

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

"La actualización cartográfica a escala 1:50 000 y 1:250 000, por medio de la fotogrametría digital empleando fotografías aéreas e imágenes de satélite"

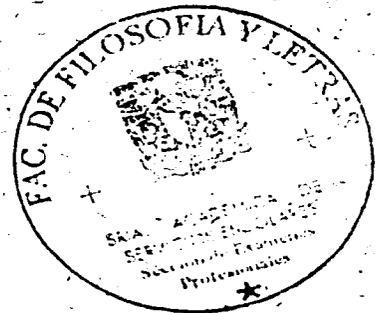
Informe de actividad profesional

que presenta:

Silvia Chaparro Sánchez

para obtener el título de:

Licenciada en Geografía



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

Octubre 2002.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

Dedicatoria:

Este trabajo se lo dedico con todo mi corazón a mis padres, agradeciendo a cada uno de ellos él haber formado parte de su ser, para crear uno solo a Mi.

Sabiendo que la existencia de un ser forma parte de la ilusión y amor que tuvo mi padre, para concebirme y la esperanza e ilusión de mi madre para formarme.

Esta es la gran razón que tuvieron los dos para darme la oportunidad de venir a experimentar y conocer la vida.

Gracias Papá:

Ascensión Chaparro Ibarra.

Gracias Mamá:

Juana Sánchez Cubielles.

Agradecimientos:

Quiero de manera particular expresar todo mi agradecimiento y reconocimiento al Ingeniero Roberto López Galicia, por el apoyo y confianza que siempre ha tenido conmigo, y que gracias a esa confianza, he logrado adquirir la experiencia, conocimiento y confianza que requiere todo ser humano para formar parte de la vida productiva de una nación.

Gracias de todo corazón por tu apoyo "Galicia".

También quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor:

Maestro Mauricio Aceves García,

por el apoyo que me brindo para llevar a cabo la elaboración de este informe.

Así mismo mi agradecimiento para los profesores que formaron parte del jurado, como sinodales, quiénes gracias a sus valiosas opiniones la realización de este trabajo se llevo a cabo, de acuerdo a la experiencia y conocimiento de cada uno de ellos.

Lic. Ana Elsa Domínguez Cevallos

Lic. Ricardo Rubalcava Ayala

Lic. Gilberto Núñez Rodríguez

Lic. José Luis Luna Montoya.

A todos y cada uno de ustedes muchas gracias.

Índice

Introducción.

Capítulo Uno

1. Antecedentes históricos de la fotogrametría	1
1.1 La nueva era en fotogrametría	13
1.2 La fotogrametría en México	16
1.3 Compañías públicas y privadas que realizan la fotogrametría en México	18

Capítulo Dos

2. La fotografía aérea	20
2.1 Relación de la fotogrametría con otras disciplinas	21
2.2 Bases geométricas de la fotografía aérea	23
2.3 La fotografía aérea y el mapa	24
2.4 La cámara aérea (fotogramétrica)	24
2.5 Clasificación de cámaras y fotografías aéreas	26
2.6 Plan de vuelo	27
2.7 Aviones	28
2.8 Características de la fotografía aérea	28
2.9 La fotografía aérea en la Dirección General de Geografía	29
2.10 Ortofotografía	30

Capítulo Tres

3. Imágenes de satélite	32
3.1 Percepción Remota	35
3.2 El espectro electromagnético	37
3.3 Espectro visible	39
3.4 Características de las Imágenes de satélite	40

Capítulo Cuatro

4. Insumos y equipos requeridos en la actualización digital	42
4.1 Sistema Nacional de Información Geográfica	42
4.2 Uso y manejo de la Base de Datos Geográficos	43
4.3 Equipo empleado en la actualización cartográfica	48
4.4 Insumos requeridos para la actualización cartográfica	50

Capítulo Cinco

5. La actualización de la carta topográfica escala 1:50 000 y 1:250 000	53
---	----

Análisis y conclusiones

Bibliografía

Introducción

El alto ritmo de la automatización en los procesos de producción y actualización cartográfica a diferentes escalas, ha dado lugar a la modernización, en procesos orientados a los sistemas de información geográfica (definidos como sistemas computarizados que consisten en un conjunto de herramientas diseñadas para la captura, almacenamiento y análisis de información), (INEGI, 1999). En los países industrializados y en los no tan desarrollados, se emplean sistemas automatizados de información geográfica para la elaboración de cartas básicas (topográficas), cartas temáticas y diversos temas de interés geográfico a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

Fundamentalmente, las ventajas que ofrece el uso de la fotogrametría (la fotogrametría se define como la ciencia o técnica de medir en posición y dimensión un objeto cualquiera, utilizando fotografías aéreas), (Estrada, 1992), es simplificar grandes proyectos de trabajo como lo es la actualización cartográfica (se realiza cuando los atributos sufren un cambio perceptible en el tiempo), así como levantamientos catastrales (cálculo de predios) y análisis espaciales entre otros. Tal simplificación se ha logrado gracias a la creación de una base de datos geográficos y posteriormente la actualización en los avances tecnológicos que ha dado lugar a los progresivos sistemas automatizados (la automatización consiste en el diseño y reproducción cartográfica en un lapso corto tiempo), a favor del desarrollo y aplicación de la geografía sistematizada actual, que en nuestro país y particularmente en el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se conoce como Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG).

A partir de que se da la descentralización del INEGI, en el año 1985, se da la apertura a una nueva era para el desarrollo histórico de la técnica fotogramétrica, lo cual favorece a la formación de profesionistas con metodologías y técnicas aplicables como es el caso de los geógrafos, los ingenieros en sistemas, en informática, y en áreas de ciencias de la Tierra, quienes desempeñan sus labores tanto en el sector público como privado. Considerando que como geógrafos, podemos y debemos participar en diferentes proyectos de investigación y gestión para el estudio del medio y en beneficio del hombre.

Tales proyectos se aplican para evaluar niveles de concentración de población, alteraciones del medio natural y sus consecuencias, asentamientos humanos en zonas inadecuadas para el desarrollo humano, inventario de recursos naturales (zonas cubiertas de bosques, selvas, cuerpos de agua, etc), desastres naturales (incendios de bosques, inundaciones, deslaves de cerros, sequías, etc), en donde es necesario el empleo y uso de fotografías aéreas e imágenes de satélite así como el apoyo con sistemas digitales.

Por tal motivo se considera que la actual fotogrametría digital es un área sumamente extensa y requiere de la conjunción de técnicas y conocimientos necesarios para realizar la actividad de la actualización cartográfica apoyada por experiencia personal adquirida a lo largo del proceso de elaboración y actualización cartográfica en la Dirección General de Geografía por métodos analógicos (obtención de información fotográfica en tercera dimensión con equipos de restitución), posteriormente analíticos (equipos de restitución adaptados a sistemas computacionales) y para la actualización por métodos digitales (manejo de información alfa numérica). Dicha experiencia y conocimiento me permite hacer la presentación de este trabajo en la modalidad de Informe de actividad profesional en el sector público, esperando se cumplan las expectativas del tema desarrollado.

1. Antecedentes Históricos de la Fotogrametría

Para algunos autores (IPGH, 1984:15), que consideran a la fotogrametría como una disciplina compleja con componentes, basados principalmente en las matemáticas y técnicas para la formación de imágenes (fotografía y teledetección), técnicas para el procesamiento de imágenes y el equipo empleado. Y dentro de la cartografía (se define como el arte y ciencia de hacer mapas o cartas), los levantamientos como parte de una disciplina geodésica en donde se utilizan principales aplicaciones para la fotogrametría.

