es muy alto (7 por modelo, aunque divididas en 4 y 3, por la separación entre planimetría y altimetría), pero las mediciones (coordenadas del modelo) podían hacerse en los aparatos restituidores analógicos. Los resultados eran bastante mejores que los de la compensación por polinomios y se aproximaban bastante a los de la compensación por haces de rayos. Era muy conocido el programa PATM del grupo de Ackermann de la Universidad de Stuttgart, que requería una importante computadora y que se comercializaba a un costo también importante en la década de los setenta (Ackermann, J. 1996). El empleo de esos programas quedaba, por tanto, restringido a grandes organismos cartográficos estatales o a empresas privadas de envergadura. Sólo a mediados de la década de los ochenta, y con el advenimiento de las computadoras personales, los programas de compensación en bloque por mínimos cuadrados adquirieron una difusión realmente importante. Su precio había descendido considerablemente y pasaron a formar parte del software opcional provisto al adquirir un restituidor analítico.

Los desarrollos de software para la compensación de la Triangulación Aérea marcan todo un hito en la historia del diseño y elaboración de técnicas fotogramétricas. Estos desarrollos comienzan a ser contribuciones importantes y las Universidades encuentran una nueva e interesante posibilidad en este terreno. En épocas de la Fotogrametría Analógica todos los avances se producían en el desarrollo de instrumentos y, por lo tanto, las contribuciones de grupos de investigación fuera de las grandes fábricas de instrumentos eran realmente exiguas.

1.1.3 Etapa Digital

La Fotogrametría ha sufrido en los últimos años importantes cambios con la utilización de imágenes digitales cuya disponibilidad y demanda es cada vez mayor. A este proceso han contribuido el continuo desarrollo y perfeccionamiento de los componentes utilizados en las computadoras y en las estaciones de trabajo, y sobre todo la posibilidad de la visión

estereoscópica en monitores adaptados en las computadoras. En este tiempo se asiste a la transición que lleva de los procesos analíticos a los digitales. La arrolladora evolución de la informática, especialmente a partir de 1980, que hizo posible, a un costo razonable, el almacenamiento de grandes cantidades de datos, y que redujo los tiempos de procesamiento a valores increíblemente pequeños, trajo como consecuencia la irrupción de los procedimientos digitales de la fotogrametría.

Este desarrollo se debe a la evolución de las áreas de conocimiento científico y técnico que afectan a la fotogrametría digital. Algunos de los factores que han producido este desarrollo son: avances importantes en las computadoras y estaciones de trabajo, aumento de velocidad de procesamiento, desarrollo de los sistemas de captura y tratamiento de imágenes digitales, descenso de los precios de productos informáticos, tanto en sus soportes físicos como lógicos, en relación con el alto precio de los instrumentos formados por elementos ópticos y mecánicos de precisión como el caso de los restituidores.

Los procesamientos digitales eran de uso corriente en la Teledetección desde la década de los setenta, pero la fotogrametría se había mantenido casi impermeable hasta bien entrada la década de los ochenta. Había un fuerte contraste entre el tamaño de un píxel en el terreno, del orden de un hectómetro que ofrecía la Teledetección, y las precisiones centimétricas de la posición de un punto en el terreno que la Fotogrametría obtenía rutinariamente en relevamientos con bajas alturas de vuelo.

Los procedimientos digitales poco a poco fueron introduciéndose en la Fotogrametría a principios de los años noventa, la transición que existió en un principio no fue tan agresiva debido a que los nuevos procedimientos estaban muy influenciados por la tecnología anterior. Las opiniones en ese entonces eran "un restituidor digital no difiere de mucho de un restituidor analítico" (Capan, G. 1996). Sin embargo pronto se comenzaron a advertir las grandes posibilidades del tratamiento digital y la agresividad no tardó en aparecer. Es así que en 1988, Helava ya sostenía que en Fotogrametría Digital la operación manual es la antitesis de la eficiencia; ella debe ser evitada (Helava, U. V. 1988).

El principio de funcionamiento de los instrumentos digitales es similar al de los analíticos. La transformación de la proyección cónica de la fotografía del sistema placa (x,y) a la proyección ortogonal (XYZ) de terreno se hace matemáticamente. A diferencia de los analíticos se emplean imágenes digitales en lugar de material fotográfico como negativos o diapositivas.

Ante la dificultad de montar cámaras digitales en aeronaves, la Fotogrametría ha venido empleando hasta ahora un procedimiento híbrido: obtención de fotografías con la cámara analógica tradicional y posterior digitalización empleando scanners de alta precisión. Sin embargo, en estos últimos años se han producido grandes avances en la construcción de tales cámaras digitales con una calidad de imagen y precisión similar a la de las cámaras aéreas tradicionales (Ackermann, F. 1996).

Recientemente se ha conseguido la correspondencia automática de imágenes con precisiones subpixel, con lo cual varias tareas fotogramétricas como las orientaciones, la rectificación, la confección de la ortofoto, o la aerotriangulación, se agilizan más que notablemente y podrían llevarse a cabo casi sin participación de un operador humano (Ackermann, F. 1997)

Una consideración especial merece el tratamiento fotogramétrico de las imágenes satelitales. Desde hace varios años se dispone de imágenes con tamaño de píxel compatible con las precisiones cartográficas de las escalas pequeñas. Las imágenes del sistema SPOT, por ejemplo, tienen un píxel de 10 m en el terreno en el modo pancromático y, además, cobertura estereoscópica. El satélite de la Agencia Espacial de la India, IRS en operación desde hace algún tiempo brinda un tamaño de píxel de 6 m. Muy recientemente han aparecido sistemas que ofrecen resoluciones del orden de 1 m, como, por ejemplo, Ikonos, Eros y Quick Bird, o el ruso Spin que, a diferencia de los tres primeros que emplean barredores, trabaja con cámaras ortográficas convencional con una distancia focal aproximada de 350 y 1000 mm.

La libertad que alcanza a la Fotogrametría tiene un precio: ya no se puede conservar "pura". Es la hora del "mestizaje", de las soluciones híbridas, de las interrelaciones, de la

fusión (y a veces de la confusión), de la interdisciplinariedad y de la multidisciplinariedad. Tenemos así una nueva serie de relaciones que se desprenden de los procesos recién enumerados, fundamentalmente:

Con la teledetección, compañera inseparable de la Fotogrametría Digital, las fronteras son borrosas en función de los criterios empleados. Pueden enunciarse criterios como la diferenciación entre el procesado métrico y el procesado interpretativo o la diferenciación entre plataformas de barrido bidimensional y tridimensional pero más interesantes y provechosos son los planteamientos híbridos.

Con el procesado digital de imágenes, que representa el paso previo, la mejora de la imagen o la preparación de la imagen para la aplicación de procesos de carácter fotogramétrico o cartográfico. Las tareas híbridas son múltiples, por ejemplo, cuando se emplea la correlación orientada a objeto o se emplean algoritmos piramidales para automatizar la orientación relativa.

Con los Sistemas de Información Geográfica, en los que puede considerarse ya, como parte constituyente, la existencia de niveles (layers) que contengan la información cartográfica ("vectorial") además de la correspondiente ortofoto ("raster").

Con la inteligencia artificial, con aspectos como la visión robótica que involucra al vídeo y a la extracción e interpretación de objetos en tiempo real. Relacionado con lo anterior se sitúa la cuestión de los sistemas expertos y los sistemas de integración de datos procedentes de múltiples fuentes. Igualmente, a medio camino entre lo cartográfico y lo informático, se sitúan las posibilidades de realidad virtual y de animación de imágenes.

Ya no son necesarios los restituidores (como hardware) y, de hecho, se encuentran en proceso de desaparición. Ya no son necesarios los portaplacas, los codificadores, los servomotores, los dispositivos de visualización y de iluminación. La Fotogrametría "queda reducida" a un simple programa, se hace software. Si se quiere emplear el recurso de la visión estereoscópica será necesario diseñar un dispositivo que la permita pero esto no es realmente necesario.

Cualquier programa de procesamiento de imágenes o de CAD permite visualizar tridimensionalmente un par de fotografías aéreas y, además, permite contar píxeles, es decir, permite medir. Sólo queda por tanto, implementar el modelo matemático que transformará estas medidas, estas coordenadas instrumentales en coordenadas del objeto.

Parece ser que la aspiración declarada de la Fotogrametría digital es la automatización del método general. La mayor parte de los procesos desarrollados son comprensibles bajo esta óptica: el objetivo es llegar a prescindir por completo del operador humano, llegar a procesar en modo "batch" (durante la noche, por ejemplo) toda la secuencia fotogramétrica: desde la orientación interna al producto cartográfico, prescindiendo también del apoyo topográfico.

El recurso para ello es la explotación de la tremenda velocidad de los procesadores actuales de manera que la inteligencia o el sentido plástico o la experiencia interpretativa puestas en juego por el cerebro humano en el proceso pueda ser sustituida por la fuerza bruta, por la capacidad de manejar cantidades ingentes de información. En propuesta de Ackerman, el lema de la Fotogrametría digital puede ser "redundancia frente a inteligencia". Grun ofrece una alternativa no más atractiva: "cantidad frente a calidad".

La ventaja del enfoque digital, para no entrar en cuestiones de rentabilidad económica, es la posibilidad de multiplicar por cien o más el número de puntos procesados: frente a la decena de puntos habituales de una orientación relativa puede trabajarse con mil. Frente a los centenares de puntos de un proceso de restitución o de un proceso de aerotriangulación puede trabajarse con decenas de miles. De esta manera la sensibilidad del operador para seleccionar la información pertinente queda sustituida por el filtrado sistemático posterior de una información vasta y basta. La desventaja de este enfoque es la imposibilidad actual para reducir a un algoritmo cuestiones tales como la percepción o el ingenio o la creatividad (Gómez, J. 2003).

1.2 La Fotogrametría en México

Fue en el año de 1912 cuando se incorporan en México los primeros métodos fotogramétricos y se realizaron con un carácter experimental. Al año siguiente, por parte de la Secretaría de Fomento, Gustavo Durán publicó un estudio sobre fototipográficos, en el que dijo: "Las experiencias hechas han llevado al conocimiento general del procedimiento. Se ha podido formar idea de él como apropiado a casos para proyectos en trazos de ferrocarriles, irrigación, etc. Y muy especialmente para configuraciones topográficas y reconocimientos militares".

Valentín Gama (1868-1942) publicó *Métodos que conviene emplear para la continuación de los trabajos en México* (1926), en el que afirmó: "Hoy casi se han fijado de un modo definitivo las ideas, por lo que toca a los levantamientos fotográficos en tierra; es cuando se trata de planos a escala grande, como los que se requieren en ingeniería, y cuando se necesita un conocimiento muy exacto del modelado terrestre conviene aplicar la fotogrametría; se recomienda utilizar para estos casos los métodos de la estereografía." También explicó el procedimiento para la restitución de la fotografía y recomendó el empleo de la aerofotogrametría para continuar con los trabajos geográficos en México (Medina. 1943).

La primera institución a nivel nacional que comenzó a emplear las fotografías para las cartas geográficas fue La Comisión Nacional para la Irrigación, que después recibiría el nombre de Secretaría de Recursos Hidráulicos, a esta le siguieron otras dependencias gubernamentales y una empresa de sector privado, Compañía Mexicana Aerofoto S.A., que trabajaba para organismos oficiales y particulares.

En el año de 1914, año en que desaparece la Comisión Geográfica Exploradora, todo el material y el acervo fotográfico que tenía a su resguardo pasa a formar parte de la Comisión Geodesica Mexicana.

Al terminar la Primera Guerra Mundial (1914-1918), se trató de elaborar una fotogrametría aérea sin tener grandes resultados, esto debido a que los aviones y las cámaras con las

que se contaba en ese tiempo, no eran lo suficientemente precisas para llevar acabo este tipo de trabajos, a pesar de eso, la utilización que se le dio fue principalmente en la elaboración de croquis y planos de reconocimiento, así como la obtención de áreas en algunas cuencas, áreas de zonas de aprovechamiento, etc. Muchas fueron las esperanzas de que la Fotogrametría se aplicara a otros fines diferentes a los militares y aún a la construcción de cartas generales a escalas acostumbradas de este tipo. En 1928, la Dirección de Geografía, Meteorología e Hidrología, editó la publicación No. 10 titulada: *Fotografía y breves consideraciones sobre la rectificación de las vistas oblicuas*.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizó algunos levantamientos de Fotogrametría Terrestre, principalmente aplicados a los estudios de almacenamiento de presas, boquillas, cañones de ríos, etc., esto entre los años de 1931 a 1934.

En 1938 el Ing. Isidro G. Orozco, publicó una serie de trabajos sobre la fotogrametría y estereofotogrametría terrestre, entre los cuales pueden mencionarse: *La Fotogrametría y su aplicación para el levantamiento de la Carta de la República y Métodos expeditos aéreas para mejorar las cartas geográficas* (Robles. 1950).

Con la finalidad de mejorar la construcción de las cartas de ese momento, se realizó una comparación entre los levantamientos topográficos de precisión y el de métodos aéreos, fue llevada a cabo por el ingeniero Isidro Orozco, este trabajo llevo a la conclusión: que utilizando el primer método se tardarían en finalizar la Carta de la República 30 años con un costo de 50 000 000 de pesos, mientras que empleando el otro método solo se gastarían 6 000 000 de pesos y tendría una duración de 6 años.

En el país solo algunas instituciones gubernamentales federales contaban con equipo fotogramétrico, entre las cuales se puede mencionar: Oficina de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Cartográfica Militar (dependiente de la Secretaría de la Defensa Nacional), y una compañía particular llamada Compañía Mexicana Aerofoto S.A., que contaba con estos instrumentos desde 1936.

Por decreto, el 7 de febrero de 1938, se fundó la Comisión Geográfica Militar, transformada en el Servicio Cartográfico del Ejército el 1 de enero de 1946 y en la Comisión cartográfica Militar el 7 de julio de 1950. Así constituida, desde 1942 se inició el levantamiento fotogramétrico de una parte del estado de Chiapas que terminó en 1947; como resultado se publicaron seis hojas a escala 1:50 000, de 20 minutos de longitud, por 12 minutos de latitud (Caire, J. 2003).

El acervo de fotografías aéreas que tenía la Comisión México-Norteamericana pasó a formar parte de la Comisión Cartográfica Militar. La toma de estas fotografías se realizó a partir de noviembre de 1942 y terminó en septiembre de 1943, con la participación de 4º Escuadrón Aéreo de los Estados Unidos, en colaboración con 10 oficiales del ejército mexicano.

A principios de 1944 se recibieron 250 000 fotografías aéreas tomadas en los años anteriores, con las que se llevaron a cabo los trabajos cartográficos-fotogramétricos que sirvieron para mejorar y poner al día la Carta Aeronáutica, en la escala 1:1 000 000, publicada con anterioridad por el Aeronautical Chart Service de los Estados Unidos. Durante enero de 1946 se continuó con este trabajo, año en que se funda o el Servicio Cartográfico del Ejército, y concluyó hacia finales de 1948, cuando deja de funcionar la mesa de Cartas Aeronáuticas en el seno de la Comisión Cartográfica Militar, para pasar a la fuerza aérea mexicana.

El levantamiento de una nueva red geodésica unida a los Estados Unidos, fue uno de los trabajos más importantes de la Comisión Cartográfica Militar, la cual se efectuó en colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano.

Con ayuda del servicio de la Carta Aeronáutica, se realizó la Carta Básica de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, y con la colaboración del Geological Survey, entre los años de 1943 y 1947, se prepararon y se publicaron las hojas correspondientes a México de la Carta Básica Preliminar de la Fuerza Aérea. Principalmente esta carta se basó en la restitución fotogramétrica de las fotografías aéreas obtenidas por el ejército americano (Fuerza Aérea) durante los primeros seis años de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945),

con la autorización por parte de México otorgada por la Secretaría de la Defensa Nacional. En la construcción de dicha carta se utilizó la proyección Cónica Conforme de Lambert y la escala fue de 1:500 000.

En 1945 cuando la Segunda Guerra Mundial llega a su fin, aparecen cambios importantes en la fotogrametría aérea, la evolución que tienen los aviones que toman las fotografías es considerable, ya que contaban con sistemas de navegación y cámaras fotográficas que permitieron realizar levantamientos aéreos mucho más precisos, como fue el sistema Trimetrogón (tres cámaras con lentes metrogón), que utilizó el ejército mexicano en la elaboración de la Carta de la República, escala 1:1 000 000. Al mismo tiempo se desarrollaron los aparatos de restitución analógicos y analíticos de primero y segundo orden que hicieron posible la elaboración de cartas y planos con especificaciones y tolerancias marcadas por el error gráfico.

Durante la década de 1950 a 1960, se comienzan a utilizar las computadoras electrónicas y se inicia un gran desarrollo fotogramétrico, en el sector público; Defensa Nacional, Agricultura y Ganadería, Recurso Hidráulicos, Comisiones y Obras Públicas, Departamento Central, entre otras secretarías; en el sector privado se establecieron además de Compañía Mexicana Aerofoto S. A., Estudio y Proyectos S. A., Aerotécnica de México S. A., etc. Las casas proveedoras de equipo y materiales también cuentan con un desarrollo importante, siendo estas las más importantes; Wild de México S. A., Casa Struck S. A., Casa Zeiss S. A., Kern-Horr y Choperena S.A. etcétera.

En el año de 1952 bajo el mandato del Presidente Adolfo Ruíz Cortines, ordena la construcción de la primera carta fotogramétrica para la República Mexicana en escala 1:500 000, para la cual se formó la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana y se eligió como órgano ejecutor al Departamento Cartográfico Militar, esta carta se terminó en septiembre de 1958, en 47 hojas utilizando la Cuadrícula Universal Transversa de Mercator.

En el año de 1968 se creó una institución de carácter civil, dotada de medios suficientes para la elaboración de una cartografía nacional, en la que se aplicaron métodos

fotogramétricos, foto interpretativos y los modernos medios de sensointerpretación, esta institución creada por la Secretaría de la Presidencia recibió el nombre de Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), y su objetivo era realizar un inventario de los recursos naturales e infraestructura del país, para poderlo representar mediante cartografía.

En 1969, se le suprimieron las funciones de plantación y se denominó Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Posteriormente en 1976 y con motivo de las reformas administrativas, se creó la Coordinación General del Sistema Nacional de Información dentro de la Secretaría de Programación y Presupuesto, y con una vinculación muy estrecha con la Presidencia de la República, la CETENAL pasó a ser una Dirección General de dicha Coordinación.

A principios de los años ochenta y ante la necesidad de contar con información de los recursos naturales del territorio nacional, esta dirección sufre un nuevo cambio y ahora se le conoce con el nombre de Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), utiliza los estudios analógicos de las imágenes LANDSAT para realizar cartografía temática sobre geología, uso de suelo y vegetación, edafología y uso potencial agrícola, pecuario y forestal.

En la década de los noventa, la DETENAL se convierte en lo que hoy se conoce con el nombre de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Y en 1992 inició un largo y complejo proceso de modernización de la actividad geográfica, modificando sus procesos de producción tradicionales de cartografía básica y temática, relevándolos por procesos automatizados que han permitido esquemas maduros de producción cartográfica digital.

El proceso para la toma de fotografía aérea se ha modernizado al equipar las naves con cámaras que cuentan con microprocesadores para el control automático de sus funciones, incluyendo la compensación de movimiento de la imagen. También se han instalado navegadores GPS para la conducción precisa de las aeronaves, lo que permite ubicar

geográficamente el centro de cada fotografía al momento de la toma y con ello mejorar los procesos fotogramétricos que en la actualidad son digitales.

A bordo de los aviones equipados con cámaras métricas, especialistas del INEGI sobrevuelan el territorio nacional para realizar la toma de fotografías que proporcionan un registro fiel de las características del terreno: montañas, ríos, vegetación, ciudades, vías de comunicación, entre otros rasgos.

El Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA), creado por el Instituto, determina una serie de lineamientos y especificaciones para la toma aerofotográfica, con base en las características climáticas y fisiográficas regionales y en las necesidades de actualización periódica de la información.

Asociado al SINFA, el Sistema de Registro Aerofotográfico (SIREA) instrumenta el control y facilita la consulta sobre la aerofotografía, con el fin de racionalizar la existencia de información y de proporcionar a quien lo requiera, el servicio público de información aerofotográfica. Mediante este sistema se obtienen los insumos necesarios para el estudio del territorio nacional y para la generación y actualización de las cartas topográficas en diversas escalas. Estas fotografías se utilizan también para la realización de cartografía temática y estudios geográficos diversos.

Actualmente estamos presenciando la consolidación del cambio de paradigma de la producción de cartografía hacia la generación de datos geográficos digitales, dado fundamentalmente por el desarrollo de las TI (hardware, software, bases de datos, etc.), el avance de la percepción remota y el sistema de posicionamiento global.

Los SIG como herramientas de manejo de análisis computacional inscritas en el contexto general de las ciencias de la información, surgen precisamente de la aportación multidisciplinaria de las diversas ciencias y técnicas mencionadas. Con los SIG se aprovechan los avances de la percepción remota, el GPS, 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 distintos problemas

que se presentan en la integración y manejo de variables de carácter geográfico, cuantitativo y cualitativo, y para la representación gráfica de los fenómenos y hechos físicos y sociales involucrados. Los SIG son sistemas capaces de almacenar, procesar y recuperar eficientemente y con oportunidad grandes volúmenes de datos.

En el ámbito de la administración pública, la posibilidad de acceder a bases de datos geográficos y de compartir información geoespacial, ha modificado la organización del trabajo en aquellas áreas responsables de la toma de decisiones y en las instancias encargadas de la planeación y ejecución de programas de asistencia social, educación, salud y vivienda. Los datos geográficos digitales, al ser incorporados y explotados en sistemas de información, se transforman en información estratégica indispensable para el logro de los objetivos y metas propuestas.

En nuestro país sobresale, en este ámbito, el concepto de *g-Gobierno* como componente básico del programa *e-Gobierno* diseñado por la Presidencia de la República. El concepto de *g-Gobierno* se define como el proceso de toma de decisiones estratégicas con base en información geográfica (INEGI. 2002).

En el sector privado, la información geoespacial está influyendo significativamente en la forma de hacer negocios de las empresas. Su importancia en la planeación estratégica empresarial es decisiva, ya que los análisis de amenazas y oportunidades son ahora impensables sin una referencia espacial. Particularmente, la mercadotecnia ha vuelto su mirada hacia la información geoespacial como medio fundamental para los diagnósticos del crecimiento del mercado, distribución espacial de la competencia, localización de grupos de compra potenciales, análisis sociodemográfico, rutas de acceso, distribución de puntos de venta, control de mercadeo, etc. Esto ha dado lugar a lo que ahora se denomina *geomarketing*.

La ubicación de zonas de riesgo y la ejecución de planes preventivos no puede realizarse hoy en día sin disponer de información geoespacial; de igual manera la atención a zonas desastre, sólo puede hacerse contando con cartografía actualizada y datos geoespaciales que permitan modelar y diseñar los planes de mitigación a los impactos.

1.3 Antecedentes de la carta 1:500 000

Hacia finales de 1955 y por decreto presidencial, se determinó que en vez de seguir copiando las cartas, se hiciera una carta en México por métodos modernos, es decir por medios fotogramétricos, fue entonces que el Presidente de la Republica de aquella época, Adolfo Ruiz Cortines, llamó a formar una Comisión Intersecretarial que se encargó de la construcción de dicha carta, teniendo como órgano ejecutor al Departamento de Cartografía Militar, dependiente de la Secretaría de la Defensa Nacional.

La "Comisión Intersecretarial Coordinadora del levantamiento de la Carta Geográfica de la Republica Mexicana" se creó por Mandato Presidencial el día 20 de diciembre de 1955 y se publicó en el Diario Oficial el día 2 de enero de 1956.

La misión que se le dio a dicha Comisión, fue la de crear una nueva carta para la Republica Mexicana con una escala de 1:500 000, que se realizaría con métodos fotogramétricos modernos y confiables, y que además de todo superara en calidad y técnica a la Carta Base de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Esta nueva serie de cartas tendrían que ser elaboradas en su totalidad en una plazo no mayor al mes de septiembre de 1958, lo cual parecía una hazaña casi imposible de realizar, aunque el Departamento Cartográfico Militar contaba con cierto material que hacia pensar a los integrantes de la Comisión todo lo contrario.

Debido a que en ese momento el Departamento Cartográfico Militar, se encontraba realizando algunas cartas de la Republica Mexicana aplicando las reglas correspondientes a la escala de 1:80 000, se contaba con cierto material para poder elaborar las cartas a la escala de 1:500 000 pero no era suficiente ya que no cubría en su totalidad la extensión de la Republica Mexicana, ante tales circunstancias adoptaron un plan de trabajo que cubriera las necesidades que en ese momento se requerían. Fue entonces cuando se comenzó a hablar de 1) Trabajos por administración y 2) Trabajos a contrato.

1) Trabajos por administración. Estos se llevaron a cabo en el Departamento Cartográfico Militar, que era un trabajo que se venía realizando con anterioridad, por el método llamado Trimetrogón, a la escala de 1:80 000 para la carta general a la cienmilésima. Eran 144 hojas de las cuales 37 ya estaban publicadas y el resto, es decir 107 cartas, se encontraban en diferentes estados de avance en su construcción.

Como ya se encontraban la mayor parte de las fotografías aéreas de estas zonas, solo se concretó a realizar los pasos siguientes:

- a) *Determinación de los puntos de control terrestre necesarios.*
- b) *Preparación de la fotografías.*
- c) *La construcción de la triangulación radial.*
- d) *Construcción de la gradícula de acuerdo a la proyección.*
- e) *Localización de los puntos de altitud conocida.*
- f) *Delimitación de las zonas de vegetación.*
- g) *Revisión y corrección de las hojas.*
- h) *Reducción fotográfica.*
- i) *Compilación de los nombres de los poblados.*
- j) *Dibujo a la escala de 1:400 000 de los originales de cada color.*
- k) *Obtención de los negativos fotográficos*
- l) *Obtención de las láminas correspondientes e impresión.*

2) Trabajos a contrato. Como el material no era suficiente para cubrir en su totalidad la extensión de la República Mexicana, era necesario fotografiar las zonas siguientes: 1. la zona continental comprendida al Norte del paralelo 24° de latitud y la península de Baja California, al Norte del paralelo 30° de latitud, hasta la línea fronteriza con los Estados Unidos (todo esto sin cargo al presupuesto de la Comisión). y 2) Península de Baja California, desde el extremo Sur hasta el paralelo 30° de latitud; la faja continental

comprendida entre los paralelos 22° a 24° de latitud, desde el meridiano 102° de longitud hasta el Océano Pacífico; y la zona Sur y Sureste de la República (estas fotos con cargo al presupuesto de la Comisión).

Las hojas que se realizaron por medio de este procedimiento (37 hojas), se trabajarían solo con fotografías verticales, y los diferentes pasos de su elaboración serían los siguientes:

- a) *Proyecto de las líneas de vuelo de las zonas que se requiere la cartografía*, con indicaciones de las líneas de control fotográfico que se hicieran necesarias.
- b) *Realización de los vuelos y toma de las fotografías.*
- c) *Determinación de los puntos de control terrestre necesario*, obteniéndolos por procedimientos geodésicos, topográficos o astronómicos
- d) *Preparación de las fotografías*, es decir, la determinación en ellas de los puntos principales, auxiliares y comunes, que resultaran necesarios para la ejecución de la triangulación radial.
- e) *Construcción de la triangulación radial*, la cual tiene por objetivo situar las poligonales gráficas que representan las líneas de vuelo, para ajustarlas con los puntos de control, cuyas coordenadas geográficas son conocidas y una vez compensadas, situarlas en el canevas de la proyección. Se exigió se utilizara regletas metálicas para obtener mayor precisión en ella.
- f) *Reducción fotográfica de esta triangulación radial*, que se hace a la escala de las fotos (1:60 000 aproximadamente, pues se tomarían a 30 000 pies de altitud), a la escala de 1:80 000.
- g) *Dibujo de la planimetría*, a la escala de 1:80 000 sobre acetato, o con cuadrícula proporcionales, tomando en cuenta la densidad de los detalles que deben aparecer, ya que la escala de publicación es de 1:500 000.
- h) *Configuración de la hoja*, también a la escala de 1:80 000, empleando equidistancias de 200 m en las zonas de suficiente relieve y de 50 metros en las de relieve escaso.
- i) *Reducción fotográfica*, de los originales anteriores de planimetría y configuración, de la escala 1:80 000 a la 1:400 000, para obtener original de la hoja a esta última escala.
- j) *Determinación de las diferentes áreas de vegetación*, en la escala 1:400 000.

- k) *Revisión y corrección de los originales*, de la hoja a la escala 1:400 000.
- l) *Compilación de los nombres*, de los poblados y accidentes topográficos importantes.
- m) *Dibujo*, a la escala de 1:400 000 de los originales de cada color.
- n) *Obtención de los negativos* relativos a la escala 1:500 000
- o) Obtención de las láminas e impresión.

La mayor parte de las cartas las terminó elaborando el Departamento Cartográfico Militar, debido a que las empresas contratadas para la realización de los Trabajos a Contrato, no contaban con la suficiente experiencia para construir este tipo de material cartográfico, esto por supuesto demeritaba la calidad y la información de las cartas.

Capítulo 2

Bases para la construcción de una carta geográfica.

Para entender el proceso que se llevó a cabo en la construcción de la primera carta por métodos fotogramétricos para la República Mexicana en escala 1:500000, es necesario conocer las bases en las que descansan los fundamentos y las técnicas utilizadas en la fotogrametría.

2.1 La Estereoscopia

La palabra "estereoscopia" se deriva de dos palabras griegas, *stereos* y *scopeo*, que significa ver algo como sólido. La idea básica de la estereoscopia es que partiendo de dos imágenes desde el mismo punto de vista, pero con una pequeña diferencia de ángulos entre ellas, el cerebro se encarga de unir estas dos imágenes, formando una sola que es la que nos produce la visión tridimensional.

La estereoscopia es fundamental en el campo de la fotogrametría y la fotointerpretación, simple y sencillamente por que la observación de las fotografías con instrumentos adecuados nos permite conocer las medidas relativas de los objetos que se muestran, así como definir las formas y posiciones de estos.