Así, se considera que el desarrollo de la fotogrametría ha estado ligado a la evolución de cámaras aéreas, materiales y procesos fotográficos, así como a la aviación. También ligada a la investigación y desarrollo de la geometría descriptiva, realizada por un sin fin de modelos matemáticos, aplicados a los procedimientos de levantamientos topográficos, que a propuesta de Jordan se le llamó. Fotogrametría. (Schwidovsky, 1950)

Es así como se realizan los primeros ensayos en levantamientos topográficos en donde las imágenes de los objetos han servido de base a la fotogrametría, principalmente a través de perspectivas centrales, (en donde se presenta geométricamente el tipo de visión que se observa con un solo ojo), las cuales concuerdan con el principio de la visión humana, es decir, con el fenómeno por el cual el ser humano llega al conocimiento de la forma del mundo exterior a él.

El primer dibujo estereoscópico (del griego stereos y scope, "ver de sólido" es decir el efecto que permite la observación de los objetos en tres dimensiones), a mano fue hecho por el pintor florentino J. Chimanti, éste dibujo se conserva en el museo Wicar de Lille, Francia. El dibujo estereoscópico en forma práctica, fue utilizado por el suizo F. Kapeller, elaborando en 1726 un mapa topográfico a partir de dibujos del Monte Pilatus, en el lago Lucerne.

A mediados del siglo XVIII, Giovanni Battista Beccaria realizó estudios relacionados con la emulsión fotográfica y su efecto a la sensibilidad luminosa de sustancias observadas sobre el cloruro de plata. En tanto que el alemán Schultze, observó que el nitrato de plata se ennegrece cuando es expuesto a la luz solar.

Se dice que en el año 1750 J. H. Lambert, desarrolló en su obra "Perspectiva libre", (un objeto se observa simultáneamente con los dos ojos que están separados en el espacio), un procedimiento sistemático para la transformación de una perspectiva, obteniendo algunas aplicaciones aisladas en el levantamiento de cartas de costas o casos análogos.

Para el año 1804 W.H. Wollaston inventa la cámara lúcida y para 1812 mejoró la calidad de la cámara oscura, reemplazando las lentes biconvexas por una de tipo menisco. Con la invención de algunas formas de prismas ópticos (como se observa en la figura 1)

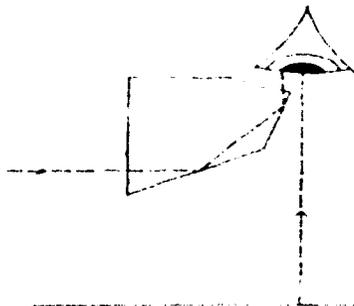


Figura 1. Uso del prisma de Wollaston como cámara lúcida

Así la cámara de agujero fue sustituida por la cámara lúcida (como muestra la figura 2)

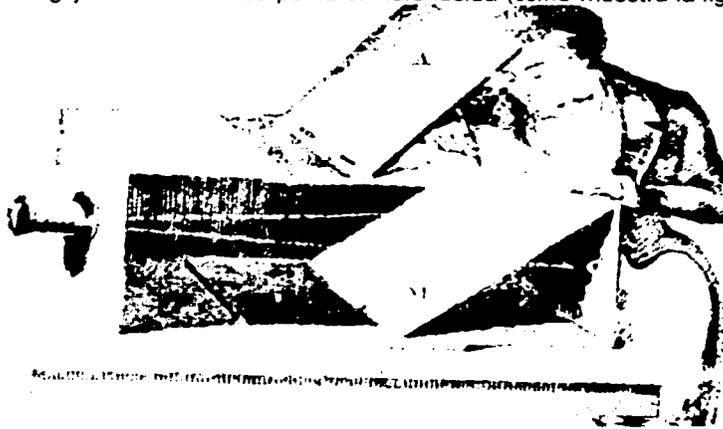


Figura2. Cámara lúcida

Así mismo, se empezaron a utilizar algunos tipos de estereoscopios, como el de Wollaston en 1838 y el de Wheatstone, para el año de 1839, Arago hizo público el invento de la fotografía. (Schwidovsky, 1950).

Posteriormente es Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833) de Francia, quién ha sido reconocido como el inventor de la fotografía, utilizó el papel tratado con cloruro de plata y posteriormente fijado con ácido nítrico, con este proceso se podían obtener imágenes negativas expuestas en una cámara, a este proceso le llamó "heliográfico".

A la continuación de tal invento da la utilización de placas de asfalto (conocidas como bituminosas), logra imágenes positivas por lo que se pensó en utilizar tal descubrimiento en los levantamientos topográficos.

Al mismo tiempo Louis J.M. Daguerre, desarrolló un procedimiento conocido como "daguerrotipo" (este proceso consiste en la impresión de una placa de metal mediante un baño de yodo y realizar la fijación con sal de mar y mercurio), el cual es empleado para la rotación permanente de imágenes fotográficas (se conocen como pantallas especiales sobre las cuales una imagen óptica deja una huella perfecta, en las que la imagen del medio se reproduce hasta en sus más mínimos detalles, con una exactitud y figura incomparable).

Y se dice que gracias a la energía y constancia del coronel francés Aimé Laussedat, a quien se considera como el padre de la fotogrametría, (que a su vez la designó con el nombre de Metrofotografía) (IPGH, 1984:19). Que en el año 1850 elabora el nuevo mapa de Francia, utilizando la cámara lúcida de Wollaston para la producción de dibujos perspectivas.

Y es en el año de 1852 que emprendió tareas para sustituir la cámara lúcida por la cámara fotográfica, también creó el primer instrumento apropiado para levantamientos fotográficos y el primer procedimiento para las operaciones de gabinete (1859).

Tal procedimiento, que se conoce como el de fotogrametría de intersección, que se funda en la utilización de dos vistas fotográficas de un objeto, obtenidas desde los extremos de una "base", para cada punto que se va a determinar en dos direcciones, cuya intersección fija la posición del punto hallándose la restitución completa del objeto fotografiado por el conjunto de todos sus puntos.

Y es Brunner y Bertrand (técnico y fabricante de la rama de la óptica), quiénes tomaron las ideas de Laussedat para construir un primer instrumento parecido al fototeodolito.

En el año 1852 Henri Giffard, efectuó el primer vuelo en globo con propulsión a vapor (como se muestra en la figura 3, cuyo fin era obtener fotografías aéreas).



Figura 3. Primer vuelo en globo con propulsión a vapor

Pero no sino hasta el año 1858, que Félix Tournachon (Nadar), obtuvo las primeras fotografías aéreas del valle de Bieure desde un globo.

Cabe mencionar que con la utilización de las bases matemáticas realizadas por Lambert, así como la invención y continuo desarrollo de la cámara oscura y la fotografía, la búsqueda de nuevas plataformas y técnicas, hicieron posible el surgimiento de la fotogrametría.

Y es un científico italiano llamado Ignacio Porro (1801-1875), que es el inventor del tele-objetivo, que en el año de 1858 desarrolló una cámara fotográfica con placas esféricas (como se muestra en la figura 4).

El propósito era obtener imágenes panorámicas (una imagen panorámica se obtiene cuando el eje de la cámara fotográfica tiene como visual el plano de horizonte, como lo muestra la figura 5).

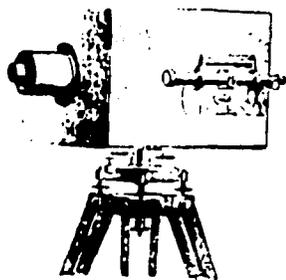


Fig.4 Cámara con placas esféricas

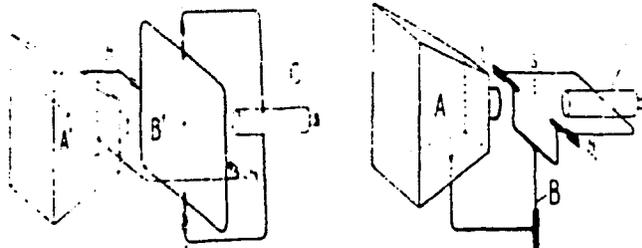


Fig.5 Posición de las placas esféricas para obtener imágenes panorámicas.