2.1.1 Fisiología del ojo.

Es importante que las personas dedicadas a la utilización de estas técnicas de investigación, conozcan desde un punto de vista fisiológico el comportamiento del ojo humano con la finalidad de comprender ciertos fenómenos que ocurren durante este proceso, ya que la facultad de la visión es tan natural que raras veces se piensa en su intrincado funcionamiento.

La visión monocular o binocular, esta ligada a tres partes importantes durante su proceso, estas son: la cavidad ocular, el nervio óptico y los centros visuales del cerebro. La cavidad

ocular de forma globular, contiene el aparato dióptrico y el mecanismo nervioso sensitivo a la estimulación por radiación luminosa que viene desde fuera. Los impulsos visuales así transmitidos por el impacto de la luz son llevados al cerebro a través del nervio óptico, donde se percibe la sensación de la visión; además hay una percepción visual de aquellos objetos materiales que están dentro del mismo campo del observador y es posible distinguir sus partes así como diferencias de tamaño, sombra, distancia, forma y colores, ver figura 2-1.

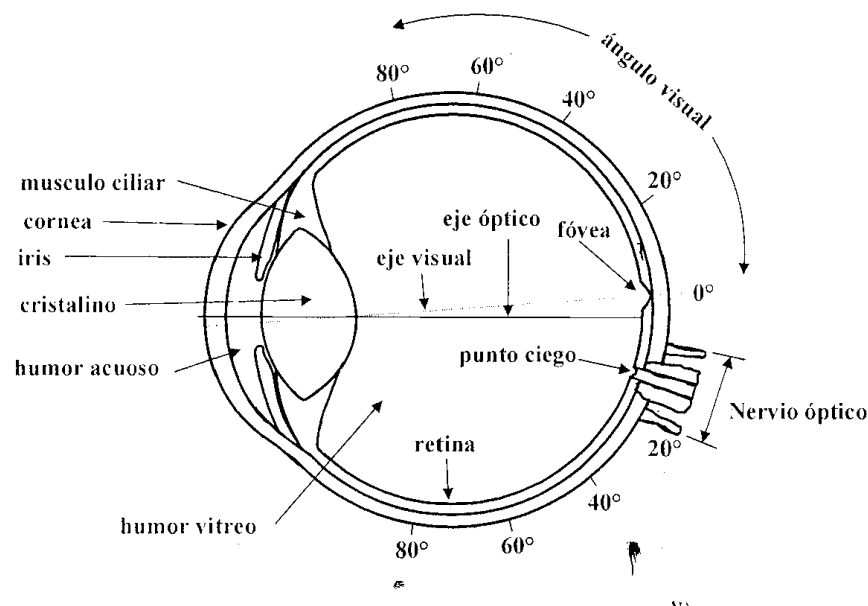


Figura 2-1
Sección Transversal del Ojo Humano.

El ojo en su conjunto, llamado *globo ocular*, es una estructura esférica de aproximadamente 2,5 cm de diámetro con un marcado abombamiento sobre su superficie delantera.

La *córnea* es una membrana resistente, compuesta por cinco capas, a través de la cual la luz penetra en el interior del ojo. Por detrás, hay una cámara llena de un fluido claro y húmedo (el *humor acuoso*) que separa la córnea de la lente del cristalino. El *iris* es una estructura pigmentada suspendida entre la córnea y el cristalino y tiene una abertura circular en el centro, la *pupila*. Por detrás de la lente, el cuerpo principal del ojo está lleno de una sustancia transparente y gelatinosa (el *humor vítreo*) encerrado en un saco

delgado que recibe el nombre de membrana hialoidea. La *retina* es una capa compleja compuesta sobre todo por células nerviosas. Las células receptoras sensibles a la luz se encuentran en su superficie exterior detrás de una capa de tejido pigmentado. Estas células tienen la forma de conos y bastones y están ordenadas como los fósforos de una caja. El *nervio óptico* entra en el globo ocular por debajo y algo inclinado hacia el lado interno de la fovea central, originando en la retina una pequeña mancha redondeada llamada disco óptico. Esta estructura forma el punto ciego del ojo, ya que carece de células sensibles a la luz. Se puede demostrar la existencia de este punto ciego si al cerrar el ojo izquierdo se mira únicamente con el derecho el círculo *a* en la figura 2-2. Cuando el dibujo se encuentra alejado 25 cm del ojo, el círculo *c* desaparece. A una distancia menor el círculo *c* reaparece y el círculo *b* desaparece y por último a una distancia todavía menor el círculo *b* aparece nuevamente.

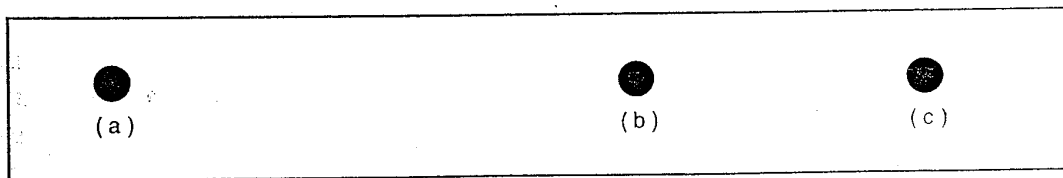


Figura 2-2
Demostración de la existencia del punto ciego.

Los movimientos que realiza el ojo humano para observar un objeto son: acomodación y convergencia. Ambas funciones se pueden realizar de forma independiente, sin embargo estamos muy acostumbrados a realizar ambas funciones al mismo tiempo para un mismo punto, si no se produce así y se prolonga por algún tiempo estas funciones del ojo ocasionan fatiga visual.

2.1.2 La Estereoscopia Natural

La naturaleza del hombre, permite que tenga una visión reforzada, por los dos ojos con los que cuenta. Cada ojo tiene las condiciones de moverse por si mismo y no depender del otro, pero debido al entrenamiento y al uso que ha tenido en la visión binocular ha unido sus facultades para obtener una función como un ojo doble: las reacciones y movimientos son invariablemente hechos al unísono.

De manera natural nuestro sistema de visión es estereo, es decir, somos capaces de apreciar, a través de la visión binocular, las diferentes distancias y volúmenes en el entorno que nos rodea. Nuestros ojos debido a su separación obtienen dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, a lo que denominamos disparidad. Nuestro cerebro procesa las diferencias entre ambas imágenes y las interpreta de forma que percibimos la sensación de profundidad, lejanía o cercanía de los objetos que nos rodean. Este proceso se denomina *estereopsis*.

En la estereopsis intervienen varios mecanismos. Cuando observamos objetos muy lejanos, los ejes ópticos de nuestros ojos son paralelos. Cuando observamos un objeto cercano, nuestros ojos giran para que los ejes ópticos estén alineados sobre él, es decir, convergen. A su vez se produce la acomodación enfoque para ver nítidamente el objeto. Este proceso en su conjunto se llama fusión. No toda la gente tiene la misma capacidad de fusionar un par de imágenes en una sola tridimensional, alrededor de un 5% de la población tienen este tipo de problemas.

La agudeza estereoscópica es la capacidad de discernir, mediante la estereopsis, detalles situados en planos diferentes y a una distancia mínima. Existe una distancia límite a partir de la cual no somos capaces de apreciar la separación de planos, y que varía de unas personas a otras. Así la distancia límite a la que dejamos de percibir la sensación estereoscópica puede variar desde 60 metros hasta cientos de metros.

Un factor que interviene directamente en esta capacidad es la separación interocular. A mayor separación entre los ojos, mayor es la distancia a la que apreciamos el efecto del relieve. Esto se aplica por ejemplo en los prismáticos (estereoscopios), en los que mediante prismas, se consigue una separación interocular efectiva mayor que la normal, con lo que se consigue apreciar en relieve objetos distantes, que en condiciones normales no seríamos capaces de separar del entorno. La distancia interpupilar más habitual es de 65 mm, pero puede variar desde los 45 hasta los 75 mm.

2.1.2.1 Paralaje

Es el aparente desplazamiento de la posición de un objeto cuando se contempla desde dos posiciones diferentes.

Si un lápiz es mantenido a 30 cm. de distancia de los ojos, frente a un determinado objeto ubicado en el fondo, y haciendo énfasis en éste, se cierran y abren alternativamente ambos ojos, en rápida sucesión, se tiene la sensación de que el lápiz se desplaza con respecto al objeto. Si se enfoca ahora alternativamente al lápiz y al objeto, se tiene la impresión de que los objetos se encuentran a distancias diferentes (de hecho, cuando se enfoca al objeto, el lápiz se ve doble). Un esquema semejante al de la situación antes descrita, se puede observar en la figura 2-3, donde el objeto "A" se encuentra más cercano que el objeto "B".

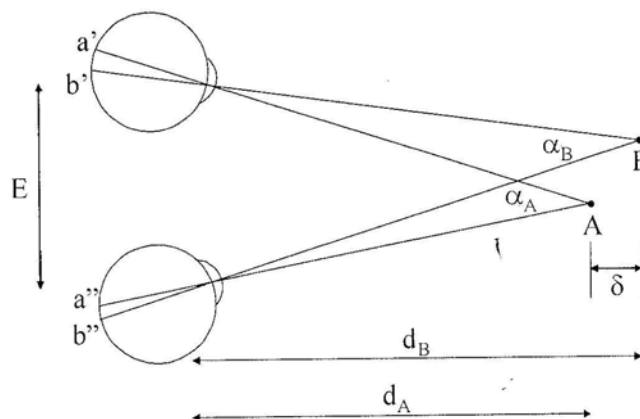


Figura 2-3
Esquema de trayectorias visuales y su proyección en la retina.

La diferencia en la retina, de los dos ángulos de convergencia, es el paralaje relativo entre los dos objetos, es decir $a'-a''$ y $b'-b''$. Esta diferencia en paralaje es el factor más importante para la percepción del relieve. Al igual que para la estimación de distancia, su límite está en un minuto de arco. Esto significa que la visión estereoscópica puede apreciar diferencias en profundidad de hasta 0.075 mm. Este valor proviene no del ángulo en sí, sino del espaciamiento entre los bastoncitos de la retina. El ángulo de convergencia es leído en la retina mediante las distancias entre la posición de la imagen del objeto con respecto a la posición de la fóvea, que es el origen de coordenadas de cada foto.

Los límites para la visión estereoscópica están a 150 mm para el inferior, ya que a esta distancia no se consigue la fusión del objeto visto por ser el límite de la convergencia y el enfoque, y a 200 m para el superior, debido limite en la resolución angular del ojo.

Cuando los rayos de luz de un punto de un objeto llegan a los ojos, están separados por un ángulo, llamado ángulo paraláctico, que decrece a medida que la distancia del objeto aumenta. Este ángulo, en radianes, puede expresarse como:

$$a = E / d$$

donde E es la distancia interpupilar o base de los ojos, que varia de 60 a 70 mm. en los humanos, y d es la distancia desde la base de los ojos hasta el objeto observado.

Si tomamos la distancia interpupilar promedio como E= 65 mm y a= 1', tendremos que d= 200 m, aproximadamente.

2.1.3 La Estereoscopia Artificial

En la fotogrametría se hace uso de la visión estereoscópica para la observación de un par de fotografías aéreas, donde los paralajes, relativamente grandes, son producidos mediante los métodos de toma de las imágenes fotográficas.

Ya que cada ojo observa en su retina direcciones hacia puntos distintos, se puede reemplazar la visión tridimensional del entorno natural superponiendo delante de cada ojo una fotografía que contenga las mismas direcciones dadas por la visión natural del entorno, ya que al existir los mismos paralajes, se producirán en la visión los mismos mecanismos de percepción que dan origen a la visión estereoscópica. La observación independiente de cada ojo sobre su respectiva fotografía da origen entonces a un modelo tridimensional del terreno en la mente del observador.

La relación entre la acomodación y la convergencia es muy importante en la visión estereoscópica. Cuando los ojos enfocan un objeto cercano, convergen a su vez automáticamente, de forma que las líneas de visión intersectan al objeto. Cuando enfocamos al infinito, las líneas de visión son paralelas, cuando se observa un par de fotografías estereoscópicas a través de los estereoscopios, los ojos convergen para adaptarse a la distancia de observación, pero la visión debe realizarse con las líneas de visión paralelas para adaptarse a los ejes ópticos del aparato. Esta contradictoria forma de relación, opuesta a lo acostumbrado por el sentido de la visión, toma algo de práctica para ser asimilado, y por lo tanto observar los pares de fotografías con comodidad.

2.1.3.1 El estereoscopio

Los estereoscopios son aparatos que constan de una distancia focal de menos que 250 mm y una distancia normal de lectura, sujetan un par de lentes que comúnmente son positivos (plano convexo), y pueden ser utilizados como vidrios de aumento. Existen principalmente dos tipos de estos aparatos (ver figura 2-4):

- a) Estereoscopio de Bolsillo: que tienen por lo general lentes planos convexos cuya distancia focal común es de 100 mm. Las modalidades de estos instrumentos son diversas y dependen básicamente de la manera de fabricación. Son estereoscopios básicos y baratos, pero tienen tres desventajas principales:
 - limitado por el aumento.
 - la distancia entre puntos homólogos en las fotografías tienen que ser igual o menor que la distancia ocular, distancia entre ojos, más o menos 65 mm, lo cual dificulta la observación de las fotografías de 23 x 23 cm.
 - espacio muy limitado para hacer anotaciones en la fotografía.

- b) Estereoscopio de espejos: las desventajas anteriormente mencionadas se resuelven por estereoscopios de este tipo, ya que una combinación de prismas y espejos, permiten ampliar la distancia de los ejes paralelos a aproximadamente 25 cm., lo cual corresponde a la que debe existir entre puntos homólogos. La distancia focal

es de 300 mm lo que logra un aumento de 0.3 x pero en general, se agregan lupas y binoculares que aumenta entre dos y ocho veces.

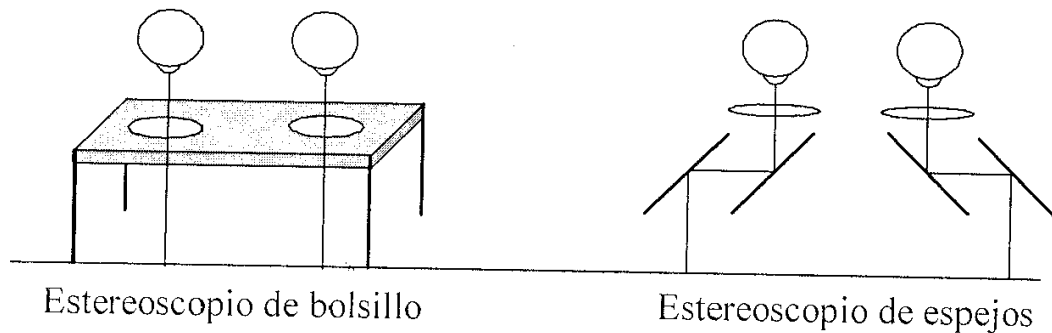


Figura 2-4
Visión por ejes paralelos en estereoscopios.

2.1.3.2 Formas de visión estereoscópica artificial

Existen tres formas de crear el efecto tridimensional, en base a los ejes de convergencia de la visión, estos son:

- a) Ejes cruzados: este tipo de observación si bien es factible, no se utiliza en la práctica, salvo en casos contados, debido a que el tipo de dificultad que posee, lo hace accesible solamente a los más experimentados, cuando se realiza al ojo desnudo. Anteriormente se utilizó en algunos aparatos restituidores, que poseían el llamado "paralelogramos de Zeiss", hoy día en desuso.
- b) Ejes paralelos: esta modalidad es la más utilizada actualmente, tanto en los estereoscopios como en la mayoría de los aparatos de restitución, y en la cual la óptica obliga a los ojos a mantener los ejes de la visión paralelos entre si (figura 2-5).

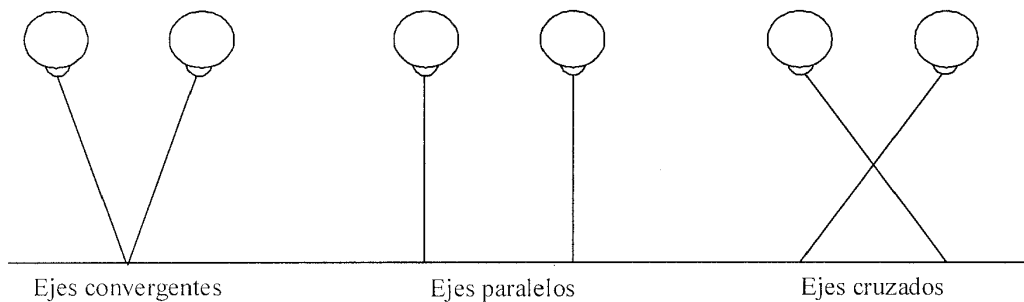


Figura 2-5
Visión por ejes paralelos en estereoscopios.

c) Ejes convergentes: en este caso la estereoscopia se consigue por medios que transmiten cada ojo su respectiva imagen, impidiendo la visualización de la otra imagen. Este tipo de visualización puede llevarse a cabo por medio de tres formas posibles:

- *Anaglifos*: utilizan filtros de colores primarios (azul y rojo o verde y rojo), para la proyección de la diapositiva y para su observación.
- *Filtros polarizados*.
- *Obturadores sincronizados*: esta forma hace uso del principio de retención de una imagen en la retina durante un lapso de tiempo (alrededor de 1/30 seg.). El obturador del proyector izquierdo deja pasar la luz, al igual que el obturador de observación izquierdo, mientras que los de la derecha permanecen cerrados; una fracción después abren los derechos y se cierran los izquierdos (Figura 2-6).

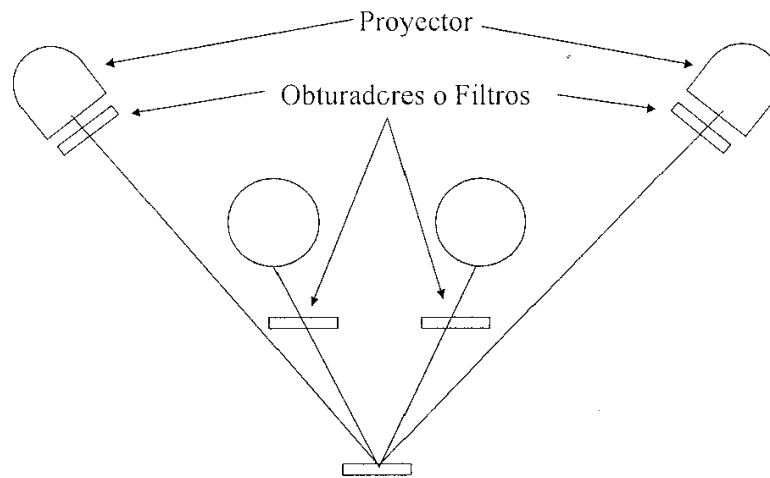


Figura 2-6
Visión por ejes convergentes.

En los diferentes procesos o técnicas usados para llevar a cabo la visión estereoscópica por medio de instrumentos especializados, la agudeza visual no solo depende de las limitaciones inherentes del aparato usado y de la naturaleza física de la luz, sino también del estado fisiológico del individuo. Factores tales como: fatiga, depresión mental, distracción, iluminación insuficiente, mala posición visual, humedad impropia, ventilación, etc., tienden a inferir en los trabajos desarrollados pues es grande el número de factores aquí envueltos.

2.2 La Cámara Métrica

Una *cámara métrica* es igual que una cámara normal (ya sea analógica o digital) con la particularidad de que se conocen muy bien sus características.

Para considerarse como métrica se debe conocer con gran exactitud la distancia focal de la cámara con enfoque al infinito, estas características geométricas han sido determinadas del orden de + 0.01 mm a + 0.008 mm.

Los parámetros considerados como la orientación interna de la cámara son:

- a. Distancia focal: es la distancia del punto nodal posterior del objetivo de toma a la superficie de emulsión sensible, a la que se designa como plano de la imagen negativa.
- b. Dimensiones del formato: marco que limita la imagen fotográfica, por lo regular es de forma cuadrada, de nueve pulgadas por lado (23 x 23 cm.).
- c. Desviación del eje óptico del objetivo: con respecto al centro geométrico o punto principal de la fotografía, esto se logra trazando líneas que unan las marcas de colimación a las opuestas.

2.2.1 Elementos de una cámara métrica

Esquemáticamente una cámara métrica se puede dividir en:

- a) El sistema óptico. Constituido a eliminar por medio de un filtro la llamada luz falsa, dada por la refracción atmosférica; el objetivo de toma y el obturador pueden encontrarse dentro del objetivo o después de él.

El objetivo es un sistema de lentes coaxiales, separados por aire, en el que se intenta que una parte de él elimine las aberraciones producidas por las otras.

El filtro es un elemento transparente ubicado antes del objetivo con el propósito de eliminar el color dominante en la atmósfera; el filtro normalmente utilizado en combinación con emulsión pancromática es amarillo-naranja y tiene por objeto eliminar todos los tonos azules debido a la refracción atmosférica, por lo que se le llama "menos azul".

El obturador tiene como función permitir una iluminación prácticamente simultánea en el plano de la imagen, o plano marco focal, e irrumpirla también de manera prácticamente simultánea; entre los modelos de obturador el más eficiente es un sistema de láminas circulares de movimiento, continuo y provistas de muescas que coinciden, en un momento dado, para dejar paso a la luz.

- b) El cuerpo de la cámara, cuya función es mantener en posición todas sus partes.

- c) El plano marco focal, o plano de la imagen, que es el lugar donde se forma la imagen negativa del terreno. El eje óptico del objetivo debe ser perpendicular a este plano y cortarlo precisamente en el punto principal o centro geométrico de la fotografía.

Simultáneamente a la imagen del terreno, se imprime en la fotografía las marcas de colimación y ciertos datos sobre el levantamiento aéreo, como: altitud de vuelo sobre el nivel del mar (H), imagen del nivel esférico de la cámara, fecha y hora de la exposición, y número del rollo y de la exposición.

- d) Mecanismo de alimentación, que comprende a los depósitos donde se aloja el rollo de película virgen y el de película expuesta, y que accionados, simultáneamente, por un motor no ejerce fricción sobre la película

El aplanamiento de la película sobre el plano de la imagen se asegura mediante un mecanismo neumático que extrae el aire entre la película y ese plano a través de orificios; ese mecanismo funciona automáticamente en cuanto se tiene película virgen en el plano, y deja de funcionar una vez que se ha realizado la exposición.

- e) Mecanismo de suspensión: técnicamente no ha sido posible independizar la posición de la cámara métrica de la aeronave que la transporta, así que la cámara funciona fija al piso de la aeronave, participa de todos sus movimientos y en parte de sus vibraciones, aun cuando en el mecanismo de suspensión se tienen muelles para absorber una parte de ellas.
- f) Visor y regular de cubrimiento, ambos elementos permiten obtener fotografías con la sobreposición o traslape proyectados. El visor es una pantalla en la que aparece tanto el terreno como una cadena sin fin que se mueve en sentido contrario al paso del terreno. Mediante la observación de esa cadena el camarógrafo puede sincronizar la cadencia de las exposiciones a la velocidad del avión operando el regulador de cubrimiento.

2.2.2 Ángulo de Cubrimiento

Los parámetros antes mencionados sobre la orientación interna de la cámara, dan por resultado un ángulo que se conoce con el nombre de *ángulo de cubrimiento*; la ampliación de ese ángulo caracteriza al tipo de cámara métrica, que se han diseñado y se fabrican diferentes tipos de cámaras. Se mencionarán tres de ellas en atención a su uso, particularmente en México.

- a) Cámara de ángulo normal: En esta cámara el ángulo de cubrimiento es de aproximadamente 90° ; actualmente esas cámaras son de uso limitado por razones económicas y sus parámetros de orientación interna son:

$$f = 210 \text{ mm}$$

$$l = 0.18 \text{ m}$$

- b) Cámaras gran angulares: Sus ángulos de cubrimiento se encuentran entre los 100° y 110° ; estas son las de más frecuentes utilización, ya que el instrumental que ofrecen los fabricantes para la restitución, tienen características congruentes con las de esta cámara y sus parámetros de orientación interna son:

$$f = 154 \text{ mm}$$

$$l = 0.23 \text{ m}$$

- c) Cámaras súper gran angulares: Sus amplitudes angulares son de aproximadamente 120° y sus parámetros de orientación interna son:

$$f = 85 \text{ mm}$$

$$l = 0.23 \text{ m}$$

En las antiguas cámaras métricas analógicas también se requería conocer muy bien la posición del punto principal de la cámara (punto intersección del eje óptico de la lente con

el plano de la imagen) para poder dar coordenadas a ese punto y así poder llevar a cabo la restitución.

Con la llegada de las nuevas tecnologías, cada vez se utilizan más las cámaras digitales, aunque siguen teniendo una menor calidad de imagen y una menor resolución (el píxel es más grande que el grano de la película fotográfica), pero evitan el tema del revelado y el escaneo de las fotografías aéreas para poder trabajar con un software de restitución en una computadora.

2.3 El Vuelo Fotogramétrico.

Para poder llevar a cabo un proyecto fotogramétrico con éxito, se debe realizar un estudio previo a la realización de este trabajo, el cual debe adecuarse a las especificaciones que el cliente o el mismo proyecto lo requiera. Estas necesidades no solo implican las escalas, la finalidad y la precisión del trabajo sino también el tipo de documentos gráficos que se pueden requerir, como son; las fotografías aéreas, fotomapas, mosaicos fotográficos, planos, modelos digitales del terreno, ortofotos, etc.

Es necesario contar con el equipo suficiente que responda a las diferentes tareas, tales son las cámaras métricas, aviones apropiados y los instrumentos auxiliares para montar las cámaras, ya que la navegación del vuelo contiene ciertas dificultades sobre todo al tratarse de grandes extensiones. Es importante tener en cuenta las condiciones meteorológicas ya que en algunos casos solo se cuenta con pocos días de vuelo durante meses enteros.

El vuelo fotogramétrico consiste en sobrevolar una zona a altura y velocidad constantes, describiendo una serie de trayectorias (pasadas), paralelas entre si mediante el control de la deriva, con el objeto de tener una cobertura estereoscópica, del aérea del levantamiento. Se pueden considerar dos aspectos importantes:

- a) El aspecto económico: se refiere a abarcar la zona de estudio con el menor número de modelos estereoscópicos, cosa que se cumple con mayores alturas de vuelo, aunque en contraparte, al volar más alto la cantidad de oxígeno es menor por lo que las cabinas de los aviones deben estar presurizadas y por tanto llevar

tanques de oxígeno y calefacción, trayendo como consecuencia que el peso del avión aumente, siendo el costo del vuelo proporcionalmente mayor, esto ocurre con alturas de vuelo superiores a los 15 000 metros.

b) El aspecto técnico: esto esta relacionado con la precisión de la cartografía final, desglosándose a su vez en dos partes:

- 1) *el mapa del vuelo*. Donde se muestran los puntos desde los cuales deben de tomarse las fotografías aéreas.
- 2) *las especificaciones*. Incluyendo tanto los requerimientos de la cámara, como escalas, alturas de vuelo, solapes etc.

2.3.1 Elección de la escala de la fotografía

Debido a que la cartografía exige el cumplimiento de sus tolerancias: en la planimetría el error gráfico (0.25 milímetros por el módulo de la escala) y en la altimetría la garantía de la mitad de la equidistancia de sus curvas de nivel, es fundamental elegir la escala adecuada de las fotografías. Esta escala esta condicionada por:

- el tamaño de los objetos que se prenden observar
- la escala del plano que se pretende obtener

a su vez el tamaño de los objetos que se pretenden distinguir, están en función de:

- el poder de resolución de la película (0.02 mm.)
- el poder de resolución del ojo humano (0.08 mm.)
- el poder de resolución de la óptica (0.01 mm)
- la resolución del aparato restituidor (de 6x a 8x)

2.3.2 La altura del vuelo

Una vez determinada la escala mínima que cumple con las condiciones del epígrafe anterior se determina la altura del vuelo en función de la distancia focal de la cámara que se utilice.

La óptica más precisa y de mayor calidad es la de la focal Normal, siendo las supergranangulares las que presentan mayores distorsiones radiales y tangenciales. Los objetivos granangulares presentan unas características ópticas bastante similares a las normales.

La relación base/altura influyen en la determinación del punto cuanto mayor sea dicha relación mejor será la intersección de rayos homólogos y mejor determinado estará el punto (figura 2-7). La distancia focal que presenta la mejor relación es la supergranangular.

La focal más utilizada es la granangular ya que tiene tanta calidad de óptica y precisión métrica como la focal normal, mejor relación B/H, buenos valores de precisión altimétrica, y menores sombras y deformaciones que la supergranangular.

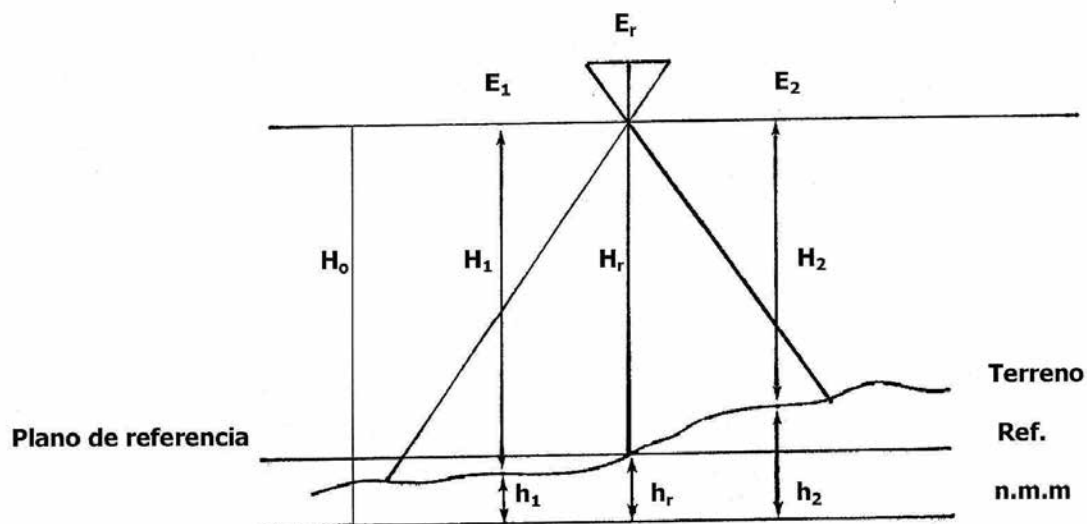


Figura 2-7
Altura del vuelo.