Y es el profesor alemán C. Koppe quién replanteó el método de Porro, en donde el método sería utilizado para el diseño de instrumentos fotogramétricos, lo cual se conoce como el principio de Porro-Koppe (la figura 6 representa esquemáticamente la observación de imágenes fotográficas a través del lente de la cámara).

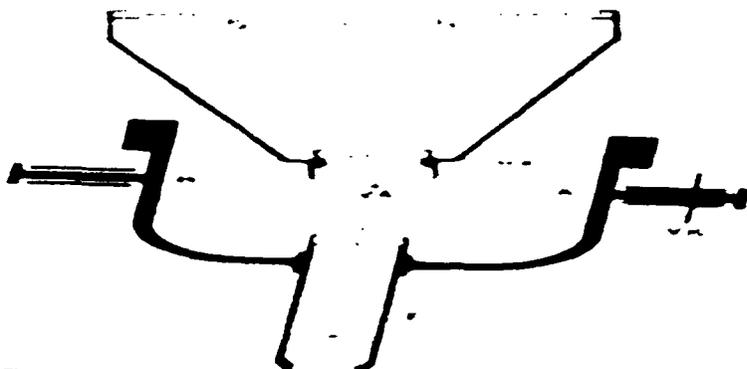


Figura 6. Representación de la observación de imágenes a través de la lente de la cámara, de acuerdo con el principio de Porro-Koppe

En el año 1858 el alemán Meydenbauer, realizó los primeros ensayos para ejecutar el difícil y peligroso levantamiento de obras arquitectónicas por medio de la intersección de rayos luminosos a base de dos fotografías. Esta aplicación representa un caso ideal para el empleo de ese método por la multitud de puntos característicos, fáciles de reconocer en las obras de arquitectura, sucediendo lo contrario en las aplicaciones topográficas, en donde este reconocimiento constituye una gran dificultad. Aunque difícil, y en ocasiones es imposible identificar puntos del terreno que se hallen en dos o tres fotografías que han sido obtenidas desde estaciones distantes entre sí.

El complicado cálculo que es preciso desarrollar para deducir las direcciones necesarias en el método de intersección, cuando las vistas o fotogramas (se define como aquello que es dibujado mediante la luz), se han obtenido como ejes de levantamiento inclinados, así como los errores de los resultados por los efectos de distorsión de los objetivos indujeron a Porro y Koppe a la idea de obtener esas direcciones por medio del objetivo mismo de la cámara empleada en el levantamiento, en la que con tal objeto se colocaba la fotografía ya revelada.

Así, Meydenbauer recurrió a una cámara de metal colocada sobre la base de un teodolito y la llamó "Photographischer Theodolit" (cuya representación se muestra en la figura 7)

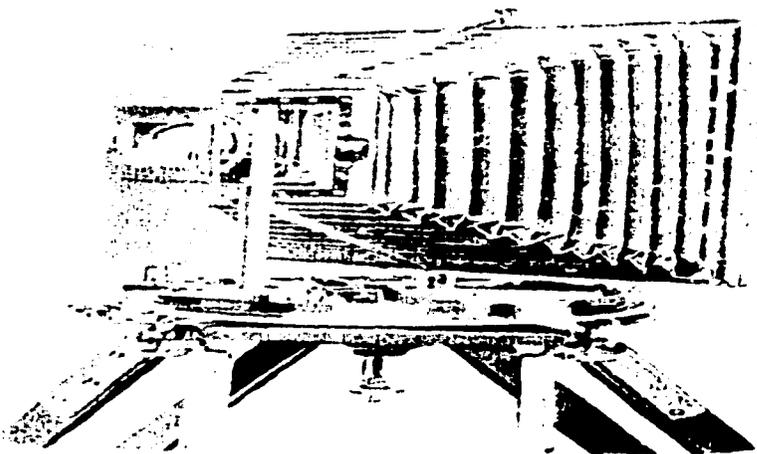


Figura 7. Fototedolito de Meydenbauer

En el año 1865, un geógrafo de apellido Kersten incluyó en la literatura el término fotogrametría, mismo que se difundió en la literatura internacional por Meydenbauer. (IPGH, 1984).

En tanto que en Francia Laussedat, extendió las aplicaciones de la técnica fotogramétrica y diseñó un equipo terrestre para mediciones fotográficas y un proceso al que llamó "Iconometría". Con este equipo logra la elaboración del mapa del Fuerte Vincennes, a una escala 1:2000 y en 1861; desarrolló el levantamiento topográfico de la Villa de BUC, mediante fotografías terrestres, dicho mapa se representa en la figura 8.

Primer trabajo para la producción de dibujos perspectivas, del Fuerte Vincennes.

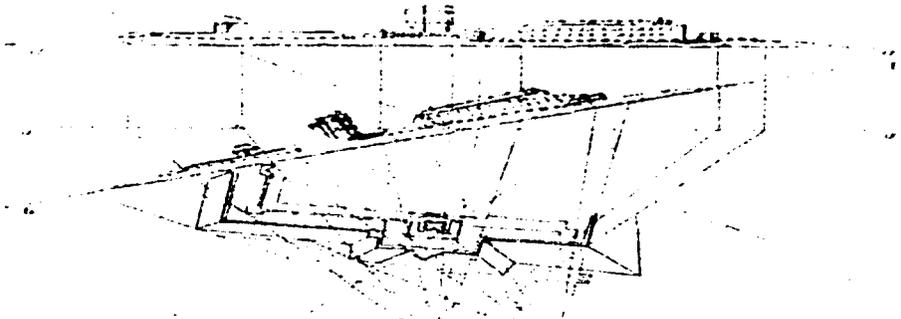


Figura 8 Mapa del fuerte de Vincennes elaborado en 1850 por Laussedat utilizando la cámara lúcida.

Las ideas de Laussedat fueron aceptadas en España desde 1862, ya que la Academia de Ciencias de Madrid había reconocido a la "Métrographia" como una técnica topográfica aceptable; y en 1868 el coronel Pedro de Zea dió "las aplicaciones de la fotogrametría", iniciándose la utilización como auxiliar en levantamientos de campo.

Por la misma época, Paganini fundamentó que la puntería de la cámara se lleva a cabo por medio de un ocular montado en el respaldo y centrado en el eje óptico (figura 9), así mismo inventó instrumentos para la compilación a partir de fotografías, con lo que contribuyó a la aceptación de la fotogrametría como técnica cartográfica y se llevó a cabo su aplicación a la Topografía Militar en los Alpes de Italia y Austria. (American Society of Photogrammetry, 1988).

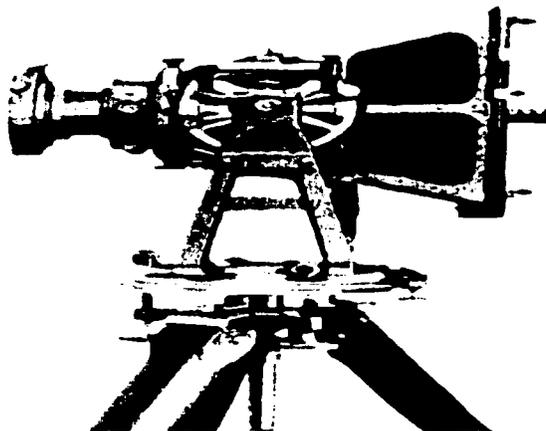


Figura 9 Foto teodolito de Paganini: con ocular central

Para el año 1880, el norteamericano George Eastman Kodak, estableció una fábrica de placas secas en Rochester N.Y., diez años después desarrolló la película en rollo con soporte a base de nitrato de celulosa favorable para el proceso fotográfico y a su vez favorable para el desarrollo de la fotogrametría (Jena, 1985/2.).