Ho= altura de vuelo sobre el nivel del mar
H1= altura de vuelo sobre las máximas depresiones del terreno
H2= altura de vuelo máximas de elevaciones del terreno
Hr= altura de vuelo sobre el plano de referencia

2.3.3 Sobreposición o Recubrimientos

Para poder llevar a cabo el principio de la visión estereoscópica en las fotografías aéreas es necesario que existan los recubrimientos fotográficos. Así se puede formar un modelo estereoscópico con la parte común a dos fotografías contiguas. Por tanto debe existir una zona de cobertura común entre ambas fotografías que recibe el nombre de solape o recubrimiento, que debe de ser continua para que los modelos estén enlazados (Figura 2-8).

Estos recubrimientos pueden ser:

- Longitudinales: si son en la dirección del vuelo o pasada, se expresan en tanto por ciento y tienen un valor normalizado del 60%, pudiendo oscilar entre el 55% y el 65%.
- Transversales o Laterales: si son entre pasadas adyacentes, también se expresan en tanto por ciento, y debe de tener los siguientes dependiendo de la altura del vuelo:

$$H_r < 1500 \text{ metros} \quad q = 30\% \pm 10\%$$

$$H_r > 1500 \text{ metros} \quad q = 25\% \pm 10\%$$

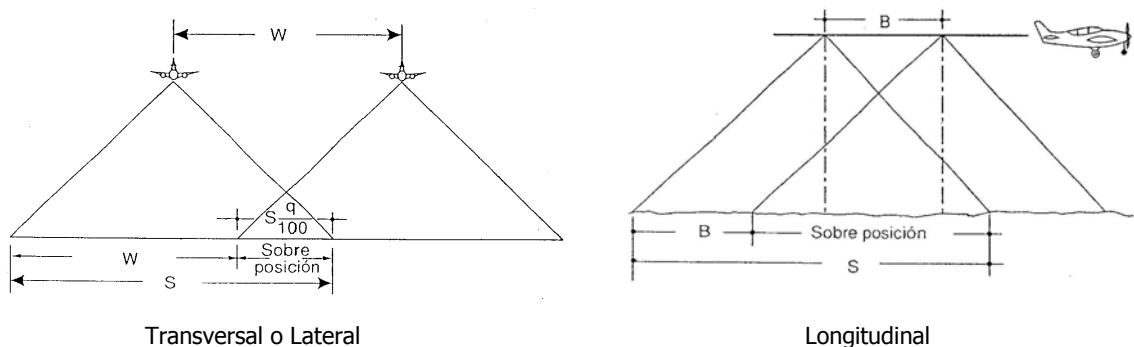


Figura 2-8
Traslapes en la línea de vuelo.

2.3.4 Geometría del Vuelo

Elegida la escala de la fotografía podemos deducir la altura del vuelo sobre el plano de referencia. Una vez conocida la altura del vuelo se determinan los parámetros que definen la geometría del vuelo.

Sobre la cartografía se determina la zona objeto del vuelo, dividiéndose en unidades morfológicas homogéneas donde se dividirán los diferentes planos de referencia. Una unidad morfológica se define como aquella porción de terreno de área máxima, que abarcando el máximo de pasadas posibles, permite elegir un plano de referencia a una altitud tal que los desniveles máximos del terreno den escala de fotografías que no difieran de la escala media en más del $\pm 10\%$.

Para asegurar la cobertura estereoscópica es necesario que el avión realice las pasadas a velocidad y altura constante, lo que no es un problema en terrenos llanos. Pero si el terreno presenta grandes desniveles, ocurrirá que las zonas de mayor elevación presentarán escalas más grandes y como consecuencia cubrirán menos porción de terreno, en comparación con las zonas de menor elevación, en las que el efecto será contrario.

2.3.5 Mapa Índice

Muestra los límites de la zona que se requiere elaborar la cartografía, las líneas de vuelo o pasada y los puntos principales de cada fotografía para obtener la cobertura deseada.

Cada índice del vuelo lineal deberá llevar los siguientes datos: zona, escala aproximada del vuelo, escala y nombre de la carta base, latitud y longitud en cada borde del índice de la carta.

Ya no es necesario en la actualidad elaborar este tipo de documentos en papel, debido a que el apoyo brindado por las computadoras permite hacerlo en un formato digital, y esto solo se imprime si el cliente así lo requiriere.

2.3.6 Factores que afectan la calidad aerofotográfica

Este tipo de factores salen de todo control humano, aunque se pueden prever o corregir.

- a) El Avión: debe tenerse en cuenta al utilizar este tipo de artefactos la relación que llega a tener con el proyecto, esto es, la velocidad que puede alcanzar, alto poder de ascenso, buena visibilidad en todas direcciones, tiempo del vuelo, altura del vuelo, etc., en general un avión de muy buena eficiencia y bajo costo de operación, y de la construcción, que permita el acomodo de los instrumentos empleados para la toma de las fotografías.

- b) El Clima: es el factor más incierto durante todo el proyecto fotogramétrico, ya que puede elevar y por mucho el costo del proyecto al no poder sobrevolar la zona deseada o que al realizar el vuelo afecte considerablemente el material que se obtenga. Teóricamente se considera un día ideal para la toma de las fotografías, aquel que no presente nubes, niebla o bruma, que el Sol se encuentre a una determinada altura que no haga proyectar demasiado las sombras de los objetos, que la velocidad del viento sea la mínima posible. Estos factores varían de acuerdo a la época del año o la zona geográfica particular.

2.3.7 Efectos de giro, ladeo, cabeceo y deriva

En condiciones normales un vuelo fotogramétrico siempre está expuesto a los factores meteorológicos o bien a los descuidos personales, por supuesto afecta la fotografía misma y toda la misión fotográfica (figura 2-9). Se puede considerar estos defectos en dos grandes grupos:

a) En el plano horizontal: teniendo en cuenta que lo correcto en una fotografía es una sobreposición del 60% en sentido longitudinal (es decir, a la misma línea del vuelo) y de un 30% en sentido transversal (es decir, entre líneas del vuelo), siempre se busca una perfecta continuidad entre una misma faja de fotografías y estos constantes de sobreposición, pero estas condiciones se pueden ver alteradas por:

- *Deriva*: se entiende por deriva a la desviación de la trayectoria verdadera de la línea del vuelo con respecto a su azimut original, principalmente como consecuencia de la fuerza del viento, esto da como resultado que la sobreposición lateral disminuya y hasta llegue a quedar totalmente eliminada.
- *Giros o desviación angular*: se origina por la posición incorrecta de la cámara fotográfica cuando esta no se encuentra orientada perfectamente con respecto de la línea de vuelo, principalmente es consecuencia de descuidos humanos, y se ve reflejado en el momento en que se trata de orientar los pares estereoscópicos.

b) En el plano vertical: al momento de tomar las fotografías aéreas, lo correcto es que el avión se encuentre en posición horizontal de modo que el ángulo del eje óptico de la fotografía quede perpendicular al plano de referencia. Pero el efecto del viento repercute en los siguientes defectos:

- cabeceo: es el resultado de la inclinación positiva o negativa del avión, en el sentido de la línea del vuelo.
- ladeos: se entiende por el giro del avión alrededor del eje de las x.

Estos defectos producen deformaciones en la escala del área fotografiada en una misma fotografía aérea, así como diferencias de escala en fotografías contiguas y desplazamientos no proporcionales a partir del punto principal de la fotografía (Corral, Luís. 1994).

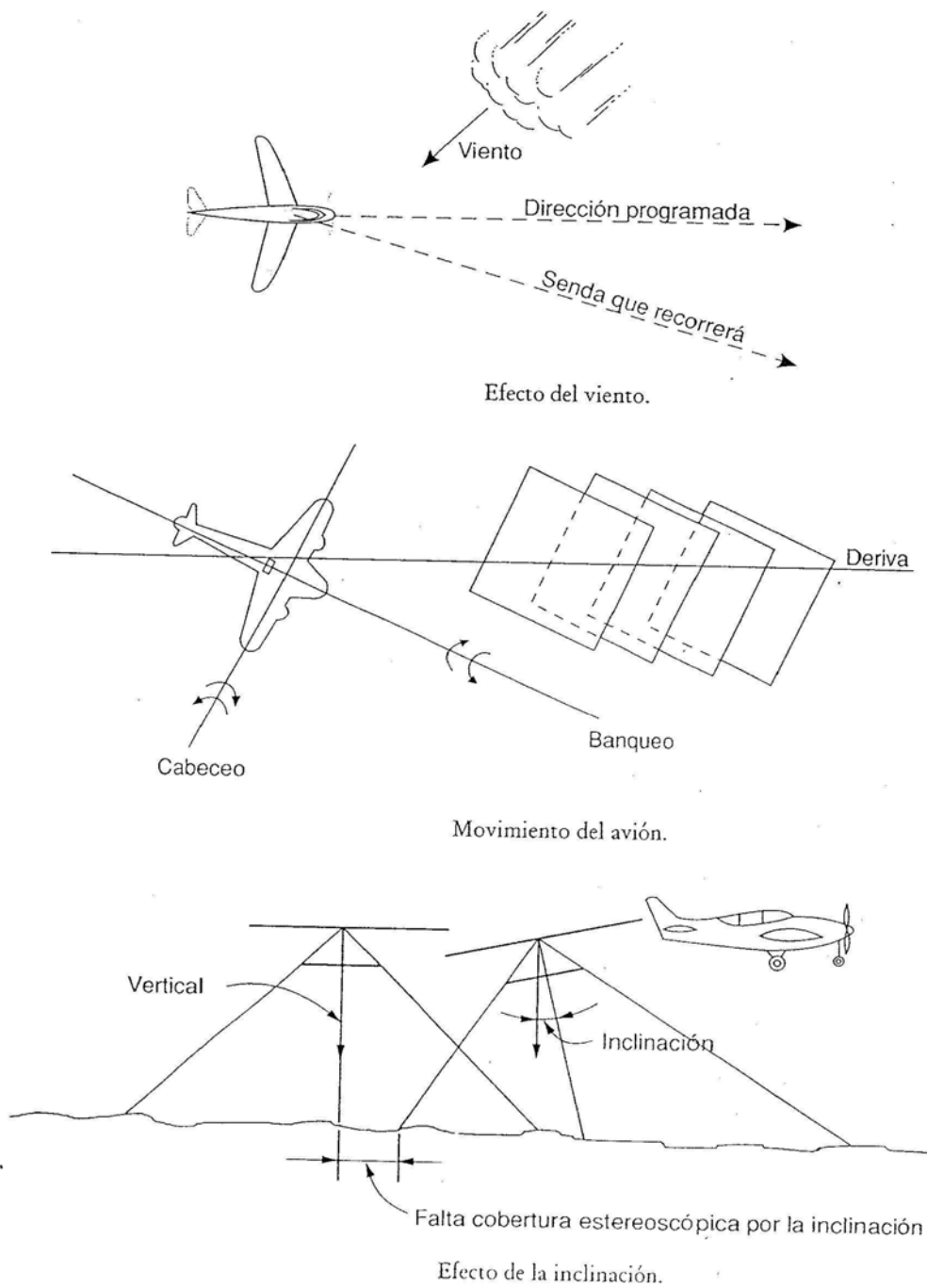


Figura 2-9
Efectos ocasionados por factores meteorológicos.

2.3.8 Programación de un vuelo fotogramétrico

Para la elaboración de la Carta Intersecretarial escala 1:500 000, se desarrollaron los trabajos en dos aspectos principalmente, estos fueron:

- 1) Trabajos por administración: en esos años el Departamento Cartográfico Militar se encontraba realizando una serie de cartas en escala a 1:80 000 pertenecientes al sureste del país, se optó por que esta dependencia siguiera realizando su labor aprovechando que contaban con el material fotográfico y humano.
- 2) Trabajos por contrato: como se mencionó en el capítulo anterior, la toma de fotografías aéreas era necesaria debido a que no se contaba con el material suficiente para cubrir en su totalidad todo el territorio mexicano, por lo que la Comisión Intersecretarial convocó a una licitación basada en los lineamientos siguientes:
 - la sobreposición longitudinal, sería como máximo de 65% y como mínimo de 55%.
 - la sobreposición transversal sería de un 15% como mínimo.
 - La distancia focal sería de 6 pul. usando cámaras de las llamadas "cartográficas".
 - La dirección de las líneas de vuelo serían de Este-Oeste
 - La altura del vuelo no sería menor a 30 000 pies (9 000 metros)
 - Las líneas de vuelo tendrían que ser en línea recta y cuando las fotografías correspondientes tuvieran "giro" esto no debía exceder de los 10°
 - No se aceptarían fotografías con nubes o carentes de nitidez.
 - Una vez revisados los vuelos, las zonas que no fueran cubiertas fotográficamente, se volverían a sobrevolar y el gasto sería por parte del contratista.

Para llevar a cabo la determinación de los elementos que conforman la programación del vuelo se ha utilizado la simbología siguiente:

- s Formato, tamaño del lado de la fotografía.
- f Distancia focal de la lente.
- h Altura media del terreno.
- b Base aérea medida en la fotografía.
- B Base aérea medida en el terreno.
- p Valor en porcentaje del recubrimiento longitudinal.
- q Valor en porcentaje del recubrimiento lateral o transversal.
- W Distancia entre líneas de vuelo.
- t Tiempo entre dos disparos consecutivos.
- hg Altura media del vuelo sobre el terreno
- S Dimensión del lado del área fotografiada del terreno.
- Vg Velocidad del avión.
- Mk $I:mk$ = Escala de la carta.
- Mb $I:mb$ = Escala de la fotografía.
- Lo Longitud del largo de la zona que hay que recubrir.
- T Longitud del ancho de la zona que hay que recubrir.
- Np Número de fotografías por línea de vuelo o faja.
- N Número total de fotografías.
- Nq Número de líneas de vuelo.
- F Área cubierta por una fotografía.
- Fn Área estereoscópica por modelo.
- Δs Espacio que sobre la placa recorre un rayo de luz durante el tiempo de exposición Δt .
- Δt Tiempo de exposición.
- H Altitud del avión.
- R Número de rollos de película.
- D Distancia total que recorrerá el avión.
- Σ Número total de fotografías.
- e Espacio.

Para los cálculos que se realizan en la programación del vuelo fotogramétrico se asume que las líneas del vuelo son perpendiculares al plano de referencia y paralelas entre ellas. La determinación o cálculo de los elementos que componen la programación del vuelo consiste, más que en la deducción de ecuaciones matemáticas, en el empleo de simples razonamientos lógicos y en algunas ocasiones de las fórmulas elementales establecidas por la física.

Para el ejemplo siguiente se tomarán en cuenta aspectos relacionados a la carta Jiménez, 13 R-VI.

Se tiene que los datos conocidos para efectuar el vuelo son:

$$mb = 1:80\ 000$$

$$s = 9 \text{ pulg.}$$

$$h = 1\ 900 \text{ mts}$$

$$Lo = 299.816 \text{ km}$$

$$T = 222.384 \text{ km}$$

$$f = 6 \text{ pulg}$$

$$Vg = 260 \text{ km/h}$$

$$p = 60\%$$

$$q = 20\%$$

y los elementos que se requieren determinar son:

1) H Altitud del avión

$$H = f mb + h$$

$$H = (6 \text{ pulg})(80000) + (1900\text{m})$$

$$H = (0.5)(80000) + (1900)(3.28)$$

$$H = (40000) + (6232)$$

$$H = 46\ 232 \text{ ft.}$$

2) Np Número de fotografías por cada línea de vuelo

- lo primero es encontrar las dimensiones correspondientes al terreno.

$$S = s \cdot mb$$
$$S = (0.23)(80000)$$
$$S = 18\,400 \text{ m}$$

- teniendo en cuenta que el traslape longitudinal es del 60%, el avance efectivo corresponde al 40%, es decir:

$$B = (0.40) S$$
$$B = (0.40)(18400)$$
$$B = 7\,360 \text{ m}$$

esto es, que por cada 7360 metros que el avión avance se tomará una fotografía. Suponiendo que el vuelo se realiza de manera paralela a lo largo de la superficie, el número de fotografías es:

$$N_p = (L_o) / (B)$$
$$N_p = (299816 \text{ m}) / (7360) + 4$$
$$N_p = 40.74 + 4$$
$$N_p = 44.74$$
$$N_p = 45 \text{ fotografías por línea}$$

Nota: se agregan 4 fotografía por línea, para asegurar el cubrimiento fotográfico.

3) Nq Número de líneas de vuelo

- primero se debe obtener el avance efectivo lateral, es decir:

$$W = (S)(0.80)$$
$$W = (18400)(0.80)$$
$$W = 14\,720 \text{ m}$$

- el cociente de dividir el ancho de la zona entre el avance efectivo lateral nos da como resultado el número de líneas de vuelo. Además de que se aconseja sumar un coeficiente de seguridad que es igual a la cuarta parte de la dimensión del lado de la fotografía, es decir:

$$\begin{aligned}Nq &= (T + S/2) (W) \\Nq &= (222384 + 9200) (14720) \\Nq &= (231584) (14720) \\Nq &= 15.73 \\Nq &= 16 \text{ líneas de vuelo}\end{aligned}$$

4) Σ , Número total de fotografías

$$\begin{aligned}\Sigma &= (Np) (Nq) \\ \Sigma &= (45)(16) \\ \Sigma &= 720 \text{ fotografías}\end{aligned}$$

5) R, Número total de rollos de película que se deberá llevar

- es igual al cociente que resulte de dividir el número total de fotografías más 15% para imprevistos, entre el número de exposiciones que tenga el rollo, si este presenta 250 tomas, se tendrá:

$$\begin{aligned}R &= (1.15)(\Sigma) / 250 \\ R &= (1.15)(720) / (250) \\ R &= 828 / 250 \\ R &= 3.31 \\ R &= 4 \text{ rollos}\end{aligned}$$

6) t, Intervalo de exposición

- este intervalo se refiere al disparo de la cámara para obtener una fotografía, para lo cual se debe tomar en cuenta la velocidad del avión y el avance longitudinal.

$$\begin{aligned}\text{vel} &= 260 \text{ km / h} \\ \text{vel} &= 72.22 \text{ m / seg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t &= \text{espacio} / \text{velocidad} \\ t &= 7360 / 72.22 \\ t &= 101.91 \text{ seg}\end{aligned}$$

7) Δt , Tiempo de exposición.

- se debe entender al tiempo que se le va a dar al obturador para obtener la fotografía. De una forma empírica se ha obtenido que el tiempo de exposición está en el desplazamiento máximo que equivale al 0.00005 (d').

$$e = mb d'$$

$$e = (80000)(0.00005)$$

$$e = 4 \text{ m}$$

$$\Delta t = e / t$$

$$\Delta t = 4 / 72.22$$

$$\Delta t = 0.055 \text{ seg.}$$

8) D, Distancia total que se debe recorrer.

- se debe considerar la distancia por cada línea de vuelo, más cuatro exposiciones (dos por cada extremo), el tiempo que el camarógrafo emplea en cambiar el rollo cuando no lo realiza el cambio de línea de vuelo, el tiempo que tarda la aeronave en dar la vuelta en cada línea de vuelo.

16 líneas de vuelo: (18)(299816)	4797.056 km
4 fotografías / líneas: (4)(7360)	29.44
15 vueltas: (17)(0.07222 x 60) 5 minutos	324.999
3 cambios de rollo: (3)(0.07222 x 60) 6 minutos	77.998
	5 229.493
10 % de imprevistos	522.950
Total	5752.443 km

- otro punto importante es el tiempo de vuelo.

$$t = e / v$$

$$t = 5752.443 / 260$$

$$t = 22.1478077$$

$$t = 22 \text{ horas } 7 \text{ minutos}$$

2.4 Control Terrestre

Dentro de las especificaciones que se pedía a los contratistas para llevar a cabo la construcción de la carta, estaba la determinación de los puntos de control terrestre.

Se entiende por control terrestre a los puntos en el terreno que nos van a proporcionar la información de coordenadas (latitud y longitud), altitudes, y distancias que existen entre dicho punto y otros rasgos importantes que aparecen en la fotografía (carreteras, ríos, poblados, etc.).

El medio tradicional para establecer un control es la triangulación, cuyo principio se basa en la trigonometría simple, es decir que si se conocen dos ángulos y la longitud de uno de los lados de un triángulo, o si se conoce la longitud de los tres lados, es posible establecer con precisión el tamaño y la forma del triángulo. Las mediciones de los ángulos se efectúan utilizando un teodolito, mientras que las distancias que en el pasado tenían que medirse de manera muy laboriosa con cintas de medir metálicas, se registran ahora utilizando instrumentos electrónicos de medición de distancias. El hecho de que la Tierra sea un esferoide y no una superficie plana significa que es imposible medir en su superficie líneas rectas euclidianas. Las líneas medidas de ese modo no son ni siquiera arcos de una verdadera esfera, lo que crea complicaciones en las mediciones y en los cálculos. Sin embargo, esto no afecta la simplicidad del principio, y en última instancia la mayoría de los mapas modernos se basan en una serie de triángulos derivados de una o dos líneas básicas de longitud conocida que se extienden a través de toda la superficie cubierta por el mapa. De esta manera se ha formado una red primaria de puntos de control que a su vez se han usado como base para determinar una serie de redes de segundo orden, las cuales se han usado para establecer puntos de tercer y cuarto orden, con los detalles locales fijados en relación con la red general.

Existen diferentes métodos para poder obtener las coordenadas de ciertos puntos partiendo de otros ya identificados, éstos son:

- a) La Propagación, es el proceso que permite transportar las posiciones geodésicas a través de grandes áreas, por medio de triangulaciones geodésicas (medidas angulares).

- b) La Extensión se apoya en la Propagación al permitir extender el control geodésico a través de áreas limitadas por triangulaciones. La extensión se lleva a cabo por medio de trilateraciones y de intersecciones efectuadas desde tres vértices.

- c) La Densificación se refiere al establecimiento de puntos coordenados para densificar un área determinada; se emplean poligonales apoyadas, en intersecciones y resecciones”.

Las técnicas topográficas electrónicas son ahora la norma en el mundo más desarrollado. Incluyen mediciones hechas utilizando una “estación total” que combina tanto las calidades angulares de un teodolito tradicional con mediciones electrónicas de distancia como el registro automático de datos. Las ventajas de la utilización de este equipo son las siguientes: la rapidez con que pueden efectuarse levantamientos en comparación con los métodos tradicionales, obteniéndose así niveles más altos de productividad; un riesgo menor de cometer errores graves en las mediciones, y una exigencia menor de capacidades de manipulación para obtener niveles mucho más elevados de precisión y exactitud. Las desventajas de los métodos electrónicos son una inversión de capital mucho más elevada y el costo de mantenimiento mucho más alto, factores que reducen las divisas que poseen los países en desarrollo.

2.5 Triangulación Radial

A la obtención de los puntos de apoyo complementarios, conseguidos desde el aire se le denomina *triangulación aérea*, no porque tenga relación alguna con una verdadera triangulación, sino por conservar el nombre que en Topografía clásica, que se ha venido designando durante siglos a la obtención de puntos de apoyo principales. La identificación de puntos de apoyo desde el aire puede permitir el determinar sus tres coordenadas X, Y y Z, es entonces cuando se le denomina triangulación espacial, posible de conseguir, con

mayor o menor precisión, haciendo uso de los modernos restituidores, cuando no se tienen estos, es posible hallar la X y la Y utilizando un método denominado *triangulación radial*, que es la obtención planimétrica de los puntos de control, teniendo en cuenta que este proceso es mucho menos exacto que la triangulación espacial.

Para llevar a cabo dicha Triangulación es necesario preparar las fotografías, esto es, se tiene que obtener el punto principal de cada fotografía y transferirlo a la(s) fotografías contiguas, cada fotografía deberá contener un punto principal y dos transferidos (con excepción de la primera y la última de cada línea de vuelo que solo tendrá un punto transferido). Los puntos principales se obtienen con la ayuda de las marcas de colimación de cada fotografía y los puntos auxiliares se eligen con un criterio personal, escogiendo dos puntos auxiliares en cada fotografía (uno en la parte superior y otro en la parte inferior) transversalmente a la dirección del vuelo. Por último se marcan los puntos del control terrestre, en todas las fotografías donde aparezcan. Toda esta preparación se pide que sea lo más exacto posible ya es el esqueleto del trabajo.

Dentro de las exigencias que se pidieron a los contratistas que participaron en la licitación para la construcción de la carta, estaba la de la utilización de una triangulación radial que se apoyara en la utilización de regletas metálicas para obtener mayor precisión en ella.

Existen diferentes métodos para realizar esta Triangulación Radial, entre los que destacan; el gráfico, el analítico, el geométrico y el mecánico, siendo este último el que se utilizó en la elaboración de la carta escala 1:500 000, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Comisión Intersecretarial.

Método Mecánico. Según Francis H. Moffit en su obra *Photogrammetry*, dice que los instrumentos necesarios (figura 2-10) para la aplicación de este método son los siguientes:

1. Perinolas, de base plana circular y de vástago con orificio de diámetro exacto para medir la entrada de la aguja.
2. Centro de base plana hexagonal y vástago con cuerda exterior; el diámetro interno es de aquella dimensión que permite la entrada de la perinola sin holgura.
3. Tuerca hexagonal con cuerda afín al centro.
4. Agujas cuyo diámetro permita la penetración de las perinolas.

5. Regletas metálicas ranuradas de varios tamaños, el ancho de la ranura tiene por dimensión el diámetro externo del vástago de la perinola, lo que permite de deslizarse en toda su longitud; en la parte inferior lleva un círculo con diámetro igual al vástago del centro, que le permite su entrada sin holgura; en la parte superior lleva un corte que define la mitad de la ranura.

Además de que se requieren herramientas auxiliares, como:

1. Desarmador de caja hexagonal con dimensión que permita atornillar la tuerca.
2. Martillo pequeño, para clavar las agujas.
3. Llave plana hexagonal que permite sujetar el centro.
4. Pinzas, para sacar las agujas que se han clavado.

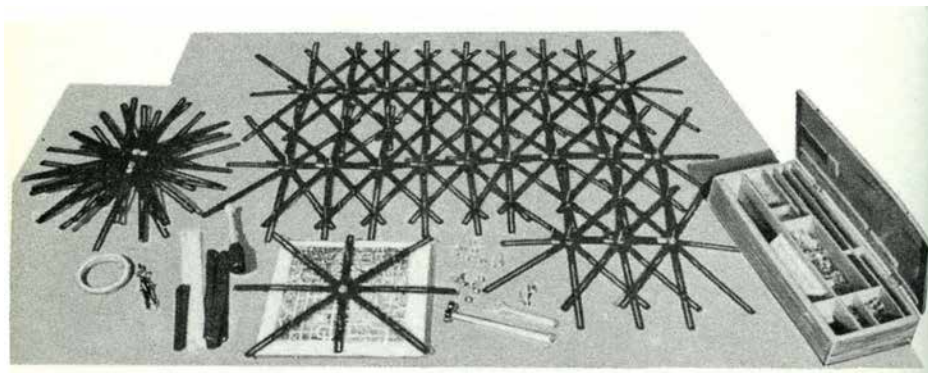


Figura 2-10
Instrumentos necesarios para la aplicación
del Método Mecánico.

En el armado de los templete es necesario situar la fotografía aérea sobre un cartón con la finalidad de poder clavar las agujas en los puntos principales y auxiliares, en una de las agujas se introducen las perinolas; para después colocar el centro en el punto principal, las regletas se instalan y se sujetan al sistema por medio de la tuerca utilizando el desarmador de caja y abajo la llave plana. Una vez obtenido el templete que representa una plantilla metálica, se anota la línea de vuelo y el número de fotografía. Cuando todas las fotografías han sido representadas por estas plantillas, se van armando al sobreponerlas en los puntos de control terrestre situados por coordenadas en el mapa que se habrá de realizar, en las intersecciones originadas por las regletas se colocan las perinolas para que por medio de movimientos y agitaciones las presiones y tensiones producidas se equilibren de la mejor manera posible, se realiza una compensación mecánica del conjunto de la triangulación así materializada.

Al momento que se tienen armado el templete, se procede a clavar una aguja en cada una de las perinolas hasta que se logre traspasar el papel del mapa y se llegue al soporte tratando de que el sistema quede fijo completamente. Es necesario circundar y anotar las denominaciones de cada uno de los puntos principales y auxiliares, por lo que se levanta por partes el armado del templete con ayuda de las pinzas que sirven para retirar las agujas que se encuentran clavadas. De tal forma que las perforaciones producidas por las agujas en la proyección cartográfica elegida, nos proporcionaran las coordenadas de cada punto al ser apreciadas por un escalímetro.

2.6 Proyección Cartográfica Transversa de Mercator

Partiendo que una proyección cartográfica es una representación sistematizada de una porción de la superficie terrestre sobre un plano, siempre resultará aproximada y nunca será rigurosamente exacta. Lo que se trata de hacer es una representación plana lo más apegado posible a la realidad.

Dentro de los lineamientos establecidos en la licitación por parte de la Comisión Intersecretarial, se hacía un especial énfasis a la proyección que se utilizaría al momento de construir la carta, se eligió la proyección cartográfica Transversa de Mercator. Pese a algunos comentarios desfavorables por parte de personas interesadas en adoptar otro tipo de proyección, la Comisión Intersecretarial fundó las razones de su utilización en los fundamentos siguientes:

- a) Es una proyección cilíndrica transversal de tipo Gauss Krüger, es decir, es una proyección policilíndrica, que toma husos de 6 grados de amplitud y en cada uno de estos husos, el cilindro de proyección, que tiene su eje en el plano ecuatorial, es secante a lo largo de toda el meridiano central. Las zonas se hayan limitadas por meridianos, cuyas longitudes son múltiplos de 6 grados al oriente y poniente del meridiano de Greenwich. El origen de las latitudes es el Ecuador (cero grados).
- b) La proyección Transversal de Mercator es la que se obtiene al proyectar el esferoide sobre un cilindro secante a un meridiano, con la cual se obtiene la

ventaja que dentro de cada huso de 6 grados de longitud, habrá dos líneas norte-sur, comunes al cilindro y al esferoide, que no sufrirán deformación alguna, sino que aparecerán en la proyección con su verdadera magnitud. Estas dos líneas se hayan situadas a 180 000 metros al oriente y al poniente del meridiano central, de manera que los meridianos que pasan por estas líneas, como no se deforman tendrán a la unidad como módulo de corrección; en tanto que el meridiano central que aparece en la proyección con una magnitud un poco mayor que la real tendrá un modulo de corrección igual a 0.9996. Así el módulo de corrección para esta proyección aumentará de valor desde el meridiano central, tanto al oriente como al poniente, hasta llegar a valer la unidad en las cercanías de los meridianos que se encuentran situados a 180 000 metros a uno y otro lado del meridiano central y continuará aumentando hasta llegar a valer 1.0008 en los meridianos extremos de los husos de 6 grados de longitud por 8 grados de latitud en las partes situadas entre los 16 y 32 grados de latitud norte que es donde se encuentra nuestro país.

- c) Por ser una proyección "conforme", conserva la forma de las repetidas zonas de 6 x 8 grados, debido a que son lo suficientemente pequeñas como para tener una deformación mínima. La proyección también es rigurosamente equiángula, por lo que, dentro de ciertos límites de tolerancia, las distancias y los ángulos medidos sobre la superficie terrestre, prácticamente corresponden con los que aparecen en la proyección.

Con las características antes citadas, se pueden enumerar algunas de las ventajas que brinda la utilización de esta proyección:

- a) Esta proyección realiza de mejor manera el desiderátum de los cartógrafos, pues la representación de las áreas terrestres sufren de menores distorsiones, y las distancias y los ángulos medidos en el terreno corresponden a lo representado en la carta.
- b) El caneavá de la proyección (red de paralelos y meridianos), se puede construir con más facilidad, que en el caso de cualquier otra proyección, pues se construye con

ayuda de la cuadrícula correspondiente y se hacen las mediciones según líneas rectas y no curvas.

- c) Los meridianos y paralelos de cada zona de 6 grados de longitud por 8 grados de latitud coinciden perfectamente de manera que la Carta General se puede formar en su conjunto sin que lleguen a quedar espacios huecos en las uniones de las hojas.
- d) Con el uso de esta proyección, no se tendrán problemas cartográficos en las zonas fronterizas por diferencia de proyecciones usadas en los mapas, ya que tanto en los Estados Unidos de América como la República de Guatemala la han adoptado también.

Capítulo 3 La Expresión Cartográfica

La cartografía o trazado de mapas es, al mismo tiempo, un conjunto de técnicas y una materia de estudio académico. La realización de mapas requería tradicionalmente:

- 1) Saber encontrar y seleccionar la información sobre diferentes aspectos de la geografía a partir de fuentes diversas, para después sintetizar los resultados en un único grupo de datos consistente y preciso.
- 2) Técnicas y habilidades de diseño con el fin de crear un mapa final que consiga representar con fidelidad la información, para que los lectores, que poseen diferentes grados de habilidad en la lectura de mapas, puedan interpretarlo correctamente.
- 3) Destreza manual y técnicas de diseño gráfico para simplificar y dibujar la información mediante símbolos, líneas y colores, de modo que el amontonamiento o el desorden sean mínimos y el mapa resulte legible.

Pero los mapas no sólo son creaciones artísticas que muestran las habilidades de sus creadores, sino que son, al mismo tiempo, documentos históricos y sociológicos.

3.1 La Planimetría

Este es un método que se utiliza para expresar en la carta la mayoría de los rasgos físicos y culturales que se encuentran en el paisaje geográfico sobre un plano horizontal. Como rasgos físicos se tienen; ríos, lagos, lagunas, vegetación, contorno continental, etc., y como rasgos culturales tenemos; caminos, carreteras, ciudades, pueblos, presas, canales, etc. El proceso para llevar a cabo esta representación comprende varias etapas, entre las que destacan: la rectificación fotográfica, los mosaicos, los ortomapas y restitución fotogramétrica.

3.1.1 La Rectificación

Al transformar una fotografía aérea en una proyección de terreno se lleva a cabo el proceso llamado rectificación fotográfica. La necesidad de contar con la ordenación y con un inventario de los recursos naturales del territorio nacional, dio como resultado la creación de una cartografía mucho más eficiente y con esto más apegada a la realidad. Así pues hacia finales de la década de los años cincuenta encuentran su mayor medio de expresión en las fotografías aéreas.

Existen diferentes métodos para llevar a cabo el proceso de la rectificación, entre los que destacan; el sistema gráfico punto por punto (denominado tiras de papel), la rectificación subjetiva (apoyado en el empleo del sketchmaster) y la rectificación óptica objetiva (basado en el empleo de rectificadoras).

Una vez obtenida la triangulación radial, en la que se tiene una carta base puntual, con las posiciones de los puntos principales, auxiliares y de apoyo de la fotografía empleadas, se puede llevar a cabo la rectificación subjetiva. La información contenida en las fotografías, que son las imágenes del paisaje geográfico, debe representarse en la carta que se va a realizar, aunque no es posible calcarse directamente de las fotografías debido a que estas se encuentran en proyección perspectiva de punto central, existen diversos instrumentos que han dado solución a este problema.

Esencialmente este procedimiento es utilizado para proyectar, mediante un foco luminoso, el fotograma colocado en una cámara idéntica a la de obtención del mismo y que guarde respecto a un plano horizontal la misma situación que tenía respecto al terreno (Valdés, Francisco. 1981).

Para esto, se coloca la fotografía ab (figura 3-1) sobre un bastidor CM, de modo que forme con el plano CN, el ángulo de inclinación que tenía con el eje de la placa en el momento de la toma de la vista; se gira la fotografía alrededor de ab hasta que forme el ángulo de inclinación transversal conveniente, se coloca en O un objetivo igual al empleado en la cámara con la que se hizo la fotografía y de manera que su eje óptico

pase por el punto principal p de la misma. En estas condiciones bastara con iluminar la placa fotográfica con un foco L para reproducir exactamente, pero a la inversa, el haz luminoso que imprimió la fotografía.

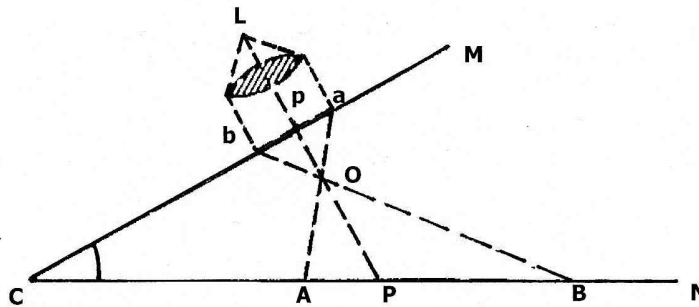


Figura 3-1
Fundamento del método óptico.

Si se coloca un papel fotográfico sobre CN , se reproducirá una imagen semejante a la del terreno.

La cámara clara. En este aparato se basan varios instrumentos monoculares para la restitución con una sola fotografía, es un aparato mediante el cual el observador ve dos imágenes superpuestas, una de la fotografía y la otra de un mapa ya existente.

Consta (figura 3-2) de un soporte S donde se coloca el fotograma, de un espejo semitransparente E y de una mesa P donde se coloca el plano. Con la disposición de la figura, el observador situado en O , ve por reflexión el espejo, los puntos del fotograma y directamente los del plano a través de la parte no azogada del espejo: por lo que verá superpuestas las imágenes del punto m del fotograma y la M del plano. De aquí que un lápiz situado en M parecerá estar en contacto con m del fotograma y los detalles de este podrán pasarse al plano "recorriéndolos" con el lápiz, en un papel colocado sobre la mesa P .

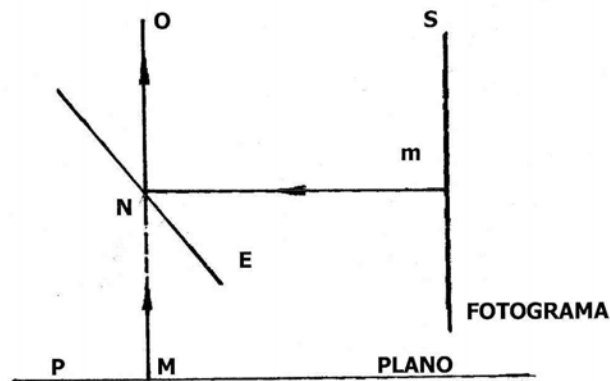


Figura 3-2
Fundamento de la Cámara Clara.

Como el ojo ha de ver confundidas las imágenes m y M , debe percibir las en igualdad de tamaño y claridad, lo que se logra interponiendo en el recorrido de los rayos procedentes de ambas, unas lentes apropiadas.

Finalmente para evitar que se produzcan desplazamientos de las imágenes, es decir, paralajes de situación, se obliga al ojo a mantener una posición fija, haciendo que efectúe la observación a través de un pequeño ocular.

3.1.2 Los fotomosaicos

Este nombre se utiliza para las imágenes del terreno conseguidas por yuxtaposición de fragmentos de fotografías verticales (figura 3-3), y son un caso de utilización directa de estas imágenes. Su confección está plagada de dificultades prácticas especialmente en terrenos accidentados, como consecuencia de las diferencias de contorno que las figuras del terreno llegan a presentar desde los diferentes puntos de vista, por ser la fotografía una proyección cónica, a diferencia del plano que es una fotografía ortogonal. La utilidad de este tipo de materiales aerofotográficos es considerable, pero su uso se debe estar siempre controlado para no emplearlo más allá de sus posibilidades, ya que no debe utilizarse más que como un croquis informativo, carente de cualidades métricas.

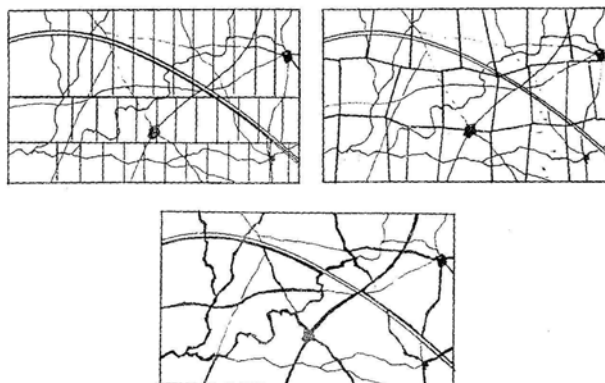


Figura 3-3
Distintas formas de composición de un mapa.

El mosaico más elemental, es el llamado de índice, que solo sirve para conocer el contenido de la fotografía a la hora de seleccionar las necesarias. Su realización se lleva a cabo uniendo unas fotografías a continuación de otras, prescindiendo de las zonas de sobreposición, que son recortadas.

Los mosaicos ordinarios llevan un mayor control; se realizan uniendo solo las zonas centrales de cada foto, ya que son las menos afectadas por el efecto de la proyección, las zonas seleccionadas pueden ser recortadas de acuerdo a secciones rectas muy fáciles de acoplar, o siguiendo líneas naturales del terreno, más difíciles de recortar y de adaptar, pero más correctas en cuanto a su unión, ya que ni por error se puede producir repeticiones del territorio. Estas líneas pueden ser carreteras, vías de ferrocarril, ríos o límites parcelarios muy visibles.

Si el fotomosaico corresponde a un vuelo un tanto irregular, se cuidará antes de formarse de seleccionar las fotografías que previamente han sido rectificadas, no simples copias de contacto, cuyo acoplamiento sería aun menos posible.

Las utilidades de un fotomosaico pueden ser muy variadas, desde la elemental de servir de índice de sus propios componentes, hasta la máxima de suplir la falta de un mapa; pero se debe tener siempre en cuenta antes de la realización del mismo, que no se trata

de un mapa y que en especial, las alineaciones pueden tener deformaciones importantes. Solo habiéndose montado uno se percibe con claridad que el resultado obtenido, es sólo una de las muchas soluciones posibles y que todas serían igualmente válidas, aunque distintas entre sí, lo que ya es un buen indicador de la limitada fiabilidad que merecen.

3.1.3 La ortofotografía

Es un medio rápido de formación directa de cartografía a partir de las fotografías aéreas. Su precisión es mediana pero muy superior a la de los fotomosaicos. En la rectificación de fotografías se consigue eliminar la inclinación; no es posible suprimir los desplazamientos de las imágenes por relieve, sin embargo, en la ortofotografía se consigue desvanecer casi por completo los dos tipos de desplazamiento.

Su utilidad es mucho mayor en aquellas zonas con un insuficiente desarrollo cartográfico, pues su confección es rápida, y en donde no se requiere una gran precisión planimétrica, como son las valoraciones catastrales.

La idea básica de la ortofotografía fue propuesta en 1931 por Lacmann, pero no llegó a desarrollarse hasta 1955, con el Ortophotoscope de Bean. La imagen obtenida no difiere aparentemente de una ampliación fotográfica normal, sin embargo sus propiedades geométricas han sido alteradas, y no es una proyección cónica, sino una suma de bandas, de solo unos pocos milímetros de anchura, cada uno de los puntos de los cuales es proyección ortogonal de la intersección de dos rayos homólogos de un sistema de dos haces proyectivos. Se elimina así la deformación planimétrica causada por el relieve en la imagen fotográfica normal.

El sistema óptico es el parecido al de los primitivos anáglifos, cuyas sucesivas intersecciones de rayos con imágenes impresas en un papel fotográfico. Existen también equipos ortográficos acoplables a restituidores capaces de trazar simultáneamente las curvas de nivel, que pueden luego fotoimprimirse a la imagen fotográfica mejorando así sus posibilidades cartográficas.

3.1.4 Representación planimétrica

Para la obtención de la planimetría de una Carta Geográfica existen diversos procedimientos y aparatos. Durante la construcción de la Primera Carta para la República Mexicana, en los años de 1956 a 1958, se emplearon principalmente dos métodos, que fueron: 1) Las Cuadrículas Proporcionales y 2) El Sketchmaster.

El Departamento Cartográfico Militar se encontraba en esos años realizando la Carta General en escala 1:80 000. Era una serie de 144 hojas de las cuales 37 se encontraban publicadas y el resto, es decir 107 hojas, se hallaban en diferentes estados de avance en su construcción. Con la finalidad de aprovechar la información que se ya se tenía, se optó por emplear el Método de las Cuadrículas Proporcionales, con el cual se hizo una reducción de la escala original de la información a la requerida en la elaboración de esta nueva serie de cartas, esto es a 1:500 000. Para las nuevas fotografías que se obtuvieron de aquellas zonas en donde no se contaba con el material suficiente para el desarrollo la Carta para la República Mexicana, se utilizó el Sketchmaster para su restitución.

1) Cuadrículas Proporcionales. Para desarrollar este método, que es puramente de carácter gráfico, es necesario contar con una triangulación radial confiable, micas, un punzón, marcadores de cera rojo y azul, y una regla graduada.

Consiste en colocar una cuadrícula ortogonal trazada en un medio transparente sobre la fotografía, dicha cuadrícula tendrá dos ejes centrales perpendiculares entre sí, cuya intersección marcará el centro geométrico de la cuadrícula. El número de cuadros es convencional, aunque debe tenerse en cuenta que a mayor número de cuadros la estimación de los accidentes geográficos será más grande, teniendo cuidado de que no se impide la fácil observación.

La cuadrícula se sobrepone en la fotografía de manera que se haga coincidir el centro con el punto principal de esta, teniendo como objetivo primordial el poder situar con coordenadas todos estos accidentes geográficos en relación con dicha cuadrícula.

Las micas deben cortarse de 228 mm o 9 pulg por lado, que es el tamaño que tienen las fotografías, se traza en cada una de las micas, con ayuda del punzón, cuatro líneas verticales y cuatro horizontales, de manera que la mica quede seccionada en dieciséis partes igual (figura 3-4).

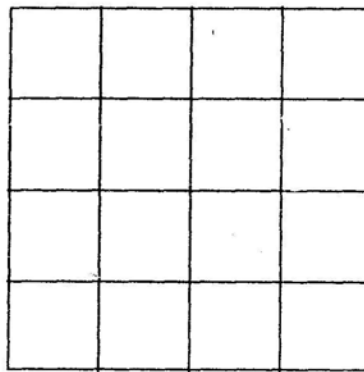


Figura 3-4
Cuadrícula proporcional, trabajada por un solo lado.

Sobre las líneas que han sido trazadas, se pintan con el marcador de cera rojo de tal manera que el color quede impregnado en la ranura que dejó el punzón al rayar las micas. Se remueve el exceso de color sobrante.

Por la cara posterior de las micas, se trazan líneas justo a la mitad de las divisiones rojas con ayuda del punzón. Estas líneas se pintan ahora con el marcador de cera azul, repitiendo la operación anterior. La mica queda entonces como se muestra en la figura 3-5, donde las líneas continuas representan el color rojo y las líneas punteadas hacen referencia al color azul.

Aunque en teoría solo se necesitaría realizar una sola mica ya que todas las fotos miden lo mismo, en la realidad es diferente por que para realizar la planimetría por el método de cuadrículas proporcionales se requiere elaborar más micas que variarán de tamaño con respecto a la anterior. El tamaño de estas micas dependerá de la distancia que haya entre los puntos de triangulación radial, debido a que la distancia entre los mismos puntos de las fotografías y de la triangulación radial no son los mismos, resultado de las correcciones a las que se han sometido.

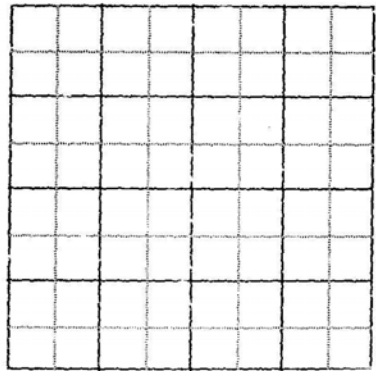


Figura 3-5
Cuadrícula proporcional, trabajada por ambos lados.

El tamaño de las nuevas micas se puede saber por medio de una simple regla de tres, por ejemplo; si se necesita llevar acabo la mica del punto 2 de la triangulación radial, se necesita conocer la distancia que hay entre los puntos 1 y 3 de la fotografía y de esa misma triangulación (figuras 3-6 y 3-7).

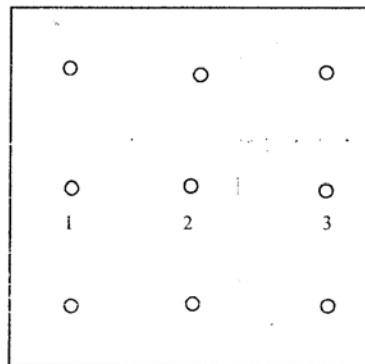


Figura 3-6
Fotografía aérea.

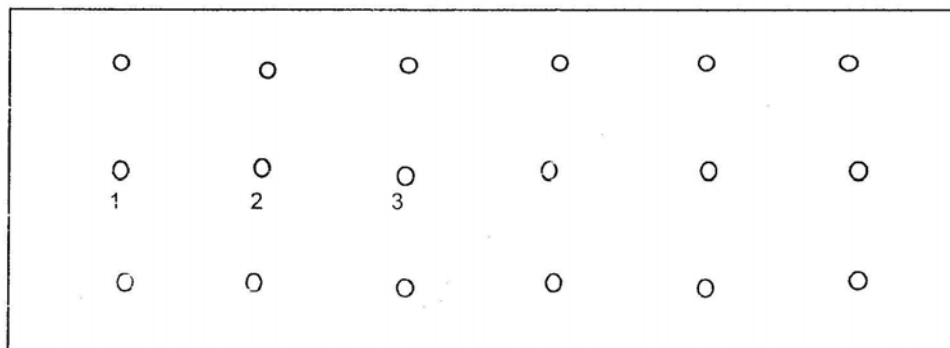


Figura 3-7
Triangulación radial.

En la fotografía aérea la distancia 1-3 es mayor que en la triangulación radial, así que será necesario medir las dos distancias con ayuda de la regla graduada, suponiendo que la medición indicó que en la imagen aérea la distancia 1-3 = 206 mm y en la triangulación radial la distancia 1-3 = 174 mm, se realiza la siguiente regla de tres:

206 mm → 228 mm, que es lo que mide la mica de la fotografía aérea

174 mm → x = 192.6 mm, que es lo que debe medir la mica para estos puntos en la triangulación radial.

Cada distancia entre los puntos principales transferidos de las fotografías debe ser medida, y se deberán elaborar tantas micas como resultados diferentes se hayan obtenido de sus correspondientes reglas de tres.

Estas nuevas micas se realizarán de la misma forma que la primera mica general, quedando así hechas las cuadrículas proporcionales (figura 3-8).

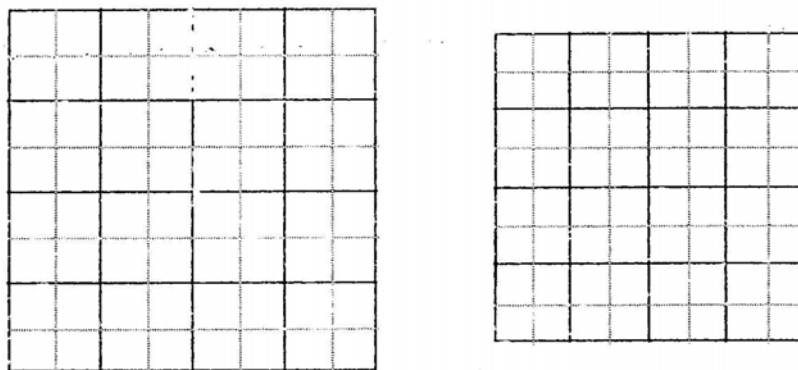


Figura 3-8
La mica del lado izquierdo pertenece a la cuadrícula de la fotografía
Mientras que la del lado derecho pertenece a la Triangulación Radial.

Cada detalle que quede dentro de la mica sobrepuesta en las fotografías, deberá ser copiado en la cuadrícula proporcional de la triangulación radial, tal como los dibujos a escala. La mica de la triangulación radial se debe colocar debajo del plano donde esta localizada la triangulación radial, ya la primera es transparente y la segunda es translúcida, y si se colocan ambas una mesa luz, se podrán apreciar de una mejor manera las cuadrículas a fin de copiar los detalles directamente sobre la carta.

Para la orientación de las cuadrículas que se realizaron, se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Se coloca el cruce central de las líneas rojas de la cuadrícula sobre el punto principal de la fotografía y su correspondiente en la carta.
- Se traslada esta línea roja a cualquier otro punto principal transferido de la fotografía y su homólogo en la carta.
- El otro punto principal, debe quedar al Norte o al Sur de la línea roja tanto en la fotografía como en la carta, así se tendrá la certeza que la cuadrícula ha quedado bien orientada y como resultado la planimetría quedará bien realizada (figuras 3-9 y 3-10).

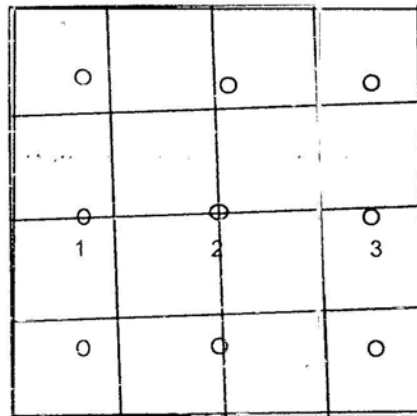


Figura 3-9
Orientación de la mica cuadriculada con la fotografía.

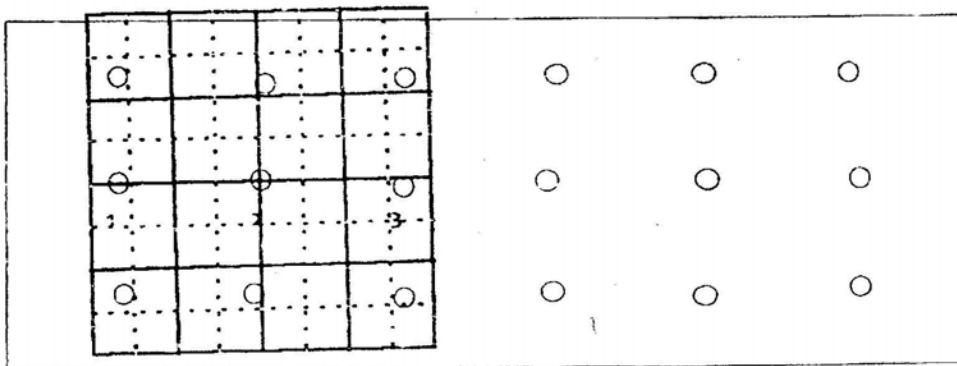


Figura 3-10
Orientación de la mica cuadriculada en el mapa.

Una vez que se ha procedido a orientar las micas tanto en la fotografía como en la carta, el siguiente paso es copiar los rasgos según el criterio tanto del estudio que se esta llevando a cabo como el del propio dibujante. En la realización de una carta topográfica, como es el caso que ocupa en esta investigación, lo principales rasgos a representar son la red hidrográfica, las vías de comunicación, las poblaciones, zonas agrícolas.

2) El Sketchmaster. Existieron otros aparatos más refinados, basados en el principio de la cámara clara, el Sketchmaster fue uno de ellos. Este aparato fue utilizado por el Departamento Cartográfico Militar durante la rectificación de la fotografías utilizadas en la construcción de la primera carta en escala 1:500 000 para la República Mexicana.

Esta compuesto (figura 3-11) principalmente por: portafoto, soporte, prisma y juego de lentes. El portafoto aparece normalmente en posición vertical, pero puede girar alrededor un punto, dentro de un rango grande, por estar apoyado en un cardán de rótula prisionera. La fotografía se fija al portafoto por medio de cuatro imanes. El soporte esta formado por una base circular y una barra vertical graduada, sobre la cual se desliza una pieza metálica, que a su vez tiene el cardán, permitiendo así variar la distancia de observación del mapa. El prisma esta diseñado de forma que a través de el puedan observarse de forma monocular y simultáneamente la fotografía y la carta. Existe también un portaprisma, que sostiene por medio de un brazo metálico en la barra del soporte. Este brazo permite variar la distancia de observación a la fotografía.

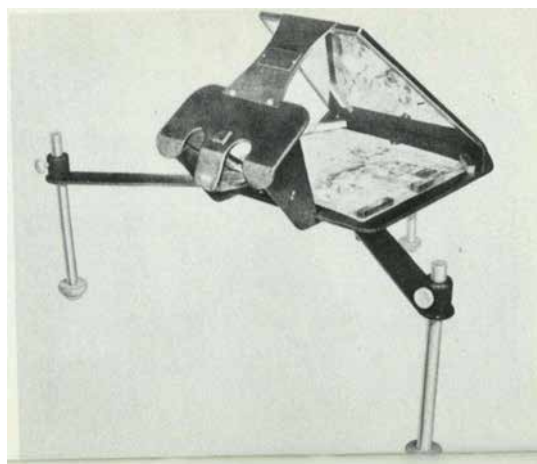


Figura 3-3
El Sketchmaster.

La variación existente entre las distancias prisma-fotografía y prisma-mapa, da como resultado el ajuste a las escalas establecidas. Este ajuste se facilita con el empleo de la tablas que permiten determinar la posición que debe ocupar el prisma, la distancia fotografía-mapa, seleccionar las lentes que hay que utilizar y conocer la escala media de la fotografía y de la carta. El último ajuste es el más pequeño que se realiza con las lentes positivas o negativas, y la visualidad uniforme entre el mapa y la carta se logra con el reflector y filtros de oscurecimiento (juego de lentes ahumados).

Es suficiente con los 9 puntos que se determinaron por medio de la triangulación radial para ejecutar el ajuste. Utilizando el movimiento giratorio que tiene el portafoto, se corrige la inclinación de la fotografía una vez que la escala ha sido ajustada.

Cuando el terreno es plano y el campo de visión a través del prisma abarca toda la fotografía, con facilidad se hará la coincidencia de todos los puntos extremos de la fotografía con los demarcados en la carta; lo demás es trazar la planimetría. Cuando el campo de visión a través del prisma o el campo es demasiado montañoso, el trabajo tendrá que llevarse a cabo por partes.

Con el uso de este aparato se corrige la inclinación de la fotografía; aminora los desplazamientos por relieve al apoyarse en los puntos de la triangulación radial, amplía y reduce la escala hasta tres veces, es exacto para fotografías de terreno plano y permite dibujar la planimetría (Caire, J. 2003)

3.2 Altimetría

La Altimetría es una rama de la topografía y de las disciplinas afines que se encarga de la determinación de la altitud de los puntos de la superficie terrestre. La altimetría se compone de un conjunto de trabajos que suministran los elementos para conocer las alturas de los puntos y la forma de la superficie terrestre en sentido vertical.

Se define como curva de nivel la traza o intersección del terreno con un plano horizontal, o de otro modo, es línea generalmente curva o sinuosa que une puntos de cota igual y redonda del terreno. De acuerdo con lo anterior, para estar en condiciones de trazar o determinar sobre el dibujo planimétrico, previamente elaborado, las curvas de nivel, es necesario situar sobre dicha planimetría una serie de puntos de igual altitud, de acuerdo con la equidistancia elegida a través de los cuales pasará la curva de nivel considerada. Se entiende por equidistancia a la distancia verdial uniforme que existen entre los planos horizontales con los cuales idealmente se considera que se corta el terreno, y tienen como idea directriz que cuanto más plano es un terreno, menor debe ser la equidistancia e inversamente, en zonas accidentadas la equidistancia debe agrandarse.

Al hablar de altitudes se hace referencia a la elevación de un punto con respecto al nivel del mar, en tanto cuando se habla de alturas, se hace referencia a un determinado plano en del terreno a partir del cual se tomarán los puntos; así pues las alturas, también denominadas cotas, invariablemente dan la idea de diferencias que serán relativas; en cambios las altitudes son absolutas.

3.2.1 El Paralaje Estereoscópico

Paralaje estereoscópico o paralaje absoluto es el cambio en posición en la imagen de un mismo punto de dos fotografías producido por el cambio en la posición de la cámara.

Si desde dos puntos O1 y O2 se toman fotografía de un punto A ubicado sobre una perpendicular a la recta determinada por los puntos principales P1 y P2 por el punto P2' se obtendrán las imágenes a' y a'' de punto A (figura 3-12).