En el año 1883, el matemático G. Hauck, dio a conocer la "construcción de una tercera perspectiva de objetos, demostró que a partir de dos imágenes perspectivas se podía derivar una tercera" y construyó el "perspectógrafo" (instrumento utilizado para dibujar la nueva representación perspectiva), cuya imagen se representa en la figura 10.

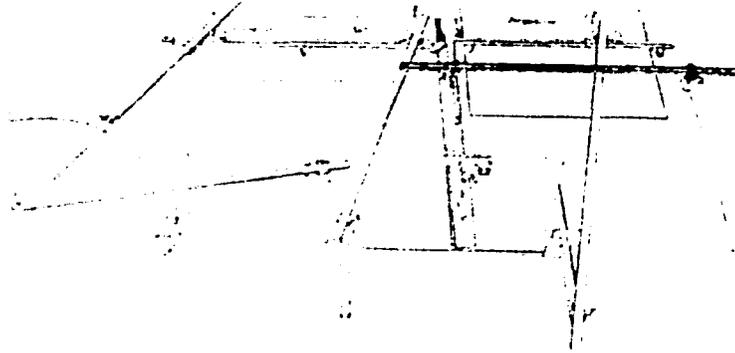


Figura 10 Perspectógrafo de Hauck y Brauer

Y es el autor cuyo apellido se conoce como Finsterwalder, quién publicó los fundamentos geométricos de la fotogrametría (1899), en tanto que en Suiza S. Simons aplicó la fotogrametría para el estudio de macizos montañosos y para el año de 1846 se inician los trabajos de la casa Zeiss con la manufactura de instrumentos y componentes para la fotogrametría. Así Ernest Abbe, físico responsable de la investigación de la casa Zeiss en Jena, Alemania formuló varias leyes relacionadas con las imágenes y su práctica en los instrumentos fotogramétricos en el año 1890.

Un personaje no menos importante, que los anteriormente mencionados, quién realizó importantes aportes al desarrollo de la fotogrametría, es sin duda Theodor Scheimpflug (1865-1911), quién escribió un documento acerca de los principios óptico-mecánicos (se conoce con este término a la labor realizada por los operadores de restitución quienes realizan los trabajos de orientación de un modelo fotográfico con manivelas que dan lugar a los movimientos provocados por el avión al momento de hacer la toma fotográfica es decir los movimientos en x,y y z, o bien la latitud, longitud y altitud de un objeto a través de un sistema óptico), en la estereorientación (se refiere a la orientación de un par de fotografías en donde se lleva a cabo la reconstrucción del movimiento al momento de la toma fotográfica), de fotografías tomadas desde globos y cometas.

Así aplicó la teoría de la doble perspectiva (hoy se conoce en los equipos de restitución como doble proyector, lo que permite percibir la imagen fotográfica en tercera dimensión), como una posible solución para los instrumentos de proyección directa; descubrió la ley que gobierna el mantenimiento del foco en la rectificación proyectiva (se conoce como rectificación al proceso de transformación geométrica provocados por el desplazamiento en el relieve en una superficie plana), mismo que llegó a ser conocida como "la condición de Scheimpflug".

"La condición de Scheimpflug establece que la línea de intersección del primer plano principal de la lente con la diapositiva del plano, y la línea de intersección del segundo plano principal con la proyección del plano, son líneas rectas conjugadas (I y II) es decir, si se mueven los dos planos principales al mismo tiempo, la diapositiva, los planos principales unidos y la proyección del plano, todo se intersecta en una línea recta" (a, a).

La interpretación de esta condición es representada gráficamente en la figura 11. (IPGH, 1984)

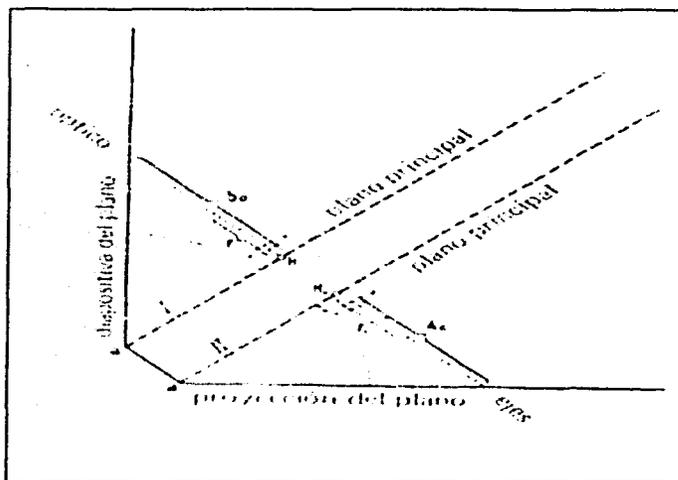


Figura 11. Representación de la condición de Scheimpflug.

Así mismo desarrolló la idea del doble proyector y tuvo la iniciativa de hacer una representación de grandes superficies de terreno en un documento llamado "fotocarta", y también estableció la "teoría de la transformación perspectiva", la cual llevó a cabo en el foperspectógrafo, así como la idea de la triangulación radial (la triangulación radial se representa como puntos de apoyo con coordenadas reales de terreno para amarrar bloques de líneas fotográficas en base a trianguladores radiales , y cuya representación se indica en la figura 12).



Figura 12 Principio de triangulación radial.

Para el año 1866 Ernest Mach, físico vienés, propuso la aplicación de un estereoscopio (instrumento que permite observar un punto en común de dos fotografías, percibiendo el objeto en tercera dimensión), utilizado para la medición de magnitudes espaciales.

En tanto que en Canadá en el año de 1896, el francés E. Deville, desarrolló un instrumento estereoscópico para el trazó continuo a partir de un par de fotografías (en la figura 13 se representa la posición del observador para percibir la visión estereoscópica).

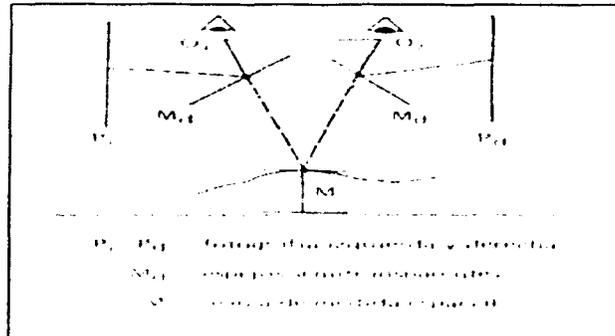


Figura 13 Posición del observador para percibir la estereoscopia

Y es Rollet de Isle, el autor ó inventor de la "escala deslizante", mejorada posteriormente por F. Stolze, quién en 1892 la introdujo como "escala flotante", y que culminó con el concepto de "marca de medición flotante", que en el proceso de restitución fotogramétrica, es la marca mediante la cual se reconstruye un modelo tridimensional y se leen las coordenadas de los objetos, la cual esta representada en la figura 13. (IPGH, 1984).

Es así como la utilización de la fotogrametría es cada vez mas empleada en aplicaciones practicas, lo que proporciona un gran progreso en el conocimiento del medio geográfico para las naciones, sin embargo las necesidades para explorar el medio requerían de cada vez mas esfuerzos, tanto en conceptos no solo con procedimientos y adaptaciones locales, sino también en el diseño y desarrollo de instrumentos lo cual dio lugar a la industrialización y perfeccionamiento de equipos, tanto para la obtención de fotografías así como con equipos de restitución.