El punto a' aparece en la parte derecha de la fotografía izquierda pero su homólogo a'' aparece en el centro de la fotografía derecha. El desplazamiento que presentan estos dos puntos con respecto a los puntos principales es el paralaje estereoscópico p y puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$PA = P'1 P''2 - a' a''$$

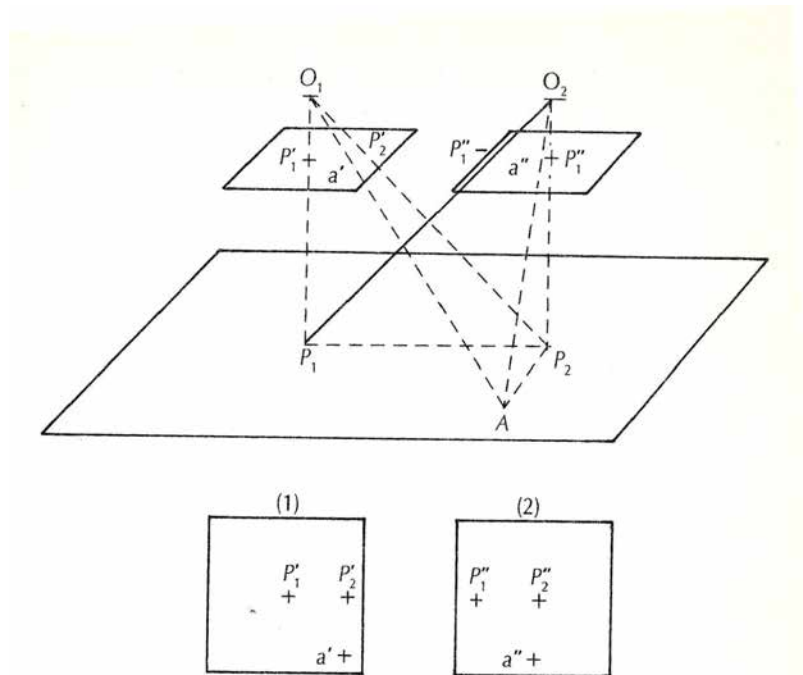


Figura 3-12
El paralaje absoluto

Si quiere calcularse el paralaje de los puntos principales las fórmulas serán las siguientes:

$$Pp1 = P'1 P''2 - P'1 P'2 = P''1 P''2 = \text{Base de la fotografía derecha.}$$

$$Pp2 = P'1 P''2 - P'2 P'2 = P'1 P'2 = \text{Base de la fotografía izquierda.}$$

Para entender como se efectúa el cálculo de diferencia de alturas a partir de valores de paralaje absoluto, se relaciona primero el paralaje absoluto definido con la posición altimétrica de puntos en el espacio.

Para encontrar un primera relación gráfica se fotografía una pirámide de base cuadrada (ABCD) y vértice (T) desde los puntos O1 y O2 (figura 3-13).

Al proyectar los vértices A B C D T de la pirámide desde el centro de la proyección O1, se obtienen los puntos a', b', c', d' y t' en la fotografía. Además, al rebatir dicho plano, se verá que los puntos a', b', c', d' forman un cuadrado y que el vértice t' está sobre la mediatriz a', d' pero desplazado a la derecha del centro.

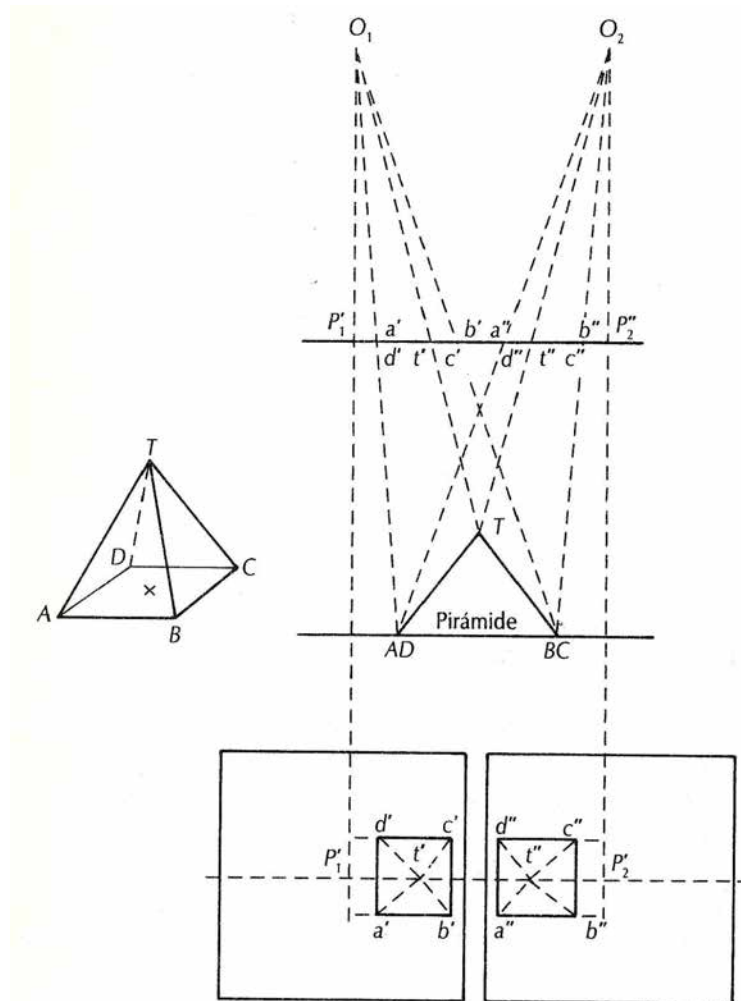


Figura 3-13
Proyección de la pirámide ABCDT desde los centros de proyección O1 y O2.

De modo similar al proyectar la pirámide desde O2 se obtendrán los puntos a'' , b'' , c'' , d'' y t'' aparece desplazado hacia la izquierda.

Para medir el paralaje absoluto se incluyen también en la gráfica los puntos principales P' y P'' .

De acuerdo con la fórmula para cálculo del paralajes absolutos y siendo las distancia $a' a'' = b' b'' = c' c'' = d' d''$ se deduce que los paralajes de los cuatro puntos de la base son

iguales; $P_a = P_b = P_c = P_d$. En conclusión, puede afirmarse que puntos que están a igual altura tienen la misma paralaje absoluta.

La distancia $t' t''$ es inferior a $a' a''$ o sea que P_a es menor que P_t . En conclusión, también puede afirmarse que a puntos más altos corresponden paralajes absolutos mayores.

$$P_t > P_a, P_b, P_c, P_d$$

3.2.2 Principio de la marca flotante

Los paralajes de los puntos pueden ser medidos en forma estereoscópica, con la ventaja de la rapidez y de la precisión, mediante el uso de la marca flotante.

El principio de la marca flotante consiste en colocar dos marcas idénticas, una sobre cada fotografía. Cuando cada una de ellas se encuentra sobre su punto homólogo en la respectiva fotografía, se verán entonces como un solo punto en contacto con el terreno. Si una de las marcas se acerca o se aleja con respecto a la otra, se tendrá la impresión de que el punto subirá o bajará con respecto al terreno.

En la figura 3-13 puede observarse que cuando las marcas están las posiciones m' y m'' , la marca flotante aparece en la posición M , pero si m' se desplaza hacia a la izquierda hasta la posición $m'1$, el punto M descenderá hasta la posición del punto $M1$.

A un desplazamiento Δx en dirección X (paralela a la línea de vuelo) de las marcas a medida, corresponde a una diferencia de la altura ΔH de la marca flotante.

Con base en este principio, se puede medir con una barra de paralaje diferencias Δx y al aplicar la fórmula de paralaje se calculan diferencias de altura (Δx).

Los tipos de marcas flotantes de uso más común son:

- Marcas idénticas, círculos, cruces, etc. (o, X, +).
- Marcas complementarias, semicírculos, letras, etc.
- Marcas tridimensionales.

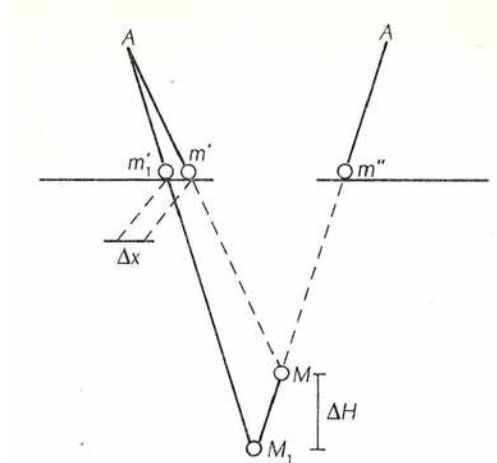


Figura 3-13
Principio de la marca flotante

Las marcas pueden grabarse sobre piezas de material transparente como vidrio o plástico, las cuales, al montarles en la barra de paralaje se colocan sobre puntos homólogos de las fotografías.

3.2.3 La barra de paralaje

Mediante el principio de la marca flotante (que se explica en el siguiente apartado), puede medirse estereoscópicamente el paralaje de puntos sobre pares de fotografía. Para ello se emplea conjuntamente el estereoscopio de espejos y un instrumento denominado barra de paralaje o estereomicrómetro.

La barra de paralaje (figura 3-14) consiste básicamente en una barra de metal a la cual se le adjuntan dos placas de vidrio con un punto grabado en cada una de ellas. Una de estas placas puede ser movida con respecto a la otra, haciendo uso de un tornillo micrométrico.

Se observa el modelo a través de estereoscopio y cuando los puntos aparentan posarse sobre el punto a medir, se toma lectura del vernier.

El paralaje absoluto del punto A está determinado por la fórmula siguiente:

$$Pa = xa' - xa''$$

$$Pa = D - da$$

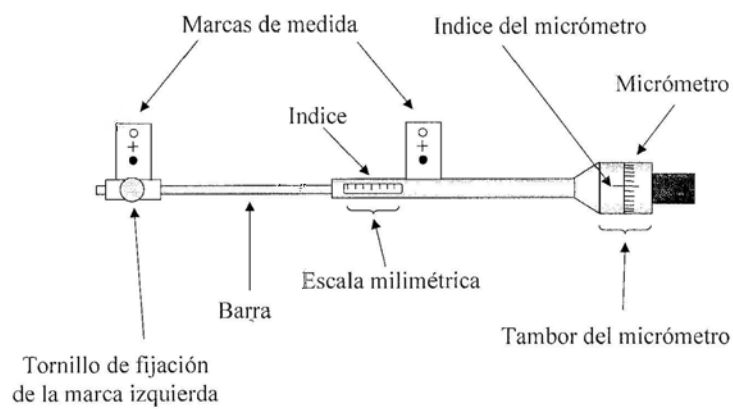


Figura 3-14
Barra de Paralaje

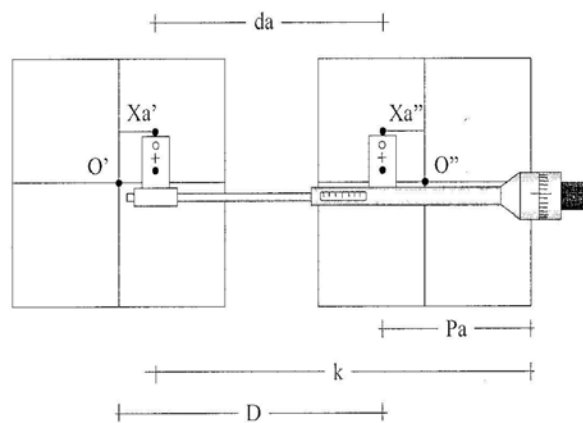


Figura 3-15
Relación de paralaje en la barra de paralaje

La distancia K , entre las marcas flotantes, es la constante de la barra la cual es fija para una orientación determinada de las fotografías sobre las cuales se vayan a hacer lecturas de diferencia de paralajes.

Con el objeto de leer los paralajes en forma directa, es necesario conocer el valor de la constante C de la barra para una posición determinada de las fotografías y el tornillo de ajuste. D representa la distancia entre los centros principales del par que se encuentra orientado y fijo, K y d_a son valores que se pueden obtener una vez ajustada la barra de paralajes. El paralaje del punto A será:

$$P_a = x_{a'} - x_a'' = D - (K-d_a) = D - (K-da)$$

La constante $C = D - K = P_a - d_a$. En la práctica, para determinar el valor de la constante C , se miden los paralajes de dos puntos, usualmente los paralajes de los puntos principales. Debido a diversos factores, éstos serán iguales; el valor que se toma como constante es la media aritmética de ambos.

La fórmula aproximada para determinar la diferencia de altura entre dos puntos es:

$$h = H / b (Pd)$$

Donde H representa la diferencia de elevación entre dos puntos; b la base del modelo y Pd la diferencia de paralajes que existen entre los dos puntos.

3.2.4 Obtención de cotas

Cuando se determinan las alturas de los diferentes puntos caracterizados del terreno resulta difícil que la altitud de los puntos sea cerrada o redonda y que además contengan los mismos valores altitudinales; de otro modo, toda la serie de altitudes serán fraccionadas y diferentes. En la construcción de la Carta para la República Mexicana, que se está desarrollando, uno de los problemas para llevar a cabo el trazo de las curvas de nivel sobre la planimetría fue el unir los puntos de igual altitud, lo que se hizo para

resolver este problema fue localizar en la planimetría todos aquellos puntos a los que su altitud ya se hubiera calculado por diferentes métodos (que se verán a continuación) para posteriormente interpolar aquellos puntos de cota redonda, que son necesarios a lo largo de las líneas de igual pendiente de acuerdo a la equidistancia. Una forma de resumir los pasos que se siguieron durante la construcción de esta carta, son:

1. Se llevo a cabo una elección sobre las fotografías, con la ayuda de mosaico índice, de los puntos más sobresalientes del terreno, como: cumbres, puertos barrancas, cruces importantes de caminos, confluencias hidrográficas, etc., entre los cuales se determinan líneas de igual pendiente, con ayuda de la observación estereoscópica de los pares respectivos.
2. Por los métodos que posteriormente se describirán, se calculo la cota o altitud de los puntos señalados anteriormente con apoyo de los puntos de control vertical previamente obtenidos en el terreno y marcados con su signo correspondiente sobre las fotografías.
3. Transferencia de todos los puntos acotados al dibujo planimétrico por identificación de detalles.
4. Interpolación lineal a lo largo de las líneas de igual pendiente de todos los puntos de altitud redonda necesaria de acuerdo con la equidistancia adoptada.
5. Trazado de las curvas de nivel uniendo todos los puntos de igual altitud por medio de la observación estereoscópica de las fotografías, con objeto de darles su verdadera forma. Las curvas se trazaron sobre las fotografía (con lápiz grueso).
6. Transferencia de las curvas de nivel al dibujo planimétrico identificando los detalles de la fotografía al dibujo por los cuales pasa cada una de las curvas de la configuración. Las alturas o cotas, características del terreno, nombradas en el número uno, se pueden determinar por cualquiera de los siguientes métodos:
 - a) cálculo de la altitud de un punto contenido en un plano estereoscópico: "método general"
 - b) determinación de altitudes de los puntos principales de una línea de vuelo o sea el perfil de esos puntos.
 - c) calculo de cotas en función de los desplazamientos que tienen las imágenes por relieve.
 - d) calculo de cotas o desniveles en función de la diferencia de paralajes.

3.2.4.1 Método General

Este método utilizado para obtener la altura de los puntos seleccionados, esta basado en la siguiente premisa:

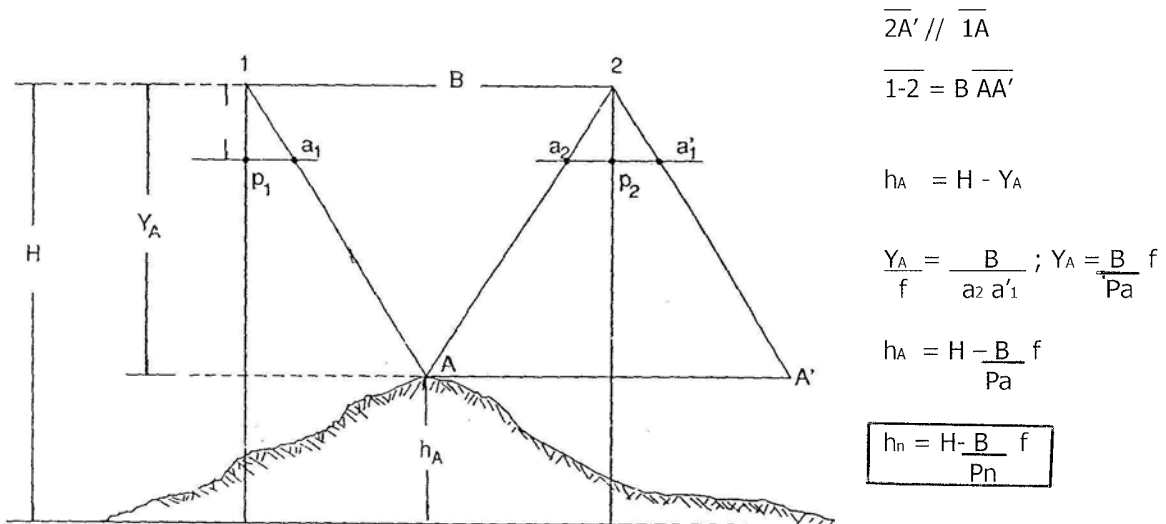


Figura 3-16
Cálculo de cotas por el Método General

De esta figura se desprende;

$$h_A = H - Y_A$$

$$Y_A / f = B / a_2 a'_1$$

$$Y_A = B / a_2 a'_1 (f)$$

De las ecuaciones antes mencionadas, la segunda de ellas $Y_A / f = B / a_2 a'_1$; se debe a que el triángulo formado por los vértices 1AP es proporcional al triángulo 1a1p1, debido a que tienen un vértice en común; entonces la distancia P1 es equivalente a YA y la distancia P11 es equivalente a f. Así mismo, B es proporcional a la distancia $a'_1 a_2$, ya que el triángulo 1A2 es igual al triángulo A2A'; por lo tanto, la distancia AA' es igual a B y el triángulo A2A' es proporcional al $a'_1 a_2$ por tener un vértice común.

La distancia que hay entre a_1 y a_2 es el paralaje del punto A (son dos imágenes para un mismo punto desde perspectivas diferentes) dicho paralaje se denominará Pa y la fórmula queda:

$$h_a = H - B/Pa (f)$$

El método general tiene errores propios de todo procedimiento gráfico, los cuales pueden reducirse al realizar las medidas respectivas con mucho cuidado; sin embargo el error principal radica en la determinación de la altura de vuelo, que es un dato proporcionado por el piloto, que a su vez lo observa del altímetro correspondiente. Dicha altura de vuelo puede ser errónea, ya sea por un mala lectura del piloto, por defectos en el funcionamiento del aparato o finalmente por los cambios tan bruscos de altura originados por bolsas de aire u otras causas no registradas en el instrumento.

Ejemplo: determinar la altitud de un punto en un par estereoscópico con los datos siguientes. Altitud 46 232 pies, Base Fotográfica 95.5 ml, escala de la triangulación radial 1:80 000.

$$H = 46\ 232\ \text{ft.}$$

$$b = 89.5\ \text{ml}$$

$$TR = 1:80\ 000$$

$$B = (95.5)(80\ 000) = 7640\ \text{metros}$$

$$\text{Paralaje del punto, } P_n = X_1 + X_2 = 93 + 12 = 105\ \text{milímetros} = 0.105\ \text{metros}$$

$$\text{Distancia Focal, } f = 153.4\ \text{milímetros} = 0.1534\ \text{metros}$$

$$h_n = H - B / P_n (f)$$

$$h_n = 46\ 232 (0.3048) - 7640 / 0.105 (0.1534)$$

$$h_n = 14091.51 - 72761.91 (0.1534)$$

$$h_n = 14091.51 - 11161.68$$

$$h_n = \underline{\underline{2929.83\ \text{metros}}}$$

3.2.4.2 Método Perfil de Puntos Principales.

Para explicar este método se utilizará como base para la obtención de las formulas correspondientes la figura 3-17, en la que se representa esquemáticamente un dibujo de los elementos que nos servirán para la determinación del perfil de puntos principales. Por

medio de la triangulación radial, que se ha elaborado anteriormente, se tiene conocimiento de las distancias horizontales entre los puntos principales y son el cálculo de sus correspondientes altitudes: h_1, h_2, h_3 , etc., se obtendrán los componentes del perfil mencionado.

En el diagrama se muestran los números 1, 2, 3, 4, 5 y 6 que corresponden a las tomas fotográficas; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 y p_6 son los puntos principales propios; $p''_2, p'_1, p''_3, p'_2, p''_4$, etc. son los puntos principales transferidos; f es la distancia focal; Y es la altura del avión con respecto al terreno, $Y = H - h_n$; H , es la altitud del avión; P_1, P_2, P_3 , etc., son proyecciones de los puntos principales en el terreno (si la fotografía carece de inclinación, será el punto nadir); h_1, h_2, h_3 , etc., son las cotas o altitudes de los puntos P_1, P_2, P_3 , etc., respectivamente.

Este método es un caso particular del general, en el que se determinan las altitudes de los extremos de las bases fotográficas. De la figura 3-17 se tiene:

$$h_1 = H - \overline{1P_1} = H - Y_1 \quad \overline{1P_1} = \overline{1-2} \cot \hat{P}_1 = \overline{1-2} \frac{f}{p'_1 p_2}$$

$$h_2 = H - \overline{2P_2} = H - Y_2 \quad \overline{1P_1} = B_{1-2} \frac{f}{b_{2-1}} \quad (\text{fotografía 2})$$

$$h_n = H - Y_n = H - B_{n+1} \frac{f}{b_{n+1}}$$

$$\overline{2P_2} = \overline{1-2} \cot \hat{P}_2 = \overline{1-2} \frac{f}{P_1 P_2} = B_{1-2} \frac{f}{b_{1-2}} \quad (\text{fotografía 1})$$

$$\overline{2P_2} = Y_2 = \overline{2-3} \cot \hat{P}_2 = \overline{2-3} \frac{f}{p'_2 p_3} = B_{2-3} \frac{f}{b_{3-2}} \quad (\text{fotografía 3})$$

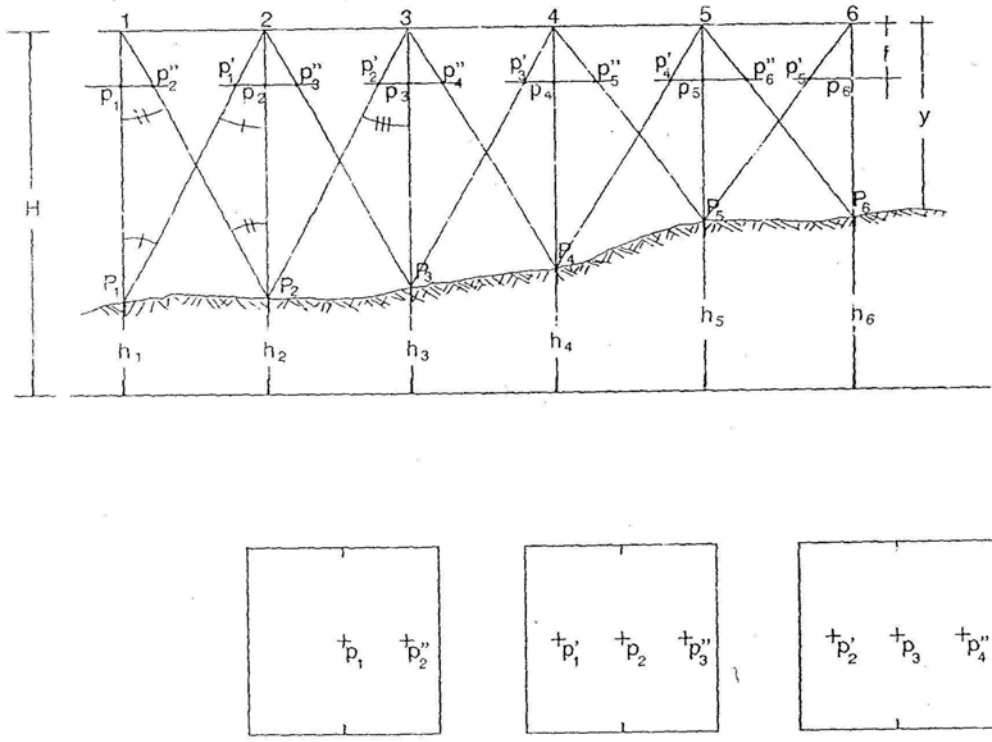
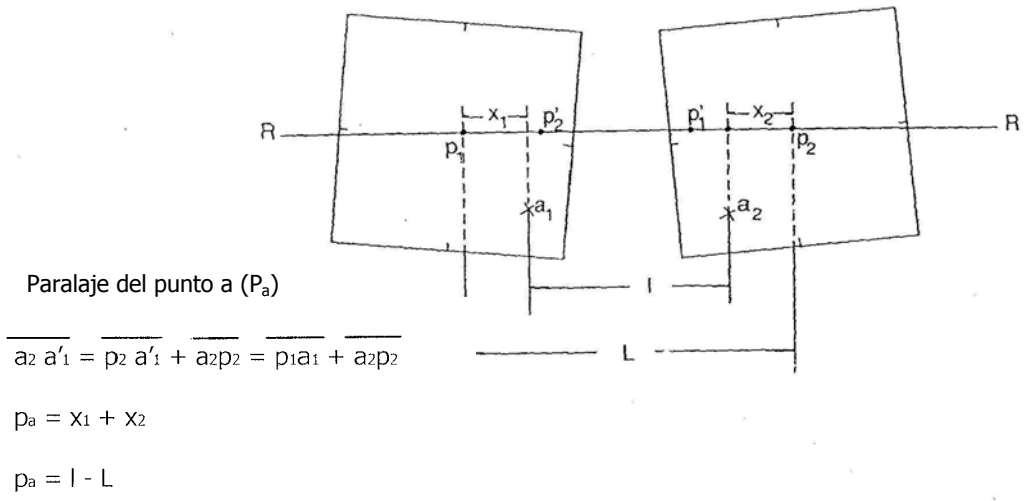


Figura 3-17
Perfil de puntos principales.

La base fotográfica b_{1-2} , b_{3-2} , etc., es el paralaje del punto principal extremo, puesto que: $p = x' + x'' = bn$; en donde $x' = 0$, $x'' = bn$.

Ejemplo. Calcular las altitudes o cotas de los puntos principales de una línea de vuelo con la siguiente información.

$$H = 46\,232 \text{ ft.}$$

$$f = 152.4 \text{ milímetros}$$

$$B_{1-2} = 6\,840 \text{ metros}$$

$$B_{3-2} = 6\,784 \text{ metros}$$

$$B_{4-3} = 7\,184 \text{ metros}$$

$$b_{2-1} = 85.5 \text{ milímetros (fotografía 2)}$$

$$b_{1-2} = 86.2 \text{ milímetros (fotografía 1)}$$

$$b_{3-2} = 84.8 \text{ milímetros (fotografía 3)}$$

$$b_{4-3} = 89.8 \text{ milímetros (fotografía 4)}$$

$$h_1 = 46232 (0.3048) - 6840 (0.1524/0.0855)$$

$$h_1 = 14091.51 - 6840 (1.782456)$$

$$h_1 = 14091.51 - 12192$$

$$h_1 = \underline{1\,899.51 \text{ metros}}$$

$$h_2 = 46232 (0.3048) - 6840 (0.1524/0.0862)$$

$$h_2 = 14091.51 - 6840 (1.767981)$$

$$h_2 = 14091.51 - 12092.99$$

$$h_2 = 1\,998.52 \text{ metros}$$

$$h_2 = 46232 (0.3048) - 6784 (0.1524/0.0848)$$

$$h_2 = 14091.51 - 6784 (1.79717)$$

$$h_2 = 14091.51 - 12192$$

$$h_2 = 1\,899.51 \text{ metros}$$

$$h_2 = \frac{1}{2} (1998.52 + 1899.51)$$

$$h_2 = \frac{1}{2} (3898.03)$$

$$h_2 = \underline{1\,949.02 \text{ metros}}$$

$$h_3 = 46232 (0.3048) - 6784 (0.1524/0.0907)$$

$$h_3 = 14091.51 - 6784 (1.680265)$$

$$h_3 = 14091.51 - 11398.92$$

$$h_3 = 2692.59 \text{ metros}$$

$$h_3 = 46232 (0.3048) - 7184 (0.1524/0.0898)$$

$$h_3 = 14091.51 - 7184 (1.697105)$$

$$h_3 = 14091.51 - 12192.00$$

$$h_3 = 1899.50 \text{ metros}$$

$$h_3 = \frac{1}{2} (2692.59 + 1899.50)$$

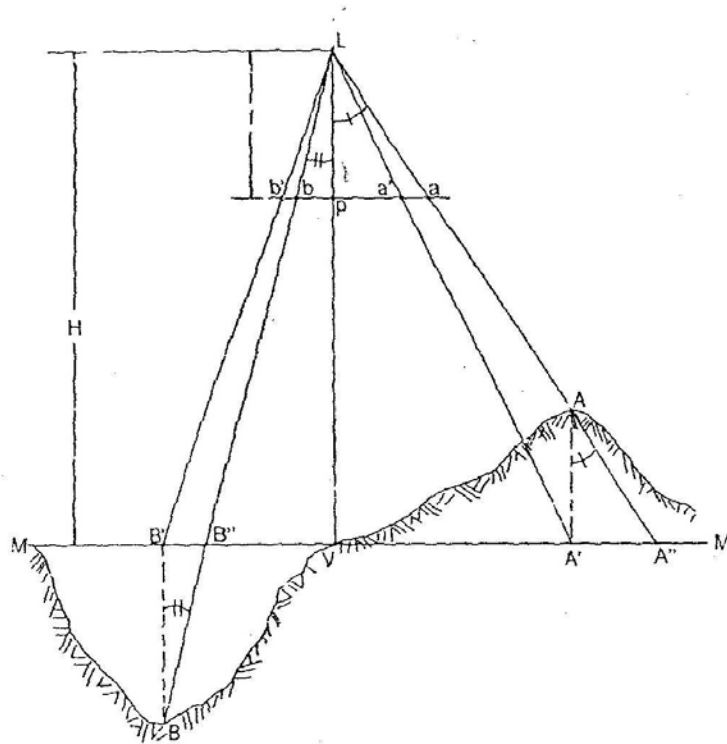
$$h_3 = \frac{1}{2} (4592.09)$$

$$h_3 = \underline{2\,296.05 \text{ metros}}$$

3.2.4.3 Método por Desplazamiento de Relieve.

Las fotografías aéreas tienen un desplazamiento por relieve de las imágenes que representan, esto se debe a que la superficie terrestre es irregular y se encuentra representada en un plano.

La figura 3-18 se presenta el método para determinar la diferencia de nivel; se relacionan los triángulos semejantes: $A' A''$ y pLa , para especificar la altura $A' A''$ en función de la distancia focal y de la distancia medida sobre la fotografía desde el punto principal propio p hasta la imagen fotográfica a . Para precisar el desplazamiento $A' A''$ (motivado por la altura $A' A''$ y la separación de la imagen a del punto principal propio p) se ha recurrido a obtener la diferencia $VA'' - VA'$.



$$\overline{AA''} = \overline{A'A''} \cot \hat{A}$$

$$\cot \hat{A} = \frac{f}{pa}$$

$$\overline{AA''} = \overline{A'A''} \frac{f}{pa}$$

$$\overline{A'A''} = \overline{VA''} - \overline{VA'}$$

$\overline{VA''} = (\overline{pa})$ esc. Del plano MM'
 $\overline{VA'}$ = distancia en la planimetría del punto principal respectivo al punto considerado por la escala de la planimetría.

$$\overline{BB''} = \overline{B'B''} \cot \hat{B} = \overline{B'B''} \frac{f}{pb}$$

$$\cot \hat{B} = \frac{f}{pb}$$

$$\overline{B'B''} = \overline{VB''} - \overline{VB'}$$

$$\overline{VB''} = (\overline{pb}) \text{ Esc. del plano } MM'$$

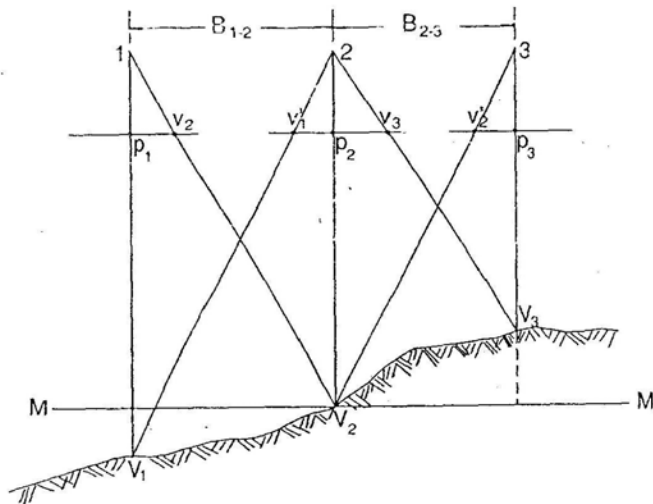
$\overline{VB'}$ = Distancia en la planimetría por la escala de ésta.

Figura 3-18
Cálculo de cotas en función del desplazamiento por relieve.

La distancia $\overline{VA''}$ se obtiene al medir sobre la fotografía pa y multiplicarla por el módulo de la escala del plano horizontal MM' que contiene al punto A' .

Por otra parte, la distancia $\overline{VA'}$ se determina en la triangulación radial al medir pa' y multiplicarla por el módulo de la escala de ella.

La escala del plano horizontal MM' (figura 3-19) que contiene el punto V_2 se obtiene a través de las fotografías contiguas, relacionando las bases fotográficas b_1-2 con la aérea B_1-2 en la fotografía número uno; y b_3-2 con B_3-2 en la fotografía número 3.



$$\frac{P_1 V_2}{B_{1-2}} = \frac{P_3 V_2}{B_{2-3}} = \text{Esca. Del plano } MM'$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{b_{1-2}}{B_{1-2}} + \frac{b_{3-2}}{B_{3-2}} \right] = \text{Esc. del plano } MM'$$

Figura 3-19
Determinación de la escala del plano MM' que contiene al punto principal de la fotografía considerada.

Ejemplo. En la fotografía cinco aparece la imagen de una elevación que se ha marcado con la letra k. se requiere conocer el desnivel que existe con respecto al punto principal si se tiene la información siguiente:

Escala de la planimetría, 1:10 000

Distancia focal de la cámara, f = 6 pulgadas

Distancia medida en la planimetría, 71.8 milímetros

Distancia medida sobre la fotografía, pk = 82.5 milímetros

Base fotográfica b4-5 = 96.0 milímetros en la fotografía 4.

Base fotográfica b6-5 = 104.0 milímetros en la fotografía 6.

Base aérea, B4-5 = 1150 metros.

Base aérea, B6-5 = 1250 metros.

$$KK' = \frac{K'K'' \cdot f}{pk} \quad K'K'' = VK'' - VK' \quad \text{Esc.} = \frac{1}{2} \left[\frac{b_{4-5}}{B_{4-5}} + \frac{b_{6-5}}{B_{6-5}} \right]$$

$$VK'' = (82.5)12\ 000 = 990\text{m}$$

$$\text{Esc.} = \frac{1}{2} \left[\frac{96.5}{115\ 000} + \frac{10.4}{125\ 000} \right] = 1:12\ 000$$

$$VK' = (71.8) 10\ 000 = 718\ \text{m}$$

$$K'K'' = 990 - 718 = 272\ \text{m}$$

$$KK' = \frac{272 \cdot (6) \cdot (25.4)}{82.5} = 502.46\ \text{m. Desnivel del punto } K \text{ en relación con el punto principal.}$$

3.2.4.4 Método por Diferencia de Paralajes

La ecuación $Pd = bh / H - h$ desarrollada en la figura 3-20 expresa que el paralaje diferencial o diferencia de paralaje entre dos puntos es igual al producto de la base fotográfica por el desnivel entre dichos puntos, dividido entre la altura de vuelo sobre el nivel del mar menos dicho desnivel.

Ejemplo. Se desea obtener fotografías a escala 1:10 000 empleando sucesivamente dos cámaras de distancias focales $f = 6$ pulgadas y $f = 12$ pulgadas. Se requiere conocer la altura de vuelo con cada una de las cámaras, así como el paralaje correspondiente, si el terreno presenta una altitud de 200 metros y la base fotográfica es $b = 90$ milímetros.

$$\text{Esc.} = f / H - h ; \quad 1 / 10\,000 = f / H - h ; \quad H = 10\,000 f + h$$

$$H_1 = 10000 (6) 0.0254 + 200 = 1724 \text{ metros}$$

$$H_2 = 10000 (12) 0.0254 + 200 = 3248 \text{ metros}$$

$$Pd = bh / H - h$$

$$Pd_6 = 0.09 (200) / 1724 - 200 = 0.011811 \text{ metros.}$$

$$Pd_{12} = 0.09 (200) / 3248 - 200 = 0.005905 \text{ metros.}$$

La fórmula del paralaje diferencial es directamente proporcional a la base fotográfica e inversamente a la altura del vuelo; por consiguiente los paralajes son pequeños (del orden de milímetros), pero dentro de esa condición es conveniente que resulten de la mayor magnitud posible; para lograrlo debe aumentar la base fotográfica, lo cual no es posible si se tiene presente que el formato es igual para una misma cámara y el traslape es siempre del 60% en promedio; entonces se puede recurrir a disminuir la altura del vuelo, pero como el dato base es la escala de las fotografía, dicha escala cambiará si se hace variar la altura de vuelo; de lo que se concluye que la única forma de disminuir la altura del vuelo sin variar la escala es hacer variar proporcionalmente la distancia focal, con apoyo en que: $\text{Esc.} = f : H$. por estas características se han adoptado lentes granagulares o de distancia

focal pequeña para la obtención de fotografías destinadas a restituciones estereoscópicas o de paralaje (Caire, Jorge. 2003).

La fórmula de paralaje diferencial no es práctica desde el punto de vista fotogramétrico; la razón es que se debe partir el valor del desnivel, que es precisamente el dato desconocido, mientras que la diferencia de paralajes se mide directamente en las propias fotografías. Por lo tanto, el valor del desnivel h se obtiene de la quinta fórmula.

$$Pd = bh / H - h ; \quad PdH - Pdh = bh ; \quad h = PdH / Pd + b \dots\dots\dots 6$$

Ejemplo. Encontrar el desnivel de dos puntos, A y B del terreno cuyas imágenes aparecen en un mismo par estereoscópico, con los datos siguientes:

$$H = 12\ 000$$

$$b = 85.5 \text{ milímetros}$$

$$x'a = 37 \text{ milímetros}$$

$$x''a = 43 \text{ milímetros}$$

$$x'b = 58 \text{ milímetros}$$

$$x''b = 47 \text{ milímetros}$$

$$Pa = x'a + x''a = 37 + 43 = 80 \text{ milímetros}$$

$$Pb = x'b + x''b = 58 + 47 = 105 \text{ milímetros}$$

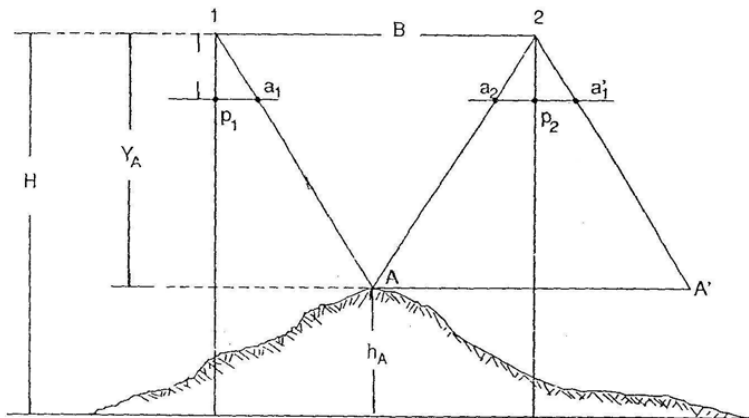
$$Pd = Pa - Pb = 80 - 105 = -25 \text{ V milímetros}$$

$$h = PdH / Pd + b$$

$$h = -0.025 (12000) 0.3048 / -0.025 + 0.0855$$

$$h = -91.44 / 0.0605$$

$$h = \underline{\underline{1511.05 \text{ metros}}}$$



Paralaje angular del punto A
 $\hat{A} = \hat{\alpha} + \hat{\alpha}'$
 $\hat{\alpha} = \rho_1 1a$
 $\hat{\alpha}' = \rho_2 2a'$
 Paralaje lineal del punto A
 $P_A = \rho_1 a + \rho_2 a'$
 Paralaje del punto C
 $\hat{C} = \hat{\beta} + \hat{\beta}'$
 $\hat{\beta} = \rho_1 1c$
 $\hat{\beta}' = \rho_2 2c'$
 $P_C = \rho_1 c + \rho_2 c'$

En esta figura se han trazado en la fotografía 1, líneas paralelas transportadas de la fotografía dos, así:

$$\overline{1-a_1} \parallel \overline{2-a'_1} \quad \frac{f}{a_1 a} = \frac{H-h}{B}; \quad \overline{a_1 a} = \frac{B}{H-h} f$$

$$\overline{1-c_1} \parallel \overline{2-c'_1} \quad \overline{a_1 a} = \rho_1 a + \rho_1 a'_1 = \rho_1 a + \rho_2 a' = x_a + x'_a = \text{paralaje del punto A}$$

$$P_a = \frac{B}{H-h} f \dots \dots \dots (1) \text{ paralaje absoluto del punto A}$$

$$\frac{f}{c_1 c} = \frac{H}{B} \quad c_1 c = \frac{B}{H} f$$

$$\overline{c_1 c} = \rho_1 c + \rho_1 c_1 = \rho_1 c + \rho_2 c' = x_c + x'_c = \text{paralaje del punto C}$$

$$P_c = \frac{B}{H} f \dots \dots \dots (2) \text{ paralaje absoluto del punto C}$$

Paralaje diferencial $P_d = P_a - P_c = \frac{Bf}{H-h} - \frac{Bf}{H} = \frac{BfH - BfH + Bfh}{(H-h)H} = \frac{Bfh}{(H-h)H} \dots \dots \dots (3)$

$$\frac{B}{P_d} = \frac{H}{f}; \quad B = \frac{bH}{f} \dots \dots \dots (4)$$

$$P_d = P_a - P_c = \frac{bH}{f}; \quad P_d = \frac{bh}{H-h} \dots \dots \dots (5)$$

$B = \sqrt{V_1 V_2}$ Base aérea
 $b = \rho_1 \sqrt{V_2}$ Base fotográfica

Figura 3-20
Calculo de cotas en función de la diferencia de paralajes

3.2.6 Configuración del terreno por medio de curvas de nivel

Una vez que se han obtenido las altitudes de los puntos de las fotografías, se procede al trazo de las curvas de nivel, las cuales constituyen un elemento muy importante dentro de las cartas generales.

Si en un modelo estereoscópico se tienen dos puntos de elevación conocida, es posible obtener las elevaciones aproximadas de otros puntos en dicho modelo con ayuda de los paralajes de puntos homólogos. Lo primero que se realiza es la obtención de altitudes de algunos puntos del modelo estereoscópico, para ellos se toman los datos de la altitud de los puntos principales.

Las fotografías deben estar orientadas correctamente y se debe determinar el paralaje de los puntos principales. Cuando se conoce el paralaje se puede emplear la fórmula siguiente:

$$Pd = b / H - h$$

En donde Pd es el paralaje diferencial; b es la base del modelo, H es la altitud del vuelo y h la altitud de la curva de nivel deseada.

Otro procedimiento que se puede llevar a cabo es determinar el paralaje de algunos puntos críticos del modelo estereoscópico situado cerca de los puntos principales, entonces la curva de nivel (que debe tener un valor cerrado), se puede interpolar para determinar su paso.

Las curvas de nivel son líneas obtenidas de unir todos los puntos que se encuentran a una misma altitud sobre el nivel de mar. Así pues, una vez situado el punto donde pasa la curva de nivel, se trazará una línea que contenga la misma altitud; esta línea se deberá seguir continuamente con ayuda de la observación estereoscópica.

Cuando la línea de la curva de nivel de una determinada altitud se cierre, otra línea de la misma altitud tendrá que ser representada, con lo que se tendrá que interpolar de diferentes puntos.

A la distancia vertical que existe entre las curvas recibe el nombre de equidistancia y se deduce que cuando las curvas de nivel se encuentran muy juntas, el terreno tiene mayor pendiente y cuando se separan el terreno es menos escarpado.

Después de haber trazado las curvas de nivel en el modelo estereoscópico, éstas se deben trasladar a la planimetría de la misma manera en como se trasladaron los rasgos geográficos; es decir, con ayuda de las micas del método de cuadrículas proporcionales.

Una representación práctica del terreno, debe permitir, al menos de manera aproximada, determinar la altitud de cualquier punto, hallar las pendientes y resaltar de modo expresivo la forma y accidentes del terreno. La configuración del terreno por curvas de nivel es muy aproximada, estas solo son líneas de forma que ayudarán a observar los rasgos más fundamentales, pero no es un método muy preciso; sin embargo, si junto con la proyección de esta curvas se anota la cota del plano que se determinó se obtiene una representación bastante práctica del terreno.

3.3 Cuadrícula Universal Transversa de Mercator

La Cuadrícula Universal Transversa de Mercator (UTM), que consiste en una cuadrícula ortogonal dibujada sobre el caneavá de la proyección Transversa de Mercator, que solo quedará representado en los cruces de los paralelos y meridianos a 30 minutos de intervalo, cuyas líneas horizontales y verticales se trazan con líneas contiguas en color azul, espaciadas a distancias iguales (en este caso a 2 centímetros que equivalen a 10 000 metros sobre el terreno). Como las líneas verticales de la cuadrícula se trazan paralelamente al meridiano central de cada zona de 6 grados de longitud por 8 grados de latitud, las líneas horizontales de la cuadrícula resultan perpendiculares al meridiano central. Podemos mencionar otras características de esta cuadrícula:

- a) esta proyectada para todo el mundo, ahí su carácter de "universal", se ha tratado de hacerla de uso mundial; aunque debe aclararse que se encuentra limitada entre

los paralelos de 80° de latitud norte y los 80° latitud sur, de este forma quedan excluidas las regiones polares.

- b) El origen de las longitudes en cada una de las zonas de 6° de longitud por 8° de latitud, es el meridiano central mientras que para las latitudes es el Ecuador. La unidad de medida es el metro y el origen de la acotación para líneas horizontales de la cuadrícula, es decir el "cero metros", corresponde al Ecuador para nuestro hemisferio. En el meridiano central para cada zona de 6 x 8 grados, la acotación de las líneas verticales es de 500 000 metros, valor que aumenta hacia el Este y disminuye hacia el Oeste.
- c) Las zonas geográficas de 6 grados de longitud por 8 grados de latitud, en la cuadrícula se llaman "Zonas de cuadrícula", y estas reciben una designación formada por un número y una letra mayúscula. Partiendo del meridiano 180° de longitud hacia el Este, los husos de 6 grados (longitud) de anchura se han enumerado del 1 al 60 y las filas de 8 grados (latitud) se han designado con una letra mayúscula de la "A" a la "X" suprimiendo las letras "CH, I, LL, Ñ, O y RR", para evitar confusiones. Así una "Zona de Cuadrícula" queda designada primero: con el nombre que le corresponde al huso de 6 grados de longitud donde se encuentra la zona en cuestión y, en seguida, con la letra que comprende a la fila de 8 grados de latitud, en donde también quede comprendida la zona. Con lo anterior, nuestro país se haya comprendido en las "Zonas de Cuadrícula " 14P, 15P, 12Q, 13Q, 14Q, 15Q, 16Q, 11R, 12R, 13R, 14R, 11S y 12S, tomando este orden de Sur a Norte y de Oeste a Este.
- d) Cada una de estas zonas a su vez, se ha dividido en cuadrados de cien mil metros por lado, designándose cada columna y fila de ellos, por medio de una letra mayúscula. Partiendo del meridiano 180° hacia el Este, a lo largo del Ecuador y a cada 180° de intervalo, las columnas de 100 000 metros de anchura (longitud), incluyendo las columnas parciales que se hallan a lo largo de la unión de dos "Zonas de Cuadrícula" consecutivas, se designan con una letra mayúscula de la "A" a la "X" (suprimiendo las letras "Ch, I, LL, Ñ, O y RR", para evitar confusiones), así mismo las filas de cuadrados de 100 000 metros de altura (latitud) a cada 2000000 de metros, contando de Sur a Norte se designa también con una letra mayúscula de la "A" a la "V" (excluyendo también la mismas letras). En las "Zonas de

Cuadrícula" nones y a partir del meridiano 180°, el alfabeto se principia en el ecuador, en tanto que en las "Zonas de Cuadrícula" pares, se comienza con 500000 metros al Sur del Ecuador. La designación de un cuadrado cualquiera de 100000 metros por lado, se lleva a cabo tomando primero: la letra que corresponda a la columna de 100000 metros de ancho (longitud) en la que se haya comprendido el cuadro en cuestión y en seguida la letra correspondiente a la fila (latitud), en donde se halle comprendido el cuadro a que se hace referencia.

- e) La numeración de las líneas de la cuadrícula es como sigue: a partir del Ecuador y hacia el Norte, la acotación de las líneas horizontales crece desde cero hasta unos 8900000 metros aproximadamente, nuestro país se encuentra comprendido entre las acotaciones 1600000 metros que corresponde aproximadamente a la desembocadura del río Suchiate y 3622000 metros que corresponde al encuentro del Río Colorado con la línea divisoria que va de Tijuana al pueblo de Algodones. En las verticales, la línea central que coincide con la proyección, para cada "Zona de Cuadrícula", lleva el valor de 500000 metros el cual crece hacia el Este y decrece hacia el Oeste sin llegar a pasar de 1000000 ni de "cero" metros respectivamente.

Con lo antes mencionado, se pueden enumerar las ventajas que tiene el utilizar la cuadrícula UTM:

- ⇒ Se pueden referir puntos del terreno o del mapa, según líneas rectas
- ⇒ No puede haber confusión en la ubicación de cualquier punto en el mapa, por que a cada punto en el mundo le corresponde una sola y única designación.
- ⇒ Los cálculos relativos para la determinación de la latitud y la longitud geográficas de un punto cualquiera, resultan mucho más sencillo, sobre todo por el uso de las tablas que preparó, construyó y publicó el Servicio Cartográfico del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Map. Service).
- ⇒ Se entiende fácilmente, que siendo la cuadrícula un conjunto de cuadrados perfectos, de una medida común, aquella puede dibujarse por una sola vez con toda exactitud y apoyándose en ella, después se puede trazar el caneavá para cualquier región del mundo.

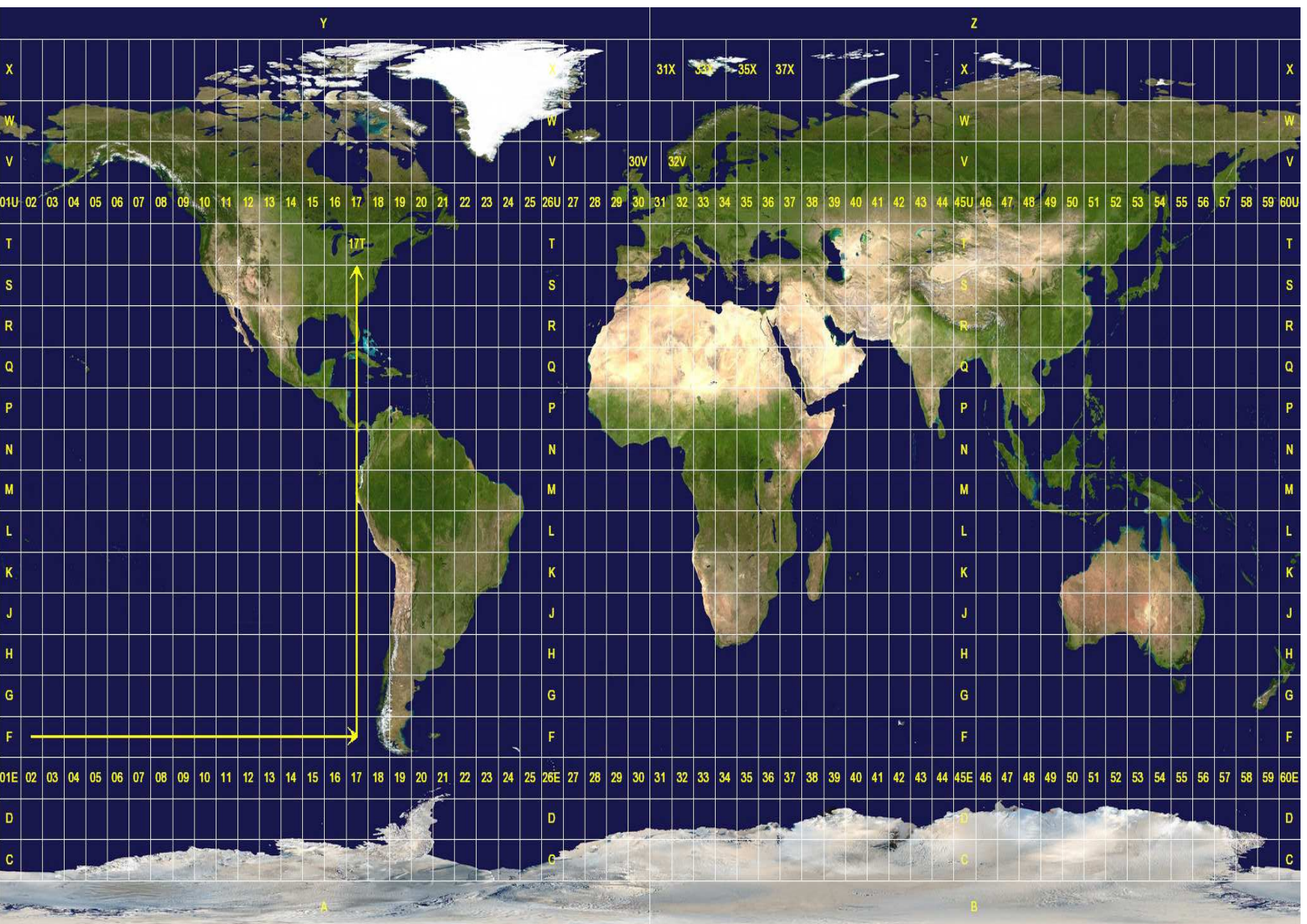


Figura 3-21

Zonas UTM. Las flechas amarillas indican la zona 17T.

3.4 Edición de la Carta

La edición dentro del Departamento de Cartografía Militar, estaba dividido en dos áreas: el Área de Dibujo y el Área de Pegado de Nombres.

Una vez que el Área de Dibujo recibía el original planimétrico, lo primero en realizarse era una separación de los colores por medio de un dibujo llevado a cabo en un material plástico llamado "acetato", este material contenía una cara brillante otra opaca emulsionada, que era donde se llevaba a cabo el dibujo de cada unos de los diferentes rasgos geográficos que contenía la carta. Para la realización de este dibujo sobre los acetatos, se utilizaban dos diferentes tipos de tinta: una era la tinta China y la otra tinta Graftin.

La Tinta China, contenía una textura mucho muy delgada permitiendo así su fácil manipulación y el trazo mucho más rápido de los elementos de la carta sobre los acetatos, esto obligaba al dibujante a tener una mayor precisión en los dibujos realizados sobre todo en las curvas de nivel. Otra de las ventajas en el uso de esta tinta era que su fabricación se realizaba en diferentes colores como eran: negro, azul, sepia verde y gris.

Mientras que la Tinta Graftin, de consistencia mucho más gruesa y espesa, con características químicas muy específicas, permitía que al momento de fotografiar uno de los acetatos las líneas resultaran mucho más nítidas y mejor definidas logrando así una mejor calidad en el mapa, por lo que su utilización principal fue empleada en la elaboración de los negativos utilizados para la impresión de los mapas.

Otros elementos que se utilizaban en la elaboración del dibujo sobre acetatos eran el "Manguillo y Pluma" que se auxiliaban del "Grafio fijo" para los detalles aereales, el "Grafio loco" que se utilizaba para el trazo de la curvas de nivel, que recibía este nombre debido a la movilidad que presentaba, facilitando con esto el seguimiento del contorno de los elementos orográficos y un trazo mucho más preciso de las líneas.

Si hablamos de las desventajas que presentaba la utilización de este tipo de herramientas podemos considerar a que al momento de llevar a cabo la limpieza de sus instrumentos de trabajo, cada uno de los dibujantes debía tener un especial cuidado por la facilidad de que ocurriera un accidentes, como el escurrimiento de la tinta sobre el trabajo realizado, creando con esto la elaboración nuevamente del trabajo y como resultado el retraso en los tiempos asignados a cada uno de los procedimientos.

Por otra parte el Área de Pegado de Nombres, era la responsable de la rotulación de la información que se iba generando, desde la toponimia, los nombres de ríos, el número de las carreteras, las notas marginales, las leyendas, notas aclaratorias, símbolos de vegetación, etc.

El proceso que se seguía para llevar a cabo la rotulación, era el siguiente: Primero; se obtenía una lista con todos los nombres de los diferentes rasgos geográficos que se representarían en la carta, se revisaba que la información estuviera completa y que no presentara errores en la ortografía. Segundo; una vez creada y revisada la lista con los nombres a utilizar, se hacía un pedido a la empresa americana Monssen, donde se especificaban los nombres, el tamaño, la fuente de las letras, los símbolos y los números que se requerían para llevar a cabo la rotulación de la carta. La empresa regresaba la información en hojas tamaño oficio con un material adhesivo por la parte posterior para facilitar el pegado de los nombre sobre el acetato que contenía el dibujo de los elementos de la carta.

Estos nombres y símbolos eran pegados de acuerdo a especificaciones muy claras que se tenían en cuanto a la ubicación del rótulo, por ejemplo: la dirección en que se debía colocar, la distancia que debía de existir entre cada rótulo, el tamaño, el tipo de letra, etc.

Una vez terminada la fase de dibujo y pegado de nombres, se hacía una revisión con la finalidad de detectar errores tanto en el trazo de los rasgos geográficos como en la información de los rótulos, si la revisión era satisfactoria y contenía las normas y especificaciones correspondientes al sistema de calidad, se mandaba fotografiar para obtener los negativos, estos se retocaban con una sustancia soluble en agua llamada

“opaco” y que servía para tapar los defectos propios que presentaba el negativo del proceso fotográfico, logrando con esto una mejor calidad en la impresión. Todavía en esta etapa existía la posibilidad de corregir errores encontrados en el trazado de los dibujos en la rotulación, se agregaban, modificaban o se corregía la información de los elementos, mediante “injertos”. Una vez revisados y retocados los negativos el siguiente paso era la impresión de una “Prueba Roll”, esta prueba contenía los colores, los símbolos, la planimetría y la altimetría que debería llevar la carta, se sometía a una nueva revisión en donde las correcciones y las modificaciones se hacía en los negativos. Hechas las nuevas correcciones se mandaba otra vez a la imprenta con la intención de obtener nuevamente una prueba en papel, cuando esta prueba era calificada como satisfactoria se procedía a mandar nuevamente los negativos pero ahora con la intención de obtener la carta final y en un tiempo acordado, regresaban las cartas impresas.

Este tipo de mapas se conocen con el nombre de “pictomapas”, debido a que son documentos cartográficos obtenidos por métodos de imágenes rectificadas y en los que la separación de colores ayuda a diferenciar aspectos como hidrografía, vías de comunicación, curvas de nivel, etc.

Toda la orografía está representada en la carta, con curvas de nivel equidistantes a 200 metros, dibujadas en color sepia, y en aquellas zonas que tiene un relieve inferior a esta cantidad, como sucede en la península de Yucatán, se han trazado curvas de nivel de menos equidistancia, pero solo como curva de forma, es decir, para que den una idea general de la configuración del terreno y no se crea que el terreno es completamente plano. Para la acotación de la curvas se tomó el nivel medio del mar obtenido de los datos proporcionados por los mareógrafos de la Secretaría de Marina que tienen establecidos en los puertos marítimos, con el conocimiento de que todos estos mareógrafos han sido ligados con nivelación de precisión, a lo largo de la principales carreteras del país, con un desarrollo de 13000 kilómetros. Además a la orografía se le dio un sombreado en color gris que hace resaltar la diferencia de nivel y el trazo de la configuración de cerros y serranías.