Y la fotogrametría es reconocida como una técnica para la medición indirecta de fenómenos, con aplicaciones variadas en cartografía. Por lo que los pioneros de esta tecnología, reconocieron que las fotografías tomadas desde el aire, proporcionaban una mejor perspectiva del terreno, lo cual favorece para el desarrollo de una nueva era tecnológica y limitada por la tecnología existente.

Así se inicia una nueva era en fotogrametría, con la apertura del nuevo siglo, y es Pulfrich que en el año de 1901, que pertenece al grupo de científicos de Zeiss, quién construyó el estereocomparador, introduciendo el método estereoscópico con lo que obtiene un éxito total.

Continuando con las directrices marcadas en los trabajos previos a Stolze, el descubridor del índice o estilete móvil, quién eliminó de pronto la dificultad de la identificación de los puntos, se logró que con los trabajos de óptica de Carl Zeiss, complementados con los de Von Orel y su combinación con el estereocomparador de Pulfrich, se llegó a la construcción del llamado "Paralelogramo de Zeiss", debido a tales resultados se reconoce a Pulfrich como el padre de la estereo fotogrametría".

En tanto que en Alemania y Austria V. Hobi, desarrolló el nuevo método de levantamiento y restitución (reconstrucción de la imagen a la hora de la toma fotográfica), empleando no sólo en la elaboración topográfica, sino en las investigaciones de fenómenos más difíciles y complicados como; las nubes, las olas, los proyectiles siguiendo una trayectoria y otros de análoga naturaleza, que gracias a ello había entrado a los dominios de la técnica métrica más exacta.

Sin embargo, el progreso fue sólo aplicado a la topografía y la casa Zeiss de Jena, fue la que más influyó en el progreso de instrumentos y métodos que después de varios ensayos V. Orel, construyó el estereoautógrafo 1909 que es el primer aparato práctico para el trazado automático de cartas o mapas topográficos para el dibujo de líneas continuas a través de dos vistas estereoscópicas), la figura 14 representa el equipo de V. Orel.

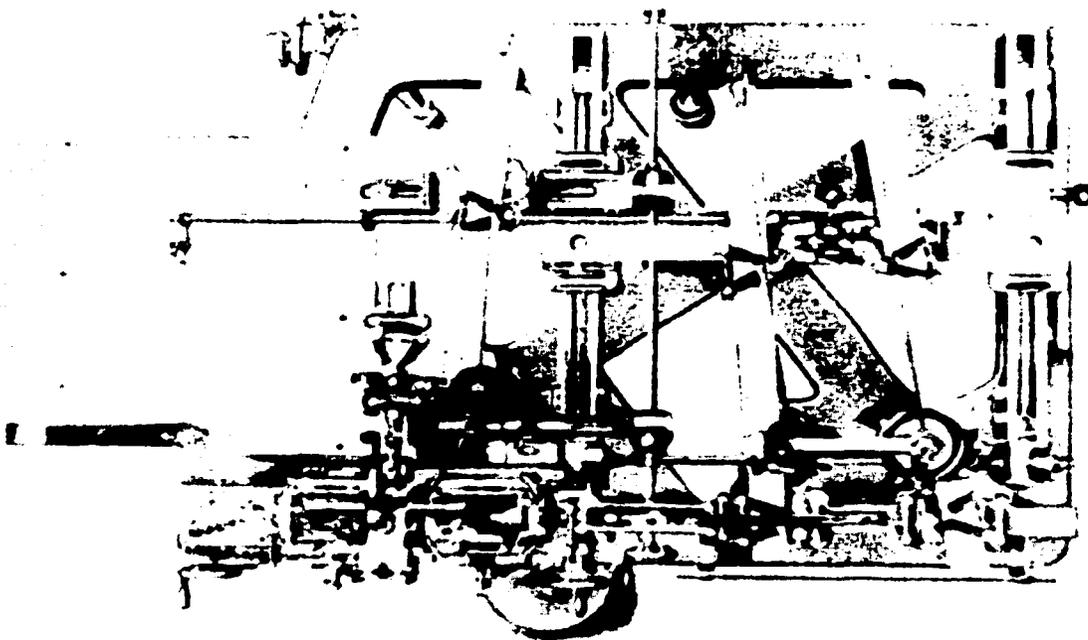


Figura 14. Estereoautógrafo de V. Orel.

Gracias a los avances de la aviación y su rápido progreso se planteó el problema de la confección de cartas a base de fotogramas (o también llamadas fotografías), tomados arbitrariamente, por el mismo tiempo, el francés Fourcade proponía la implementación de una cámara diseñada por él y de un estereoscópio para realizar mediciones, también constituyó los estereoprojector, (un ejemplo de estos equipos se encuentra en el laboratorio de fotogrametría del colegio de geografía de la UNAM).

Otro aporte para el desarrollo de la fotogrametría lo lleva a cabo un alemán llamado S. Finsterwalder (1862-1951), profesor geógrafo y matemático, quién fue un redescubridor y autoridad en la investigación de glaciares alpinos, elaboró una descripción de las relaciones geométricas que gobiernan la orientación relativa a través de la correspondencia de rayos homólogos de la imagen;

estableció la posibilidad futura de la triangulación en base al punto nadir y la aplicación de la aerofotografía en las mediciones astronómico-geodésicas para el desarrollo de redes de triangulación continentales y formuló las leyes de propagación del error en cadenas largas de triangulación.

El 17 de diciembre de 1903, en Kitty Hawk, Carolina del Norte, los hermanos Orville y Wilbur Wright, realizaron el primer vuelo en aeroplano, sin embargo las necesidades para obtener información cada vez más rápida y precisa aun prevalecían, ya que todavía no se encontraba el método para obtener una mejor visión real del terreno.

Y así se llega a la primera guerra mundial de 1914, en donde la fotogrametría no había madurado para poder resolver los problemas existentes y durante esta guerra (1914-1918) se desarrolla el rápido progreso de la fotogrametría aérea; se perfeccionan las cámaras y se construyen aparatos de rectificación para la obtención rápida de cartas de terrenos llanos llamados fotomapas (Jena, 1985/2).

Después de la guerra, que mantuvo frenada la teoría y construcción de instrumentos, es hasta 1926 que en la casa Heyde, R. Hegershoff geodesta, explorador y profesor de la Universidad Técnica de Dresden, inventó numerosos instrumentos de geodesia y fotogrametría, introdujo el primer restituidor analógico universal "Autocartógrafo", que permite la restitución fotogramétrica utilizando el principio de observación de Porro-Coppe, en donde la fotografía es observada por medio de lentes con características de distorsión idénticas a las de la cámara de toma, (la figura 15 representa un equipo autocartógrafo A7).

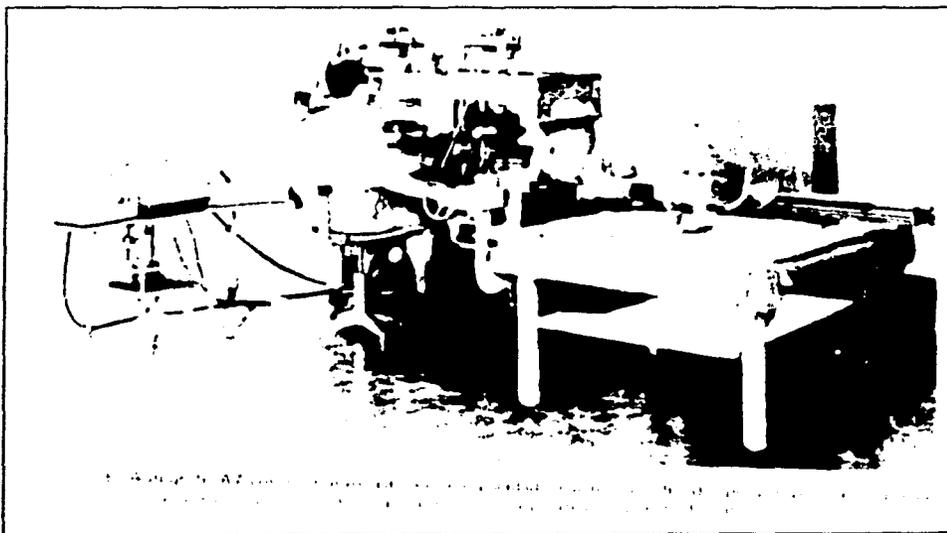


Figura 15. Restituidor analítico Autocartógrafo A7

En 1931 Hegershoff se unió a Otto Von Gruber, en el equipo científico de la casa Zeiss, fabricante de equipos de restitución, creando un instrumento universal de restitución "El Estereoplanígrafo", basado en la proyección óptica directa, este invento se acreditó a W. Baversfeld (1879-1959).