En la hidrografía no solo están trazados los principales cursos de agua y sus afluentes (en color azul claro), sino que con trazo intermitente, se han simbolizado otras corrientes, con lo que se ayuda a dar mejor apariencia a la configuración orográfica y se expresan mejor las cuencas hidrográficas.

En las cartas donde está representado el mar, aparecen en color azul oscuro las curvas batimétricas hasta 4000 metros en el Océano Pacífico y hasta 3000 metros en el Golfo de México, esto con la finalidad de marcar con cierta aproximación el trazo y forma de la plataforma continental. Así mismo aparecen algunos puntos de profundidad conocida, que complementan la información sobre este tema. Toda la información fue tomada de las cartas publicadas por la American Geographical Society de New York, pues se carecía de este tipo de datos como consecuencia de la que la Secretaría de Marina no llevaba a cabo estas tareas.

Las principales carreteras del país, tanto las que permiten una circulación permanente de los vehículos automotores, estén pavimentadas o no, como las que son transitables solamente en la época de estiaje, están trazadas en color rojo; se representan también algunos caminos intransitables para los vehículos pero que tienen cierto interés por que incluyen algunos poblados con una importancia económica, política o demográfica relativa. Todas las carreteras principales llevan marcado el número que les corresponde, de acuerdo con la clasificación establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (hoy Secretaría de Comunicaciones y Transportes), y no se colocó el nombre de todas la carreteras para no recargar el dibujo y por considerarse que ese tipo de representaciones solo deberían de aparecer en la carta especial de carreteras y caminos que elabora esa Secretaría de Estado.

Las comunidades y los poblados, están representados por un cuadro de color amarillo cuando se tienen más de 5000 habitantes, con un círculo pequeño de color negro cuando tienen menos de 5000 habitantes: se adoptó la norma de representar todos aquellos poblados que tuvieran menos de 200 habitantes y solo en aquellas zonas muy despobladas aparecerían también las de menor número; sin embargo en algunas zonas densamente pobladas, como es el Distrito Federal, tuvieron que eliminarse nombres de

poblados de más de 200 habitantes, pues de habérselo puesto hubiera quedado demasiado cargado el dibujo y sería confusa la lectura de la carta correspondiente.

Las zonas agrícolas, pastizales, chaparrales o de bosque están dibujadas en color verde; este tipo de información, que por primera vez se dio a la publicidad, esta fundada en la interpretación de las fotografías aéreas y permitió la formación de cartas agrícolas, tarea que llevó a cabo la Secretaría de Agricultura y Ganadería, en combinación con la de Recursos Hidráulicos para que en conjunto se llegará a obtener un plan de desarrollo agrícola del país.

En color amarillo con el trazo de raya y punto en color negro, aparecen los límites internacionales y estatales, cuyo trazo fue copiado de otras cartas que ya habían sido publicadas; en teoría, con el apoyo de esas cartas se pretendía liquidar los conflictos que, en relación con los límites, tenían algunos estados de la federación y que por falta de un conocimiento geográfico no se habían podido resolver, a pesar de haber estado debatiendo por varios años.

3.5 Características Generales de la nueva Carta

El fraccionamiento de la carta se llevó a cabo, apoyándose en la cuadrícula UTM y atendiendo además a la razones de manejo, economía y presentación; de conformidad con esto se aceptó que la hoja abarca una zona geográfica de 2° de latitud por 3° de longitud, lo que representa una medida aproximada de 63 por 45 centímetros.

Estas dimensiones permiten, que cada "Zona de Cuadrícula" abarque ocho hojas, las cuales fueron numeradas de Poniente a Oriente y de Norte a Sur, con los números romanos relativos. Además, a cada hoja, se le puso el nombre de la población o accidente geográfico que se hallara comprendido en su representación (se tomaron las capitales de los estados más importantes o la población cuyo nombre fuera más conocido).

De acuerdo con lo anterior, a cada hoja se le asignó una matrícula, que se conforma como sigue: número (latino) y letra de la "Zona de Cuadrícula" en que se halla comprendida y

número (romano) de orden que le corresponde dentro de la misma; finalmente el nombre de la población o accidente más importante de la zona geográfica representada.

De acuerdo con este fraccionamiento resultaban algunas hojas con muy poco territorio a representar, por razones de economía en la publicación se agregaron a otras, de manera que al final resultaron 47 hojas en la cuales quedó comprendido todo el territorio nacional.

Por lo que se refiere a la información marginal, además de contener cada carta sus coordenadas geográficas y la cuadrícula universal transversa de Mercator, tienen en el margen superior y al centro de la leyenda "Estados Unidos Mexicanos" y a uno y otro lado la matrícula correspondiente. Por ejemplo: Jiménez 13R-VI.

En el margen inferior y de izquierda a derecha, se anota: la leyenda "Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana", nombre de la oficina productora de este mapa; enseguida la nota de crédito correspondiente, la cual expresa donde se trabajó la carta, en que año, con que método y en que datos planimétricos y altimétricos se apoyó la restitución. Asimismo expresa las fuentes de información que se tuvieron acerca de la clasificación de las vías de comunicación, del trazo de las curvas batimétricas, del alcance y luces de los faros marítimos, de los ondeo, etc. Debajo de esta información se tiene una tabla que indica los símbolos convenientes (Simbología) más importantes, los cuales con iguales a los que se usan en toda América o, cuando menos muy semejantes. Al centro se tiene la escala numérica y gráfica, junto con las anotaciones relacionadas con la equidistancia de las curvas de nivel, la proyección y cuadrícula usada, y los datos correspondientes a la declinación magnética y a la variación que abarca en cada carta. Inmediatamente se tiene la fecha y el lugar de impresión, el orden de la edición, y una nota aclaratoria sobre el trazo de límites estatales la cual manifiesta que no fueron determinados por la Comisión Intersecretarial. Todavía debajo de lo anterior se tiene un diagrama de situación de la carta, con indicación de las matrículas de las cartas adyacentes. Por último, en el extremo derecho se indica un cuadro que indica la manera de encontrar la referencia de un punto cualquiera con ayuda de la cuadrícula universal transversa de Mercator.

Capítulo 4 Sistema Lidar

El disponer de cartografía cada vez más precisa y actualizada es una necesidad de la sociedad actual. La cartografía se presenta como una herramienta básica para la planificación y gestión del territorio. Evidentemente, ello conlleva a un importante esfuerzo tanto del estado como de empresas e investigadores del sector privado.

Afortunadamente, día a día van apareciendo más herramientas que permiten aumentar tanto el rendimiento como la propia calidad de los trabajos realizados. En esta línea se pueden señalar dos que, sin duda, desempeñarán un importante papel en un futuro muy cercano en la generación de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) y ortofotografías, la utilización de sensores digitales y de sistemas de altimetría láser (LIDAR).

4.1 ¿Qué es un Sistema Lidar?

LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging; or Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. Esta técnica que originalmente era utilizada con fines militares, en la actualidad se está convirtiendo en un método alternativo a las cuestiones topográficas y fotogramétricas para la generación de MDT de gran densidad y precisión.

La palabra láser está formada con las siglas de Light Amplificación by Stimulated Emission of Radiation, o sea, amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación.

La luz emitida por el Sol o por una linterna (figura 4-1) está constituida por radiaciones electromagnéticas de diferente tamaño (longitudes de onda), cuyas ondas luminosas suelen estar desfasadas entre sí (las crestas y los valles no coinciden en el mismo punto) y hacen que la luz sea difusa o dispersa.

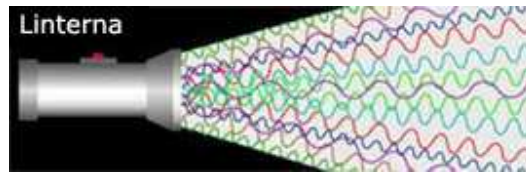


Figura 4-1
Luz difusa o dispersa.

Un láser emite luz coherente (figura 4-2), lo cual significa que la radiación tiene la misma longitud de onda y, por ello, sus ondas están en fase. Los rayos láser no se dispersan y, por ende, su luz es muy intensa.

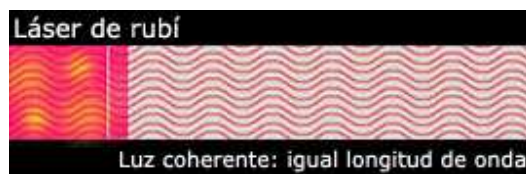


Figura 4-2

Así, un LIDAR es un láser aerotransportado (figura 4-3) que se emplea para la adquisición de coordenadas terreno en tres dimensiones. El LIDAR utiliza un rayo láser emitido desde el avión para medir la distancia con respecto al terreno. Esta distancia se combina con la información proporcionada por los sistemas GPS/IMU para obtener en postproceso las coordenadas x , y , z de los elementos del terreno.



Figura 4-3
Transportación de Lidar.

Por tanto, los sistemas de altimetría láser actuales se pueden considerar que son la unión de tres tecnologías que actualmente están en un estado evolutivo maduro: los sistemas de distanciometría láser (LIDAR), los sistemas de posicionamiento global mediante satélite (GPS) y los sistemas de referencia inercial de alta precisión (IMU). Dichos sistemas requieren la utilización de un avión similar al empleado para la toma de fotografías aéreas. Asimismo, comparte con la fotogrametría el diseño del plan de vuelo ejecutando pasadas paralelas y perpendiculares, siendo básico un buen diseño para el éxito de la operación (básico debido a su menor ángulo de campo). Pero a diferencia de la fotografía aérea, es posible realizar captura de datos sin tener en cuenta el ángulo solar (es posible trabajar de noche), aunque deban evitarse la realización de vuelos en condiciones de vientos fuertes, nevada, lluvia, niebla, elevada humedad o nubes debido a la influencia que tienen en la medida de la distancia recorrida por el rayo láser.

También es necesario evitar la realización de vuelos cuando el suelo esté cubierto de nieve o tenga un elevado nivel de humedad debido a que reduce considerablemente la reflectividad del suelo. Con los sistemas comerciales actuales, se pueden capturar datos a más de 1000 ptos/s. Así una hora de vuelo proporciona más de 10000000 de puntos, que permiten la generación de MDT de elevada precisión (espaciado del orden del metro). Además es importante tener en cuenta que es posible cubrir un área de 1000 km² en un tiempo inferior a 12 horas obteniéndose un MDT final al día siguiente con más de 40000000 de puntos –más de 40000 puntos/km²-. Si se trata de un trabajo lineal se puede realizar el MDT de una banda 500km de longitud en una mañana estando los resultados preparados al día siguiente (figura 4-4).

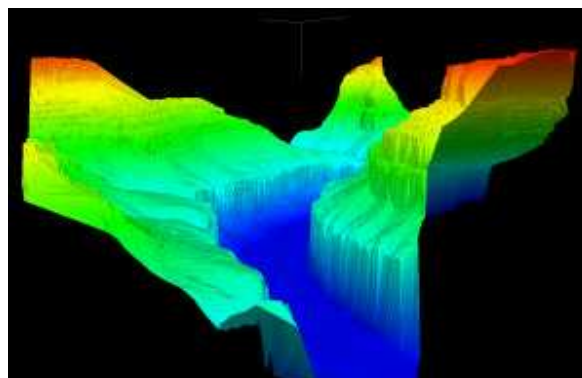


Figura 4-4
Vista 2.5 D del Cañón del Colorado obtenido con sistemas LIDAR (EnerQuest Systems, LLC)

La precisión de la medida dependerá evidentemente de los tres elementos básicos del sistema: el LIDAR, el GPS y el IMU. Así la precisión de las medidas estarán muy influenciados por los errores del IMU y del ángulo de barrido sobre todo para alturas de vuelo grandes, mientras que los errores del GPS están más influenciados por la distancia a la estación base de referencia.

Las precisiones dependen fundamentalmente de la altura de vuelo sobre el terreno, aunque se pueden indicar como valores representativos una precisión absoluta altimétrica de 15cm (relativa superior a 5cm) y altimétrica en torno a 20-30 cms. Otro aspecto clave de los sistemas LIDAR es que se trata de sensores activos, frente a las cámaras fotogramétricas o sensores digitales aerotransportados. Esto trae consigo importantes ventajas como la posibilidad de penetración a través de las hojas de los árboles en las zonas boscosas.

El sistema LIDAR se instala en un avión o helicóptero y está integrado por:

- Distanciómetro Laser: Emite pulsos de luz ininterrumpidamente y capta sus retornos (también denominados ecos o rebotes). El tiempo que tarda en regresar la luz permite calcular la distancia y, de esa forma, la altimetría del terreno. Los puntos más próximos (altos) dan una respuesta más rápida.
- Sistema de barrido: Incluye un espejo que ayuda a distribuir los rayos láser en la superficie de la que deseamos obtener datos y da como resultado un barrido en zig-zag.
- Sistema inercial: Permite registrar los valores del ángulo de las inclinaciones que la aeronave experimentó durante el vuelo (hacia delante, atrás o los lados) y, con ello, corregir los datos, refiriéndolos siempre a un plano horizontal controlado. A este proceso se le denomina *orientación*.

En la etapa de planeación de cada misión LIDAR, se analiza con detenimiento la ubicación que habrán de tener esas estaciones base, según la superficie sobre la que se realizará el levantamiento de datos, se analiza con detenimiento la ubicación que habrán de tener

esas estaciones base, según la superficie sobre la que se realizará el levantamiento de datos.

Adicionalmente, con el propósito de llevar a cabo el *ajuste de datos* al terreno y la generación de la nube de puntos con coordenadas X, Y, Z (datos de latitud, longitud y altura del terreno y los objetos sobre el mismo), también se establece la ubicación y determina el tipo y cantidad de los denominados campos de control (Figura 4-4).

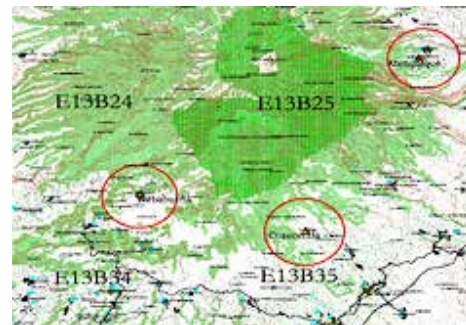
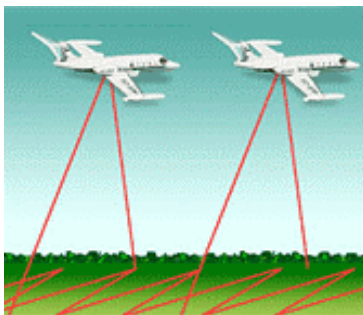


Figura 4-4
Puntos de Control. Base Cartográfica.
Proyecto Volcán de Fuego - Colima.

Los campos de control para trabajos LIDAR son áreas planas, de forma regular, preferentemente rectangulares (del tamaño de una cancha de fútbol o baloncesto) donde se miden puntos GPS geodésicos distribuidos de manera equidistante.

La cantidad y separación entre esos puntos está en función de la altura de vuelo y condicionada por la geometría misma del patrón de barrido (zig-zag).

Si el vuelo es alto (6000 metros sobre el terreno), los *campos de control* están compuestos por 20 puntos distanciados entre sí en torno a 8 metros; si el vuelo es bajo (1000 metros sobre el terreno), los puntos son 40 y la separación es de 5 metros.

En gabinete se identifican áreas donde hubo coincidencia y con los datos de coordenadas se establece y aplica un factor de corrección, con la finalidad de obtener datos precisos (Figura 4-5).

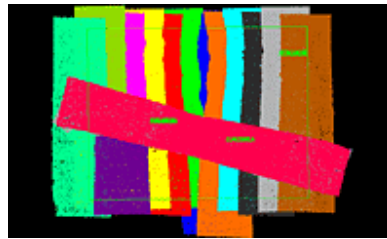


Figura 4-5

Despliegue de las pasadas de la aeronave y perfil que permite revisar la cohesión de los datos y vislumbrar la forma del terreno y sus objetos.

Estos datos constituyen una auténtica nube de puntos de valores de altitud con coordenadas X , Y , Z (Figura 4-6); con *software* y equipo de cómputo especializados se lleva a cabo la reconstrucción visual de los objetos y una recreación matemática de lo que sería el terreno.

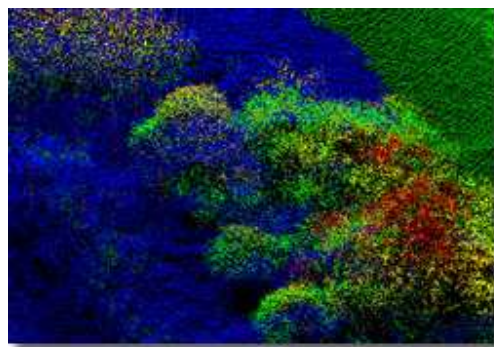


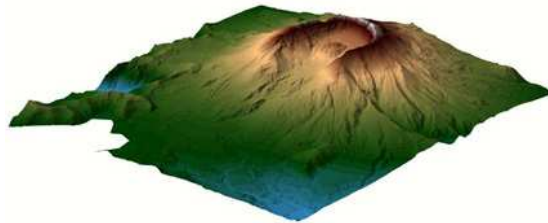
Figura 4-6
Nube de puntos LIDAR

La nube de puntos LIDAR representa la etapa de generación de modelos digitales de superficie y del terreno; basta apuntar que todo este avance tecnológico persigue ofrecer, en comparación con tecnologías y técnicas anteriores, una información más exacta, detallada y oportuna, en la que la resolución marca la diferencia.

4.2 Aplicaciones Lidar.

Como principales aplicaciones de los sistemas de altimetría láser se pueden indicar las siguientes (Flood, 1999):

a) **Modelo Digital del Terreno:** Es un sistema con un elevado rendimiento y rentabilidad para la captura de datos de elevaciones para la generación de MDT permitiendo una alta precisión y densidad de información, reduciendo el costo de ejecución.



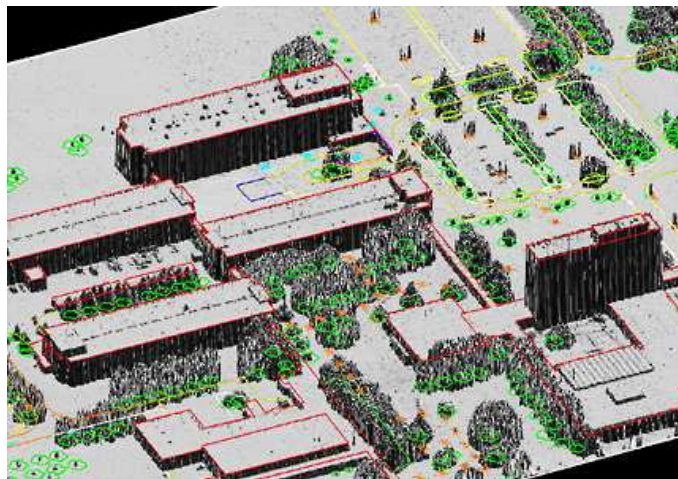
b) **Recursos forestales:** Es uno de los primeros campos en los que se investigó la aplicación de estas técnicas. Mediante el empleo de las técnicas de altimetría láser es posible obtener de una forma precisa la topografía tanto del terreno como de las copas de los árboles en función de los retornos del láser dentro de los trabajos de post-proceso de los datos. Esto es una peculiaridad de estos sistemas por lo que los sistemas de altimetría láser aerotransportada es una técnica de gran interés para la gestión de recursos forestales.

c) **Generación de modelos tridimensionales urbanos:** Es uno de los campos de mayor interés en la Cartografía actual, así las zonas urbanas están sometidas a frecuentes e importantes cambios y concentran la mayor actividad económica, por lo que la necesidad de disponer de una cartografía precisa y actual es más acuciante. Los modelos digitales de superficie de las ciudades tienen diversas aplicaciones entre las que se pueden indicar las telecomunicaciones (telefonía móvil), los modelos atmosféricos, la planificación de riesgos de catástrofes, sin olvidar, la propia gestión de tipo urbanístico.



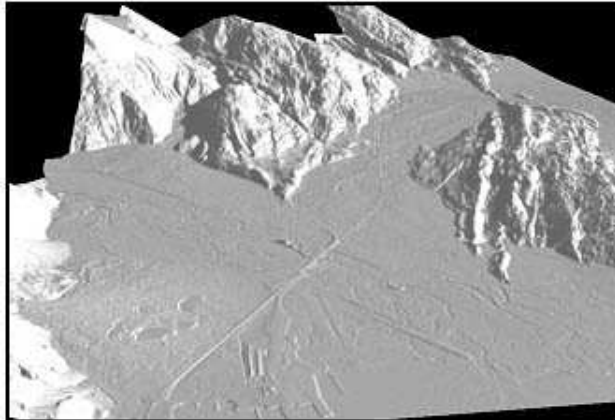
d) **Cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones:** El empleo de estos sistemas permiten la generación de cartografías rápidas y precisas de las zonas susceptibles a sufrir inundaciones, aspecto básico para la planificación, la valoración de riesgos, e incluso, para la valoración en caso de una catástrofe.

e) **Cartografía de elementos lineales:** El sistema de láser aerotransportado permite disponer de MDE de corredores lineales con una gran rapidez y efectividad. Este tipo de cartografía es muy frecuente para el diseño y ejecución de vías de comunicación, trasvases, conducciones de gas.



f) **Cartografías de zonas de acceso complejo:** En numerosos casos es necesario disponer de información de zonas de interés medioambiental pero de complicado acceso

terrestre (zonas pantanosas, con gran vegetación) en las que la aplicación de las técnicas fotogramétricas o topográficas es compleja. En estos casos la aplicación de sistemas LIDAR presenta importantes ventajas. Esta tecnología también puede ser aplicada a zonas en las que existen depósitos de residuos tóxicos o industriales.



g) **Cartografía de zonas costeras:** La aplicación a las zonas costera proporciona importantes ventajas con respecto a las técnicas fotogramétricas, en particular, para el control y la monitorización de zonas especialmente dinámicas y de escasa textura de imagen, como, por ejemplo, las zonas de playa y dunas.

h) **Planificación de auxilio y ayuda en el caso de desastres naturales:** Los principales desastres naturales, como, los huracanes y los terremotos pueden llegar a introducir importantes cambios que deben ser considerados en la planificación y ayuda a los afectados. Para ello es necesario disponer de una cartografía rápida y precisa de las zonas afectadas que puede ser obtenida mediante la utilización de los sistemas láser.

4.3 Lidar en México.

En México son pocas las empresas que tienen instrumentos adecuados para realizar estudios con la tecnología LIDAR.

El INEGI en su Dirección de Generación de Datos Primarios utiliza esta tecnología Lidar. Los criterios que se tomaron en cuenta para la adquisición de un Sistema Aéreo ALS 40

para el quehacer cartográfico de la Dirección General de Geografía (DGG) fueron la precisión, exactitud, así como la versatilidad en la ejecución de los levantamientos con el propósito de tener amplias superficies de cobertura y áreas muy pequeñas.

Los proyectos en los cuáles es utilizado son: infraestructura de comunicaciones, procesos de urbanización y áreas de riesgo y, sobretodo, en amenazas y peligros reales y potenciales, así como para estudios específicos de los recursos naturales.

La implementación del sistema en la DGG parte desde capacitar al personal debido a que es una tecnología nunca antes implementada en México y se espera quede integrada durante el transcurso de este año (2007), con la finalidad de que los procesos estén estabilizados un año después, y con esto sólo actualizar tanto al personal como a los procedimientos.

Aún cuando el sistema LIDAR a nivel mundial tiene más de 15 años que apareció, en México la utilización de este tipo de técnicas aun esta en procesos de capacitación.

4.3.1 Características del sistema LH Systems ALS40

Para lograr este objetivo, el INEGI adquirió, en el 2004, un ALS40 (Airborne Laser Scanner: escáner láser aerotransportado, modelo 40).

Fundamentalmente, la elección obedeció al reto de brindar un servicio de generación de información geográfica con tecnología de vanguardia, conforme a las diferentes características del territorio nacional y necesidades de aplicación.

El sistema LH Systems ALS40 es el primer producto de la Airborne LIDAR División de LH Systems. Esta división ha surgido como el fruto de la adquisición de la empresa Azimuth Corporation por parte de LH Systems en Mayo de 2001. En realidad el sistema ALS40 es una versión rebautizada del sistema Azimuth AeroScan, sistema bien conocido dentro del sector.

El ALS40 (figura # 4-6) está integrado por los siguientes componentes:



Figura # 4-6
Componentes del sensor LH ALS40 (leyenda en el texto)

a) Hardware:

1. Escáner (figura # 4-6 a).
2. Sistema de control (figura # 4-6 b).
3. Ordenador de a bordo (figura # 4-6 c)

b) Software:

1. AeroPlan: Configuración del sistema
2. POSPac/POSGPS/PosProc: Resolución de trayectorias
3. LIDAR post-processor: Combina los datos de trayectoria y escáner para la obtención de puntos del terreno, permitiendo la combinación de proyecciones y datum.
4. AeroPreview: Generación de ficheros bitmap de elevación/intensidad
5. Visor de ficheros ALS40
6. SOCET SET (opcional): Edición estereoscópica de los MDE
7. TerraScan (opcional): Sistemas avanzados de filtrado de datos

El esquema de trabajo con el sistema se muestra en la figura # 4-7.

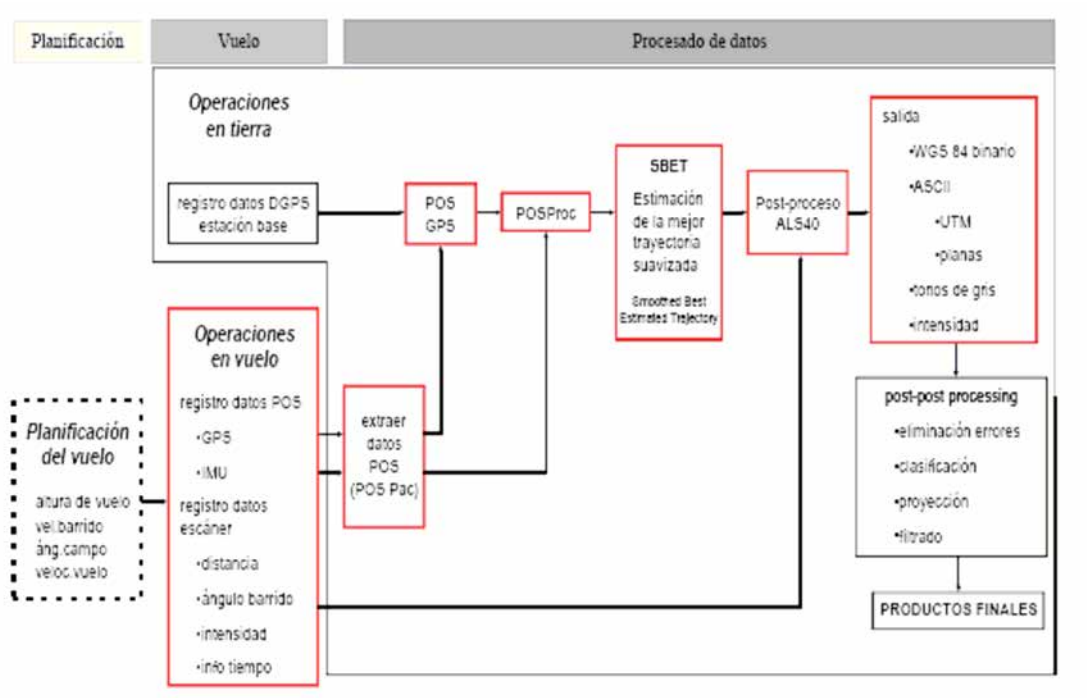


Figura 4-7.
Esquema de trabajo con el sistema ALS40
(los recuadros en rojo indican los procesos realizados directamente en el sistema)

El ALS40 es un sistema versátil, capaz de responder a múltiples propósitos en el levantamiento de información sobre:

- Grandes llanuras interiores y costeras (6 mil metros).
- Sistemas montañosos (6 mil metros).
- Masas forestales (3 mil metros).
- Franja costera (3 mil metros).
- Corredores urbanos (alrededor de mil metros).
- Infraestructura de suministro eléctrico (aproximadamente mil metros).
- Redes de comunicación (sobre mil metros).
- Áreas de riesgo de inundación (desde mil metros hasta 750 metros).

Y, como valor agregado, ofrece la alternativa de toma aerofotogramétrica simultánea (el sistema LIDAR puede trabajar de noche).

A partir de la nube de puntos con coordenadas X, Y, Z, convertida ya en una malla regular de valores de altitud, es posible, según los objetivos de aplicación del usuario, presentar la información del territorio completa o rasurar, por ejemplo, la vegetación para mostrar, exclusivamente, el terreno y, a partir de ello, generar curvas de nivel o perfiles topográficos.

Por tanto, con el sistema LIDAR se mide la distancia del avión (sensor) al suelo mediante un barrido continuo, conociendo el tiempo de retorno de un pulso láser (eco) basado en los principios de la MED (Medida Electrónica de Distancias).

Se necesita conocer la posición del sensor en el sistema de referencia WGS84 mediante GPS diferencial (se necesita un receptor GPS en tierra que envíe al avión correcciones diferenciales) y la orientación del sensor por la plataforma giroestabilizada IMU (Unidad de Medida Inercial) compuesta por una triada de acelerómetros y giróscopos en las direcciones de los ejes coordenados 3D. También es necesario conocer la refracción del rayo láser para aplicar las correcciones correspondientes a las distancias medidas y así tener constancia de la precisión y fiabilidad de los datos adquiridos (Santos, Luis. 2005).

La captura del rayo láser reflejado (eco) se basa en la luz difusa reflejada en todas direcciones por los objetos:

- Sólo una mínima parte de la luz incidente vuelve al receptor.
- Materiales como el asfalto (negro) apenas refleja nada.
- Materiales de gran reflectividad (espejo) como agua en calma alejados de la vertical del avión pueden hacer que el rayo se pierda y no regrese al sensor ya que se refleja en una sola dirección.

Los múltiples reflejos de los rayos láser, cada uno con su intensidad propia se crean o generan al incidir el pulso láser en los distintos puntos de los objetos (árboles, edificios, etc.) (figura 4-8) ecos en todas direcciones.