Se funda la primera Asociación Internacional de Fotogrametría y es el austriaco E. Dolezal quien en 1909, crea la Sociedad Internacional de Fotogrametría y posteriormente lo sucede Otto Von Gruber.

La necesidad e interés por explorar el medio fue cada vez más grande y fue a través de la producción cartográfica lo que favoreció al desarrollo y conocimiento del medio geográfico para el estudio de las naciones.

Se mejoraron los proyectos para el diseño de carreteras, vías del ferrocarril, hidrografía e instalaciones eléctricas, exploraciones mineras y de uso de suelo, en tanto que en Asia, África y América, se desarrollaron los modernos métodos fotogramétricos, quedando registradas en los archivos de la Sociedad Internacional de Fotogrametría.

En el año de 1948 ingenieros japoneses organizaron la Sociedad Internacional de Fotogrametría posteriormente es abierta la primera escuela de entrenamiento para operadores de restitución, se construyeron importantes equipos como los estereoplanigrafos, auto cartógrafos y rectificadores, son empleados los múltiplex con guía de ángulo en las fotografías aéreas con escala 1:50 000, para la serie de mapas nacionales.

Después del conflicto entre China y Japón en 1937, son introducidos instrumentos de patente norteamericana como el caso del estereoscopio y un modelo de estereómetro, también es introducida la fotografía trimetrogón (cuenta con tres fotografías una vertical y dos altas oblicuas), usadas extensivamente en el auxilio de las misiones fotográficas para mapas topográficos a grandes escalas. Para el año de 1946, se pusieron en marcha aplicaciones analíticas las cuales aportaron soluciones más rápidas y económicas favorables para la producción cartográfica.

Y es la Comunidad Británica de Naciones (COMMONWEALTH), quién se da la responsabilidad de reemplazar e inspeccionar las prácticas en el periodo de la postguerra, (periodo siguiente a la segunda Guerra Mundial de 1939-1945), relacionada con la técnica fotogramétrica, fueron inventadas las cámaras aéreas y el equipo de restitución, principalmente por patentes suizas, alemanas, italianas, americanas y holandesas.

La cooperación internacional interesada en la nueva fase de los años de postguerra, en donde las principales naciones industrializadas tuvieron la necesidad de hacer un inventario de sus recursos naturales, la protección del medio ambiente, conservación y fertilidad del suelo, y el contorno del espacio aéreo.

En 1964, la comunidad de las Naciones convocó a una conferencia sobre cartografía en la que se consideró la ejecución de un inventario de recursos naturales para Asia y el Lejano Oriente. Es constituida la revista cartográfica encargada de publicar sobre la tecnología disponible la producción y el interés por intensificar la elaboración de mapas a nivel internacional.

En el año 1956 se iniciaron las primeras investigaciones para crear un restituidor analítico, bajo la dirección de V.V. Helava, y un prototipo oficialmente es presentado en 1963. Posteriormente en el año 1976 aparece el Planicomp de Carl Zeiss y por la misma época el raster de Matra.

Años después la casa Wild construye el ACI y Kern el DSRI, desde entonces la fabricación de restituidores analíticos presentaron una gran diversidad de patentes, versiones, adaptaciones cada vez más sofisticadas, principalmente en cuestión de la calidad óptica y utilidad operacional como por ejemplo: G6, A7, AG1, etc.

La figura 16 muestra uno de los equipos más sofisticados y de fácil manejo en la restitución fotogramétrica, dicho equipo se conoce en el mercado como estereorestituidor de primer orden G6.



Figura 16. Estereorestituidor de primer orden G6.

Mientras que en Europa la utilización de la fotogrametría tomaba una importancia relevante; en el año 1966, para América Latina se crea el IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia), dicho organismo en combinación con la organización de Estados Americanos (OEA) y la Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, así como compañías privadas y la Inspección Geodésica Interamericana, contribuyeron a la diseminación de los avances tecnológicos en relación a la fotogrametría, así como al adiestramiento de personal en los países del centro y sur de América, teniendo como objetivo el auxilio en casos de desastres originados por la dinámica del relieve, inventario de recursos naturales y su rehabilitación (Jena, 1985/2).

1.1 La nueva era en Fotogrametría

Durante las tres últimas décadas del siglo XX, apareció una nueva era para el desarrollo de la fotogrametría y para la restitución fotogramétrica (se conoce como restitución fotogramétrica a la reconstrucción de los objetos de una fotografía al momento de la toma), con lo cual se logran cambios importantes.

Hasta hace pocos años los restituidores analógicos (equipos que realizan el trazo en línea), representaban el aparato estándar, siendo remplazados por aparatos analíticos (equipos adaptados a sistemas de cómputo) Hoy día han sido sustituidos en el INEGI por sistemas de cómputo a lo que han llamado fotogrametría digital (empleo de equipo de cómputo, teniendo como insumo o materia prima a la ortofoto digital, así como la imagen de satélite).

En los inicios de la restitución fotogramétrica, el restituidor analítico se distinguía de un aparato analógico por el sistema de proyección compuesto de elementos electrónicos en lugar de movimientos mecánicos, situación que facilita al operador su labor. A su vez se tenía la posibilidad de dirigir la marca de medición sobre un punto determinado, con la ayuda de coordenadas predefinidas, lo que permitía la interacción entre los datos y el proceso de restitución.

Actualmente la restitución fotogramétrica se encuentra respaldada por los impactos de la "tecnología computacional", creándose una nueva modalidad de aplicación para profesionales en diferentes especialidades como: ingeniería civil, topografía, geografía, geología, y a los ingenieros

en sistemas computacionales. Así mismo aparecieron nuevas aplicaciones relacionadas al uso del suelo, resolución de complejos problemas matemáticos en fotogrametría y los últimos progresos económicos en la producción automatizada.

Un análisis para el tratamiento de la información es considerada desde tres puntos de vista, basándose principalmente en los resultados para la fotogrametría y los avances obtenidos, se muestra la siguiente relación:

- La evolución de equipos y sistemas
- Principales productos operacionales
- Interacción de componentes electrónicos

Con la combinación de tales componentes, los logros se observan en el incremento e integración para la obtención de información fotogramétrica, lo que provoca un cambio, producto de la tecnología, ya que industrias nacionales y extranjeras siguen el curso de la nueva colección de equipo, nuevas y favorables aplicaciones y la actualización que se desarrolla gracias a la aplicación de una base de datos o geodatos (datos geográficos). Con esto se representa una reseña de transición de técnicas análogas, analíticas y digitales, lo cual favorece al incremento de información en la representación digital para los sistemas de información geográfica.

Para simplificar el proceso de evolución o transición de la técnica fotogramétrica, particularmente en el caso de la Dirección General de Geografía, primero como CETENAL, hoy INEGI se describe de la siguiente forma; considerando que la esencia del método fotogramétrico es el reemplazo (la superficie terrestre), por la visión de un modelo tridimensional real o virtual (la fotografía y la imagen), (IPGH, 1984).