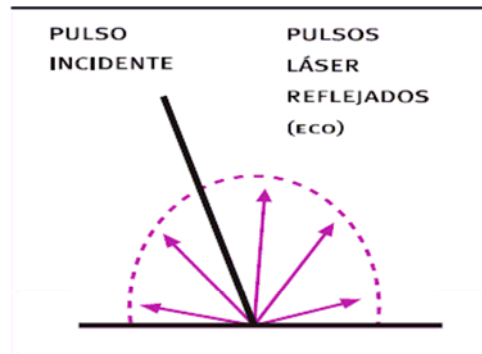


Figura 4-8
El láser incide en una superficie
Y se refleja en todas direcciones.

Todas las superficies reflectoras, dentro de la huella del láser, generan la onda de retorno. Los puntos recogidos, (patrón de escaneo del terreno), pueden conformar ó bien una red regular ó bien seguir patrones sinusoidales. En cualquier caso no distinguen las características del terreno, es decir no definen los cambios de pendiente u otros detalles. En cualquier caso obtendríamos una "nube de puntos" con X,Y,Z, de los mismos en WGS 84. Un análisis más sofisticado de la señal (figura 4-9) de retorno da información adicional:

- múltiples ecos
 - da la altura de árboles y objetos bajo ellos
- intensidad del eco
 - ayuda a la fotointerpretación

En la figura se puede apreciar la diferencia entre los ecos, en un terreno sin elementos verticales (suelo desnudo) tendrá un solo eco, pero si existen edificios ó vegetación, esos ecos serán múltiples, de forma que se puede discriminar entre ellos, seleccionando los que convengan y eliminando los otros. Por ejemplo, si se selecciona un primer eco en un bosque se tendrá la representación de las zonas más altas de la cobertura vegetal (copas de los árboles), si tomamos el 2º se nos representarán las ramas medias y si sólo el 3º, obtendremos el suelo sin cobertura vegetal.

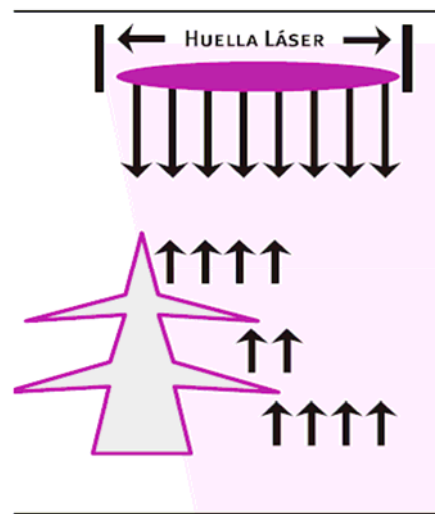


Figura 4-9
Diferentes ecos producidos por un elemento vertical (árbol).

Por tanto, la figura 4-10 muestra cómo sería la representación que se obtendría del terreno y los elementos situados sobre él. Como se ha visto, se puede seleccionar qué eco (reflexión del rayo) es el que interesa. Si la selección es el primer eco (parte más alta de edificios y vegetación) y el último (suelo) se obtendrá un perfecto modelo digital de superficies tridimensional, con X,Y,Z de cada uno de los miles de puntos que lo componen. Sus aplicaciones, son tantas que se dejan a la libre imaginación de las personas. Aunque no sea de aplicación en catastro, es de gran importancia la aplicación hidrológica de los datos LIDAR. La aplicación de MDT derivados de un levantamiento LIDAR (Láser escáner) produce enormes ventajas para modelizar áreas con riesgo de inundaciones. Con el fin de encontrar los requerimientos de la alta precisión que piden los hidrólogos, son necesarias cuidadosas aplicaciones de tecnología avanzada en el campo de los DTM.

Uno de los productos más importantes es la previsión de áreas inundadas en caso de crecida para evitar daños humanos y materiales con la suficiente antelación. Valiéndose de la gran precisión del sistema LIDAR, tanto en planimetría como en altimetría, se puede incluso determinar la profundidad del agua en las zonas inundadas (curvas batimétricas) (K.Kraus 2002).

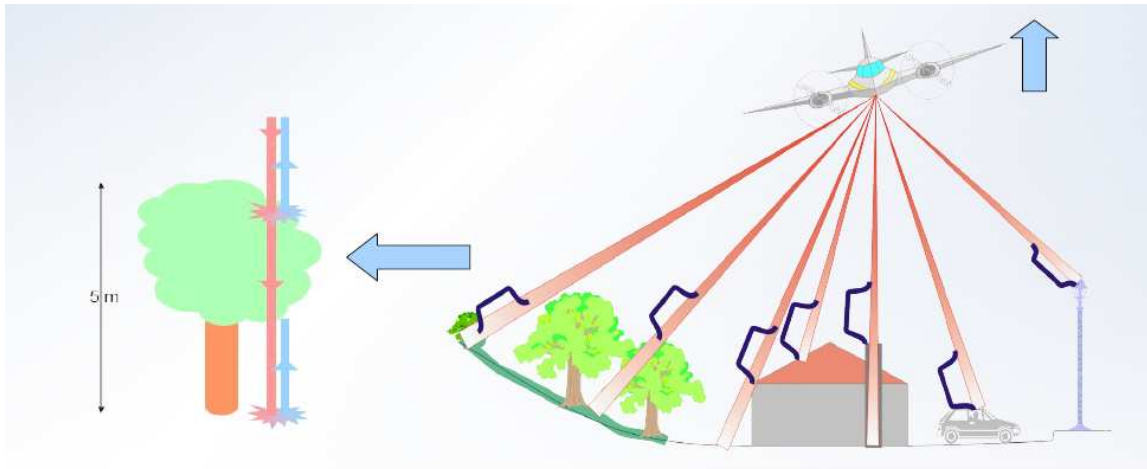


Figura 4-10
Obtención de ecos

En conclusión, en este nuevo servicio para la generación de información geográfica, la resolución marca la diferencia.

CONCLUSIONES

Un nacimiento con los métodos gráficos de Laussedat y Meydenbauer, un corto interregno analítico posibilitado por el estereocomparador de Pulfrich y la sencillez de las fórmulas de pares fotogramas con ejes de cámaras paralelos, una extensa etapa analógica que comenzó con el estereoautógrafo de von Orel en la Fotogrametría terrestre y continuó con sus sucesores de la Fotogrametría Aérea, una transición larga y suave entre las etapas analógica y analítica y, finalmente, una transición de los procedimientos analíticos a los digitales que al principio parecía tímida, pero que se ha acelerado notablemente en estos últimos años, son las características sobresalientes de la corta historia de la Fotogrametría.

Esta Primera Carta de la República Mexicana proporcionó en su tiempo información exacta y mucho más amplia de la que podían ofrecer otros mapas de la misma categoría. La presentación de esta serie de cartas marcó un paso muy importante en la historia de la Cartografía y sobretodo de la Fotogrametría en México, ya que sentó las bases del Método Fotogramétrico en México y que con el tiempo diversas instituciones adquirieron para crear su propia cartografía.

El hecho de que la impresión de esta carta se realizará por el método en *offset* y a ocho colores, tomando en cuenta que los diferentes tipos de letras fueron los mismos que se utilizaron en la elaboración de la carta de los Estados Unidos y en algunos países sudamericanos, la convierten en un mapa de una calidad semejante a cualquiera que se haya construido en América. En total resultaron 47 cartas en escala 1:500 000, que comprenden un área de 2° de latitud por 3° de longitud, el fraccionamiento de estas se realizó apoyándose en la Proyección Universal Transversa de Mercator, el título de cada carta corresponde a la localidad o población más representativa de la región.

La Carta Geográfica escala 1:500 000, se convierte en un significativo esfuerzo nacional, no solo por ser la primer serie de cartas en representar a todo el país sino por que fue una carta restituida fotográficamente en México por mexicanos. Sin duda alguna estos trabajos marcaron la pauta en la forma de hacer cartografía en México, y sobre todo la forma de

interpretar imágenes aéreas con la ayuda de instrumentos propios para ese tipo de trabajos.

La Cartografía junto con la Geografía, adquieren en ese momento una importancia clave en la historia del país, los estudios que se pueden llevar a cabo a través de esta nueva cartografía son infinitos, las aplicaciones y los beneficios son muy grandes gracias a la veracidad de la información. Algunas instituciones como la UNAM, toman esta carta como base de sus mapas temáticos (Carta de Climas publicada por el Instituto de Geografía).

La necesidad de una cartografía mucho más precisa ha dado pie a un avance tecnológico en los instrumentos empleados en los procesos de la fotogrametría.

La información geoespacial resultante de estos avances tecnológicos, esta cambiando la forma de tomar decisiones estratégicas en las organizaciones del sector público; han modificado la manera de enseñar la geografía, la biología, la geología y otras ciencias naturales en los sectores académicos; ha transformado la visión de negocios en las empresas y está fomentando la cultura geográfica en todos los ámbitos de la sociedad.

Para terminar dos frases de Schenk: "Los fundamentos de la Fotogrametría permanecen inalterados, pero el entorno operacional ha cambiado significativamente" y "Con las imágenes en forma digital, existen oportunidades casi sin límites para que la Fotogrametría siga floreciendo".

Es cierto que hoy los procesos cartográficos son menos que nunca un campo para especialistas, pero es más cierto que ser cartógrafo hoy es más que ser un especialista del método.

El nombre de las 47 cartas y su matrículas son las siguientes:

	Matrícula de la carta	Nombre de la carta	Estados que comprende
1	11S-VII y 11S-VIII	Tijuana y Mexicali	Baja California y Sonora
2	11R-II	Ensenada	Baja California y Sonora
3	11R-IV	Isla Cedros	Baja California
4	11R-VI	Punta Eugenia	Baja California Sur
5	12R-I y 12S-VII	Caborca y Sierra del Tule	Sonora
6	12R-II	Nogales	Sonora y Chihuahua
7	12R-III	Isla Tiburón	Sonora y Baja California
8	12R-IV	Hermosillo	Sonora y Chihuahua
9	12R-V	Santa Rosalía	Baja California Sur
10	12R-VI	Ciudad Obregón	Sonora, Chihuahua y Sinaloa
11	12R-VII	Bahía Magdalena	Baja California Sur
12	12R-VIII	La Paz	Baja California Sur y Sinaloa
13	13R-I y 13R-II	Ciudad Juárez y Barranco de Guadalupe	Chihuahua
14	13R-III	Chihuahua	Chihuahua
15	13R-IV	Ojinaga	Chihuahua y Coahuila
16	13R-V	Hidalgo del Parral	Chihuahua, Durango y Sinaloa
17	13R-VI	Jiménez	Chihuahua, Coahuila y Durango
18	13R-VII	Culiacán	Sinaloa, Chihuahua y Durango
19	13R-VIII	Durango	Durango, Coahuila y San Luis Potosí
20	14R-III	Piedras Negras	Coahuila
21	14R-V	Nuevo Laredo	Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas
22	14R-VII	Monterrey	Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas
23	14R-VIII y 14R-VI	Matamoros y Reynosa	Tamaulipas y Nuevo León
24	12Q-II	San José del Cabo	Baja California sur
25	13Q-1	Mazatlán	Sinaloa, Durango y Nayarit
26	13Q-II	Zacatecas	Durango, Nayarit, Jalisco, Zacatecas y Aguascalientes
27	13Q-III	San Blas	Nayarit y Jalisco
28	13Q-IV	Guadalajara	Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Aguascalientes, Michoacán
29	13Q-VI, 11Q-VI, 12Q-V, 12Q-VI, 13Q-VI y 13Q-VIII	Colima, Isla Clarion, Isla Roca Partida, Isla Socorro, Tomatlán y Zacatula	Jalisco, Michoacán y Colima
30	14Q-1	San Luis Potosí	Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas
31	14Q-II	Tampico	Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz
32	14Q-III	Querétaro	Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo
33	14Q-IV	Pachuca	San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz y Puebla
34	14Q-V	México	Michoacán, Guerrero, Estado de México, Distrito Federal y Morelos
35	14Q-VI	Veracruz	Puebla Veracruz y Oaxaca
36	14Q-VII	Acapulco	Guerrero
37	14Q-VIII	Oaxaca	Guerrero, Oaxaca
38	15Q-IV	Isla Triángulos	Campeche
39	15Q-V	Coatzacoalcos	Veracruz y Tabasco
40	15Q-VI	Campeche	Tabasco y Campeche
41	15Q-VII	Tuxtla Gutiérrez	Oaxaca, Veracruz, Tabasco y Chiapas
42	15Q-VIII	Villa Hermosa	Tabasco, Campeche y Chiapas
43	16Q-III y 16Q-IV	Mérida e Isla Cozumel	Yucatán y Quintana Roo
44	16Q-V	Ciudad Chetumal	Campeche, Yucatán y Quintana Roo
45	14P-II	Pochutla	Oaxaca
46	15P-I	Pijjiapan	Oaxaca y Chiapas
47	15P-II	Tapachula	Chiapas

Glosario

ACHAFLANAR: (Acomodo de mosaicos, fotogrametría). El biselado de las orillas o márgenes traslapados de las fotografías antes de montarlas para formar un mosaico a fin de que el apareamiento de las orillas de las fotografías sea menos perceptible. Cuando se biselan las orillas de las fotografías traslapadas, las sombras y los contrapuntos pronunciados se eliminan.

AEROTRIANGULACIÓN: El procedimiento para la extensión del control horizontal y/o vertical por medio de la cual las mediciones de los ángulos y/o distancias en las fotografías traslapadas se relacionan en una solución espacial empleando los principios de perspectiva de las fotografías.

AEROTRIANGULACIÓN ANALÍTICA: Un procedimiento de foto triangulación en el cual la solución espacial se obtiene por rutinas de cálculo electrónico.

AMPLIADORA RECTIFICADORA: Una copiadora por proyección que incorpora mecanismos inversores que satisfacen la ecuación de la lente y la condición de Scheimflug para una base inclinada y etapa negativa.

APOYO TERRESTRE: Puntos ubicados en el terreno por su posición geográfica (latitud, longitud y altitud), que a su vez se han localizado sobre el material aerofotográfico con miras a aportar un marco de control para la elaboración de algún tipo de mapa base.

CENTRO DE LA FOTOGRAFÍA: El indicado por la intersección de dos líneas normales, trazadas a partir de imágenes de las marcas fiduciales de la cámara (ejes fiduciales). En una cámara correctamente ajustada al centro de la fotografía y el punto principal coinciden, cuando la fotografía es perfectamente vertical.

COBERTURA: Superficie de un área representada en fotografías aéreas, foto mosaicos o mapas.

CONTROL FOTOGRAMÉTRICO: El control ubicado por algún método fotogramétrico, también se le denomina "control auxiliar" o "secundario", ejemplo aportado por la triangulación radial mecánica.

COPIA POR CONTACTO: Impresión que se obtiene exponiendo un material sensible en contacto directo con un negativo o positivo transparente. La imagen en este tipo de copias tiene las mismas medidas que la imagen del positivo o negativo.

COPIADORA DE CONTACTO: Aparato que provee la iluminación y el medio para sostener y mantener el negativo en contacto con el material sensible durante la exposición.

COPIADORA RECTIFICADORA: Instrumento de proyección óptica utilizado en procesos de rectificación o enderezamiento de fotografías.

DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE: La diferencia en la posición de un punto sobre o abajo del plano de posición de ese punto, referido a la perspectiva de una fotografía aérea.

DISTANCIA FOCAL: Término general que indica la distancia entre el centro, el vértice o el punto nodal posterior de la lente y el punto en el cual se enfoca exactamente la imagen de un objeto distante.

EJE FIDUCIAL: Línea que une dos marcas fiduciales de una fotografía.

EMULSIÓN: Una suspensión de sales de plata sensibles a la luz, diazas o foto polímeros, en un medio coloidal que se usa para revestir películas, fotografías, placas, etc.

ESTEREOTRIANGULACIÓN: Procedimiento de triangulación que hace uso de un estéreo restituidor para obtener la orientación sucesiva de las fotografías traslapadas hasta formar una faja continua. La solución espacial para la extensión de control horizontal y/o vertical utilizando estas coordenadas de las fajas.

FOTOGRAMETRÍA: Ciencia para obtener medidas reales por medio de la fotografía. Los principios de la fotogrametría se pueden aplicar a las fotografías terrestres lo mismo que a las fotografías aéreas.

FOTOIDENTIFICACIÓN: La detección, identificación y acción de marcar las estaciones o puntos trigonométricos en fotografías aéreas. La identificación y localización absoluta es necesaria si la información se va a emplear como apoyo en la compilación o restitución fotogramétrica.

FOTOINDICE: Índice montado con fotografías aéreas individuales en sus debidas posiciones relativas y reproducido fotográficamente en conjunto a escala reducida.

FOTOMAPA: Un mapa sustituto o suplementario que consta totalmente o en parte de una imagen fotográfica aérea del terreno, puede o no ser rectificado.

INFORMACIÓN MARGINAL: Las anotaciones impresas en los márgenes de mosaicos, cartas y en particular mapas; puede incluir la proyección de construcción, diagrama de declinación, información sobre hojas adyacentes así como claves y símbolos usados.

LÍNEA RADIAL: Aquella trazada del centro de la fotografía a cualquier punto sobre ella.

MÉTODO DE TIRAS DE PAPEL: Método gráfico de rectificación, punto por punto, basándose en la invariabilidad de la proporción. Una modificación de esta técnica permite que los detalles cartográficos se revisen utilizando una fotografía aérea oblicua basada en la proyectividad de las líneas rectas.

MOSAICO: Una colección de copias fotográficas que pueden ensamblarse formando una representación de un área de terreno. Los mosaicos verticales pueden ser completamente controlados, semicontrolados o no controlados; también pueden ser traslapos de fotografías oblicuas, aunque esto es menos común.

MOSAICO DIAPOSITIVO BASE: Montaje de pedazos de película sobre una cuadrícula o proyección que se emplea como base para la reproducción de copias que posteriormente se usan como base para la restitución o compilación.

MOSAICO NO CONTROLADO: Resultado de un montaje de pedazos fotografías no rectificadas, donde la coincidencia de imágenes ha sido realizada de una foto a otra sin control terrestre, basándose simplemente en la superposición de imágenes comunes.

MOSAICO SEMI-CONTROLADO: Un mosaico hecho con control de tierra pero con fotografías no rectificadas, también un mosaico hecho con fotografías rectificadas pero sin control de tierra.

ORTOFOTOMAPA: Fotomapa confeccionado mediante el montaje o ensamblaje de ortofotografías. Puede comprender un tratamiento cartográfico de especial realce de los bordes de las fotografías, separación de colores o una combinación de éstos.

ORTOFOTOGRAFÍA: Copia fotográfica confeccionada a partir de una fotografía en perspectiva en la cual han sido eliminados los desplazamientos de las imágenes debido a la inclinación y al relieve.

ORTOFOTOMOSAICO: Montaje de ortofotografías que forman un mecanismo a escala uniforme.

PLANTILLA: Es un auxiliar en material transparente, por lo general usado para localizar, delimitar o planimetrar un área o comparar imágenes fotográficas con patrones definidos y preparados gráfica o analíticamente.

PUNTO PRINCIPAL: El punto en el cual el eje principal intersecta el plano de la película.

PREPARACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS: Aplicada en aerofotografías; consiste en la localización y transferencia de puntos auxiliares. Ocasionalmente incluye el trazo de los marcos de fotointerpretación que circunscriben al área útil por trabajar.

RECTIFICADOR: Tipo de proyector especialmente concebido para eliminar la inclinación del negativo aéreo. Hay dos tipos básicos: aquellos en los cuales el eje óptico del objetivo del rectificador es la referencia común o dirección base del aparato, y aquellos en los cuales la línea entre el punto principal del negativo y el objetivo del rectificador es la referencia común.

RECTIFICACIÓN: Procedimiento de proyectar una fotografía inclinada u oblicua sobre un plano de referencia horizontal con el objeto de obtener una nueva imagen corregida y ajustada a escala.

RECTIFICACIÓN GRÁFICA: Cualquier técnica de rectificación que emplea un método gráfico para determinar la solución que se compone con las técnicas mecánicas.

RECTIFICACIÓN MULTITAPPA: Técnica que emplea equipo estándar para rectificar fotografías oblicuas por medio de una serie de proyecciones para lograr la transformación proyectiva deseada.

RECTIFICACIÓN ÓPTICA: Procedimiento en el cual se proyecta la imagen de la fotografía aérea inclinada sobre un plano de referencia horizontal para eliminar los desplazamientos de las imágenes ocasionados por el ladeo de la cámara fotogramétrica en el momento de la toma.

SKETCHMASTER: Tipo de instrumento que se basa en el principio de la cámara clara que permite superponer una imagen virtual rectificada de una fotografía sobre el manuscrito de un mapa. Este instrumento se conoce con el nombre de rectificador gráfico para fotografías aéreas.

TRIANGULACIÓN CON PLANTILLAS MECÁNICAS: Triangulación radial gráfica y emplea plantillas mecánicas ranuradas, desarmables o de cualquier forma.

TRIANGULACIÓN RADIAL: Método de aerotriangulación, gráfico o analítico, en el que se usan direcciones desde el centro radial aproximado de cada fotografía sobrepuesta, para la extensión del control horizontal mediante la intersección sucesiva y la recesión de estas líneas de dirección.

TRIANGULACIÓN RADIAL ANALÍTICA: Triangulación radial efectuada por computaciones rutinarias.

TRIANGULACIÓN RADIAL DIRECTA: Triangulación radial gráfica que se efectúa mediante la delineación de direcciones desde los centros radiales sucesivos, directamente sobre la hoja transparente de trazado en lugar de utilizar el método de triangulación por plantillas.

TRIANGULACIÓN RADIAL GRÁFICA: Triangulación radial llevada a cabo por otro método que no sea el analítico. Se supone que una triangulación radial se efectúa usando los puntos principales como centro radiales a menos que el término definitivo.

Bibliografía

- Angiano, Ángel. "Cartografía Mexicana", en: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. t. 4, quinta época. México. 1913.
- Blachut, Teodor J. Cartografía y Levantamientos Urbanos. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. México DF. 1980. 519 pp.
- Blachut, Theodor J. y Burkhardt, Rudolf. "Desarrollo histórico de los equipos y métodos fotogramétricos". Vol.1, Núm. 424, México. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 1987.
- Caire Lomelí, Jorge. Cartografía Básica. México. UNAM. 2002.
- Caire Lomelí, Jorge. Fotogrametría 1. Editorial Rodríguez. México DF. 1977.
- Caire Lomelí, Jorge. La proyección cartográfica para la República Mexicana. UNAM. Dirección General de Publicaciones. México, DF. 1986
- Caire Lomelí, Jorge. Fotogrametría Aérea. En proceso de publicación. UNAM. México DF. 2003.
- Chacón Baca, Juan Ricardo. La construcción del mapa base para la elaboración de cartas geográficas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 1982. 244 pp.
- Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana. Memoria sobre los trabajos llevados a cabo en los años 1956 a 1958, relacionados con la construcción de la primera Carta Fotogramétrica de la República Mexicana a la escala de 1:500 000. México DF. 1958. 107 pp.

- Corral Medrano, Luis. Primer Curso de Fotogrametría. IPN. México DF. 1994.
- De la Barra, Ignacio. "Breve reseña sobre la cartografía mexicana", en: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. t. 44. México. 1934.
- Domínguez García Tejero Francisco. Topografía General y Aplicada. Ediciones
- Editorial The Times. 14 de Octubre de 1992.
- Guerra Peña, Felipe. Fotogeología. UNAM. Facultad de Ingeniería. 1980. 337 pp.
- Gómez Lahoz, Javier. Pasado, presente y futuro de la Fotogrametría. Departamento de ingeniería cartográfica y del terreno. Universidad de Salamanca. Ávila, España. 2003.
- H. Deetz Charles y S. Adams Oscar. Elementos de proyección de mapas y su aplicación a la construcción de mapas y cartas. Washington D. C. 1944. 225 pp.
- Herrera, Bernard. Elementos de Fotogrametría. Noriega Editores. México. 1987.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. "La Modernización del INEGI y el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994". México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. "La nueva cartografía de México". 1994. México.
- Joly, Fernand. La Cartografía. Editorial Ariel. Barcelona, España. 1985. 303 pp.
- Lehmann, Gerhard. Fotogrametría. Primera edición española, traducida del alemán por Daniel Montana. Barcelona, España. Técnicos asociados, 1975. 399 pp.

- Lerma García, José Luis. Fotogrametría moderna :analítica y digital. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, deposito legal 2002. 550 pp.
- Lujan Álvarez, Concepción. Fotogrametría: Principios básicos. Chihuahua, Chile. Universidad Autónoma de Chihuahua, 1991. 173 pp.
- Medina, Manuel. "Estado actual de la cartografía mexicana". Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México. 1943.
- Monk House, F. J. y Wilkinson H. R. Mapas y Diagramas. Oikos-Tau. Madrid, España. 1963. 566 pp.
- Navarro Moreno, Jesús Abraham. La elaboración de las cartas geográficas. Tesis Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 2004. 301 pp.
- Raisz Erwin Josephus. Cartografía General. Editorial Omega. Barcelona, España. 1985. 423 pp.
- Robinson Arthur H. Elementos de Cartografía. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1987. 544 pp.
- Robles, Ramiro y Ortiz, Gabriel. "Informe sobre las labores del Comité Coordinador de Levantamiento de la Carta de la República Mexicana". Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México. 1950
- Ruiz Morales, Mario. Nociones de topografía y fotogrametría aérea. Granada, España. Universidad de Granada, 2003. 529 pp.
- Schenk, Toni F. Fotogrametría digital. Traducido por Isaura E. Alonso Martínez y Francisco García Cepeda. Barcelona, España. Ed. Marcombo Boixareu. Instituto Cartográfico de Catalunya, 2002

- Schwidofsky, K. Fotogrametría Terrestre y Aérea.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. Guía para la Interpretación Cartográfica. Artes gráficas Don Quijote. México DF. 1981. 30 pp.
- Sifuentes R., Francisco Javier. Introducción a la fotogrametría. México. Trillas, 1997. 115 pp.
- Sistema Geográfico Nacional. Divulgación Cartográfica. Rekord Impresores. México DF. 1981. 65 pp.
- Sociedad Mexicana de Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia A.C. "Memoria del seminario sobre la enseñanza de la fotogrametría y fotointerpretación". México. 1980.
- Valdés Doménech, Francisco. Prácticas de topografía, cartografía, fotogrametría. Barcelona, España. CEAC, 1981. 387 pp.
- Zurita, J. Topografía Practica. Monografías CEAC. 1993. 143 pp.

Páginas consultadas en Internet

- ⇒ A. Ruiz, W. Kornus. Instituto Cartográfico de Catalunya. "Experiencias y aplicaciones Lidar". URL: [http://www.icc.es/pdf/common/icc/publicacions_icc/publicacions_tecniques/bienni_2003_2004/fotogrametria/experiencia_y_aplicaciones_lidar.pdf]. Consultado en febrero de 2007.
- ⇒ Centro Universitario de Mérida. "Apuntes de Fotogrametría". Universidad de Extremadura. URL: [<http://cum.unex.es/profes/profes/japerez/Apuntes/Apuntes%20de%20Fotogrametr%EDA%20II.pdf>]. Consultado en enero de 2007.
- ⇒ "El vuelo fotogramétrico". URL: [<http://www.Lafotogrametria.usach.cl/vuelo.pdf>]

- ⇒ Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. "Sensores Remotos". URL: [http://www.efn.uncor.edu/otros/foto/index.htm]. Consultado en enero de 2007.
- ⇒ Gomez, Alfonso. Delgado, Jorge. Pérez, Nuria. "Obtención de DTM y DSM mediante tecnología Lidar. Aplicación al Río Ebro". Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Jaén. URL: [http://www.cartesia.org/geodoc/ingegraf2005/T14.pdf]. Consultado en febrero de 2007.
- ⇒ Gómez, Alfonso. Stereocarto. (2006). "Proyectos cartográficos: Imagen + Lidar y sus aplicaciones". URL: [http://www.jornadas-carto-clm.org/paginas/jornadaspdf/Imagen%20+%20I%EDdar%20aplicaciones.pdf]. Consultado en febrero de 2007.
- ⇒ Instituto de Información del estado de Jalisco(Noviembre 2006). "Fotogrametría ¿Y eso, con que se come?". URL: [http://iit.jalisco.gob.mx/RET/E1/fotogrametria.pdf]. Consultado en enero de 2007.
- ⇒ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007). "La revolución tecnológica en la producción de información geográfica". Información Geográfica hacia el tercer milenio. Aguascalientes, México. Consultado en febrero de 2007. URL: [http://www.inegi.gob.mx]
- ⇒ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007). "La cartografía en México". Consultado en febrero de 2007. URL: [http://www.inegi.gob.mx]
- ⇒ Instituto Nicaragüense de estudios territoriales. (2006). "Historia de la Fotogrametría". URL: [http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/Geodesia/Seccion_Temas_de_Fotogrametria/Historia_de_la_Fotogrametria.html]. Consultado en enero de 2007.
- ⇒ Jáuregui, Luis. "Fotogrametría Básica". Consultado en enero de 2007. URL: [http://webdelprefesor.ula.ve]

- ⇒ Juliá, José E. "Las transiciones en la Fotogrametría". Versión elaborada de una conferencia impartida en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica de la Universidad Politécnica de Madrid. Octubre de 2002. Consultado en febrero de 2007. URL: [<http://redgeomatrica.rediris.es>]
- ⇒ Merrick & Company. (2004). URL: [<http://www.merrick.com>]
- ⇒ Pérez, Rufino. "La cartografía digital: repaso de su evolución histórica y el estado tecnológico actual." Encuentro Profesores alumnos para la difusión de actividades. ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía UPM. Mayo de 2006. Consultado en enero de 2007. URL: [<http://www.topografía.upm.es>]
- ⇒ Pozos Ríos, María del Mar. Universidad de Extremadura (Junio 2002). "Desarrollo de equipos de fotogrametría: explotación del dato digital". URL: [<http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/67.pdf>]. Consultado en enero de 2007.
- ⇒ Sánchez Ríos, Alonso. "Fases en el diseño, producción y explotación de cartografía fotogramétrica a gran escala". Universidad de Extremadura. Mérida España. Consultado en febrero de 2007. URL: [<http://departamentos.unicam.es>]
- ⇒ URL: [<http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.htm>]