Reconsiderando el papel de la fotogrametría en la Dirección General de Geografía, se considera a la fotogrametría como técnica: gráfica, analógica, analítica y digital.

La Fotogrametría como técnica:

Gráfica: representación en gráficas y dibujos para simbolizar el estudio y es menos precisa por ejemplo: levantamiento de Parcelas Ejidales, (PRODECE) amanzanamiento por AGEBS.

Analógica: a través de la fotointerpretación por medio de equipos de restitución visión en tercera dimensión ejemplo: El proceso de cubrimiento cartográfico llevado cabo por el CETENAL, hoy INEGI a escala 1:50 000, para la República Mexicana.

Analítica: resolución por medio de la adaptación de sistemas computacionales a los equipos de restitución como consecuencia una gran diversidad de manejo y uso de productos:

- Actualización semi-automatizada
- Catastro urbano y rural
- Apertura a instituciones de carácter particular
- Integración de una base de datos geográficos

Digital: Empleo de sistemas digitales

- total apertura a sistemas integrales de información geográfica, empleados en la actualización cartográfica a escala 1:50 000 y 250 000.
- Tratamiento digital: Análisis de imágenes de satélite y fotografías aéreas (Ortofotos).
- Sistema Nacional de Información Geográfica.
- Equipos y programas para el manejo y extracción de información.
- Gran diversidad de productos y manipulación de los mismos.

Fuente: Elaboración del autor.

1.2 La fotogrametría en México.

Los antecedentes sobre la producción fotogramétrica y cartográfica en nuestro país, se encuentran específicamente al anexarse los métodos fotogramétricos a diferentes estudios y proyectos para la elaboración cartográfica.

La aplicación de la fotogrametría así como de la fotointerpretación la inicia el Servicio Geográfico del Ejército Nacional (en el año 1939), posteriormente el Departamento Cartográfico Militar, para lo cual se emplearon fotografías aéreas verticales y oblicuas del sistema Trimetrogón, el fin era la obtención de la Carta Táctica de la República Mexicana a escala 1:100 000, si bien los estudios hasta entonces realizados eran utilizados única y exclusivamente con fines militares, por lo que la información obtenida era confidencial. Sin embargo tal situación no limitó el desarrollo de las técnicas fotogramétricas en nuestro país. (Estrada, 1992)

Los primeros trabajos fotogramétricos realizados independientemente en México son hechos por el Ingeniero Isidro Orozco Portugal, sus trabajos se relacionaron a la fotogrametría terrestre, época en que se inicia la red geodésica mexicana con el apoyo de un fototeodolito, cuya finalidad era construir el plano de la fachada de la Catedral Metropolitana, aproximadamente en el año 1934. (Tamayo, 1941)

Una línea paralela al Servicio Geográfico del Ejército, fueron las compañías privadas, específicamente Aerofoto (hoy ICA) en 1937 dirigida por el ing. Luis Struck, quienes tuvieron en sus inicios la elaboración de mapas topográficos, apoyados por la existencia de equipos de métodos gráficos y estéreo restituidores de proyección óptica directa con nueve proyectores (llamados Stereoketch ó Multiplex) y de los proyectores (B8 y A7) equipos clasificados de primer y segundo orden (la clasificación aplicada se refiere a la calidad óptica y la precisión medida de los objetos digitalizados).

Durante la década de los años 50's, se adquirieron instrumentos de proyección mecánica que permitían la aplicación de métodos numéricos, así mismo se consideró la aplicación de los métodos analíticos para la restitución fotogramétrica.

Es hasta el año de 1968, cuando se crea una institución de carácter civil, dotada de medios y apoyos necesarios para la elaboración de una cartografía nacional, en donde se aplicaron métodos fotogramétricos, foto-interpretativos y topográficos creándose la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL)

Dicha institución se crea con el objetivo primordial de hacer un inventario y evaluación de los recursos naturales del país, por medio de la representación cartográfica a nivel topográfico y temático a diferentes escalas: 1:50 000, 1:100 000, 1:250 000, 1:1000 000.

Tal actividad generalizó la aplicación de métodos fotogramétricos, en este periodo se destacó la gran importancia de la fotogrametría en la elaboración cartográfica, aunada al gran apoyo de equipo analógicos para la triangulación (basado en el levantamiento de apoyo terrestre), la rectificación (efecto que corrige el desplazamiento del relieve y la fotografía vertical), y la restitución (reconstrucción del paisaje al momento de la toma de la fotografía).

Por otra parte, se crearon proyectos de interés nacional, gracias a la existencia de la cartografía topográfica o básica, de la cual se derivan otras necesidades como los programas catastrales (ubicación y medida de predios en un plano), así como de leyes y reglamentos relacionados al espacio terrestre y aéreo, el cual indica que la toma de imágenes para ser aplicadas se efectúa con estricto apego a las Normas Técnicas para Levantamientos Aerofotogramétricos, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1984 y el 25 de septiembre de 1992, en donde serán utilizados los vuelos existentes que pudieran ser incorporados a otros programas.

Se determinó el uso de todos los vuelos previos realizados de 1988 a 1992, incluyendo los efectuados por la Dirección General de Geografía del Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA), instrumentado por la DGG en 1983, mediante el cual se organizan los levantamientos del territorio nacional y vuelos especiales (otras dependencias, compañías privadas, etc.)

Es importante destacar que la Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, hoy día Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), es una de las instituciones más interesadas y que más han aportado al desarrollo de la fotogrametría en México.

Actualmente la Dirección General de Geografía del INEGI, tiene como objetivo primordial realizar la actualización de la carta topográfica escala 1:50 000, situación que dio lugar a la necesidad de crear un proyecto general de modernización. Es así como la evolución científica y tecnológica logra un avance rápido en la disciplina cartográfica o geográfica y los logros son espectaculares en combinación con la automatización, la informática y las telecomunicaciones. (INEGI, 1985)

En pocos años, la fotogrametría ha sufrido profundas modificaciones y gracias al desarrollo tecnológico en equipos y métodos de elaboración, la restitución clásica en equipos análogos (trazo en línea), ha sido progresivamente remplazada por procedimientos analíticos (adaptado a sistemas computacionales). Considerando que en el pasado la fotogrametría se trabajaba sólo en pequeñas escalas para la producción de mapas, hoy el objetivo primordial de la fotogrametría, es la integración de datos numéricos dentro de los sistemas de información geográfica para el manejo de imágenes fotográficas y de satélite, así mismo para la obtención de mapas y planos a diferentes escalas.

Se ha logrado que instituciones públicas y privadas realicen proyectos relacionados con levantamientos catastrales (catastro rural y urbano), creándose el CORET (Programa de Regularización y Escrituración de Tierras) y PROCEDE (Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Solares Urbanos), desarrollo y planeación de carreteras, estudios para crear e inducir polos de desarrollo económico, creación de centros turísticos, inventario forestal, dando como resultado perspectivas favorables en costo y tiempo para el desarrollo de la fotogrametría y el análisis de imágenes digitales. (INEGI, 1993).

Sin dejar de valorar la situación generada por la descentralización, provocada por el sismo de 1985, el INEGI crea 10 nuevas Direcciones Regionales establecidas en cada zona geo-económica del país, las cuales están encargadas de realizar la actualización de su cartografía correspondiente a cada entidad.

En el caso nuestro corresponde a la Dirección Regional Centro, con prioridad realizar la actualización de las cartas topográficas que envuelven al área metropolitana, cuyas claves son: E14A19, E14A29, E14A39, E14A49, E14B11, E14B21, E14B31, y E14B41.

Mi actividad era precisamente actualizar junto con un actualizador del turno matutino todas y cada una de las cartas programadas por año, como las ya mencionadas así como de apoyo a otras regionales con respecto a las cartas que cubren sus estados.

Del mismo modo que la restitución fotogramétrica se ha simplificado, la triangulación aérea en su fase moderna, en unión con nuevas técnicas de geodesia terrestre y espacial, permitiendo la densificación de una red geodésica más racional en comparación con años anteriores. También se han perfeccionado y simplificado los métodos de toma de fotografías, creando un proyecto de vuelo y la planeación para incorporar la utilización del sistema de posicionamiento globalizado (GPS), lo que permite resultados favorables para la navegación aérea. (INEGI, 1993).

Finalmente, se espera el mejoramiento de técnicas para el procesamiento de imágenes digitales que implican un apoyo directo para la producción cartográfica. Lo expuesto hasta ahora se dirige a nuevas perspectivas de cambios cualitativos y cuantitativos en la elaboración cartográfica, como lo es:

- el mejoramiento en calidad de imagen y,
- su obtención automáticas a través de los diferentes programas para el procesamiento, los cuales están relacionados a la gestión de datos geográficos dentro de los modernos Sistemas de Información Geográfica.

1.3. Compañías Públicas y Privadas que realizan la fotogrametría automatizada y semiautomatizada en México.

El desarrollo de este tema, se encuentra apoyado por la labor profesional en la que he participado dentro de varias dependencias e instituciones privadas y del enriquecimiento que me ha aportado tal situación lo cual me ha permitido analizar la evolución de esta técnica, dichas instituciones se encuentran las siguientes: SEDUE, INEGI, SIGSA, CETENAP, ATOMSA, ESTUDIOS Y PROYECTOS, S.A.

A través de la consulta de artículos y publicaciones como lo son: El Sistema Nacional de Información Geográfica, Revista Vértices, El Manual de Especificaciones, etc. se puede resumir que los avances logrados a la fecha, se encuentran respaldados directamente por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, ya que es del conocimiento común que el Instituto lleva la batuta en la elaboración cartográfica lo cual dio lugar a que creara el proyecto nacional y global de modernización. Dicha modernización se basa en la implementación de nuevas técnicas para la elaboración cartográfica, modificándose algunas técnicas como por ejemplo:

- El Sistema Global de Posicionamiento Geodésico (GPS)

-La modificación al sistema tradicional de vuelos fotogramétricos con dirección de E-W, hoy es Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA), que realiza vuelos con dirección N-S, modificándose sólo para vuelos locales con dirección E-W.

-También se ha adaptado el Sistema Global de Posicionamiento Geodésico (GPS) a los vuelos aerofotogramétricos teniendo como perspectiva el mejoramiento en el posicionamiento o georeferenciación de los proyectos a realizar.

- Los nuevos métodos fotogramétricos se han impulsado para apoyar a los diferentes programas para la regularización de tierras y es el caso de PROCEDE (Programa de Certificación y Derechos Ejidales y Solares Urbanos), que emplea específicamente material fotoidentificable para la ubicación de vértices geodésicos, parcelas, ejidos y solares urbanos, se obtiene un producto final consistente en una imagen fotográfica rectificadas y la serie de foto-mapas que cubren a la entidad correspondiente. Tal proyecto involucra a todos los gobiernos de los estados, pues es un proyecto de interés económico a nivel Nacional. (INEGI, 1992)

-En el mismo rubro se encuentra el programa para la Regularización del Catastro Urbano (CORET), es de gran interés económico y a que participa principalmente la iniciativa privada en combinación con las entidades federativas responsables.

Así mismo se cuenta con programas diseñados con un Sistema Digital Cartográfico como lo es MicroStation, Kork Sistem, VMAPS, etc. La mayor parte de las agencias en las cuales he participado como operadora de restitución fotogramétrica realizando la actividad en la obtención del catastro urbano a diferentes escalas y diferentes municipios y estados de la Republica Mexicana, las escalas son 1:1000, 1:5000, y 1:10 000.

El implemento y generación de programas digitales para cartografía constantemente se están actualizando en nuevas versiones lo que está dando lugar a un gran apoyo a los diferentes programas y proyectos actuales.

A continuación se mencionan algunas de las agencias privadas que realizan estos trabajos: Sistemas de Información Geográfica, S.A., Aerofoto (ICA), ESTOMSA, ATOMSA (Aerofotogrametría y Topografía Mexicana), SOFIA (establecida en la Ciudad de Cuernavaca, Mor.), Estudios y Proyectos S.A., y los paquetes de software más empleados son: ARCINFO, AU2, AUTOCAD, KORK (Digital Mapping System), VMAPS, WorkStation, Lites y AutoCadMap.

Actualmente en los Sistemas de Información Geográfica, se han desarrollado y diseñado bases de datos e implementado en los sistemas de micro-computadores, buscando aprovechar las ventajas de los equipos que emplean componentes periféricos comunes.

Los microcomputadores han tenido un avance tecnológico inimaginable, todos los días nuevos productos y opciones, a precios más bajos aparecen en el mercado, así también las capacidades de almacenamiento de mega y gigabytes, despliegue a colores con resoluciones mayores, operaciones matemáticas, digitalizadores, gráficas y una capacidad de memoria que permite el manejo de caracteres impresionantemente, monitor de color, discos compactos, etc.

Considerando que la mayor parte del equipo proviene del extranjero, lo que implica que el software diseñado con tipología (términos de lenguaje cartográfico), cartográfica digital no coincide con las normas cartográficas establecidas en nuestro país y la adecuación para la obtención de los mejores resultados dependerá de la experiencia y criterio de los operadores en las labores para obtener los mejores resultados.

2. Fotografía Aérea

Sin duda, el desarrollo de la fotogrametría ha estado ligado al de cámaras aéreas, materiales, procesos fotográficos y al de la aviación, y la invención de la fotografía es el resultado de un largo proceso en busca de un medio de representación más rápida y simple comparado con un levantamiento topográfico para la elaboración de un dibujo o una pintura y la representación del medio o entorno geográfico. Considerando que la fotogrametría, tuvo su origen en Europa, de donde se derivan tres palabras griegas:

PHOTOS — significa "luz"

GRAMA — significa "aquello que es dibujado o escrito"

METRON — significa "medir"

Y de acuerdo a esta descripción la palabra fotogrametría se define como "Medición Gráfica Mediante la Luz"

Así la fotogrametría en apoyo con fotografía y los diversos procesos para obtener información relacionada a la superficie terrestre, han permitido el desarrollo y simplificación de grandes proyectos realizados a lo largo de la historia cartográfica.

Considerando que la fotografía se obtiene formando, en el interior de una caja cerrada, una imagen fijada a una superficie sensible a los rayos luminosos. Los fenómenos físicos y químicos que hacen posible la operación, se conocen desde tiempos remotos, posteriormente se obtiene una imagen automática gracias a la acción de los rayos luminosos, cuya idea era descubrir en las emanaciones del fluido luminoso, un agente susceptible de imprimir con exactitud y de manera durable las imágenes transmitidas por el procedimiento de la óptica y la obtención de una huella que no se altere tan rápido.

Las primeras fotografías son obtenidas con una cámara de eje horizontal, utilizadas para elaborar mapas y planos. Así mismo se logra obtener las primeras imágenes estereoscópicas con una especie de caja provista de dos orificios a la distancia de los ojos y un agujero central en la cara opuesta a través de los cuales pasaban los rayos luminosos, los que al cruzarse en el interior de la caja dan la imagen de relieve.

Las técnicas de producción cartográfica han experimentado un desarrollo que supera toda previsión y que ha llegado en la actualidad a niveles de complejidad excelencia insospechados. La evolución fotogramétrica y de los sistemas de fotointerpretación han sido aplicados a la generación de la información geográfica, en todos los ordenes relacionados con el conocimiento de la realidad territorial, lo que no hubiera sido posible sin la existencia de la fotografía aérea.

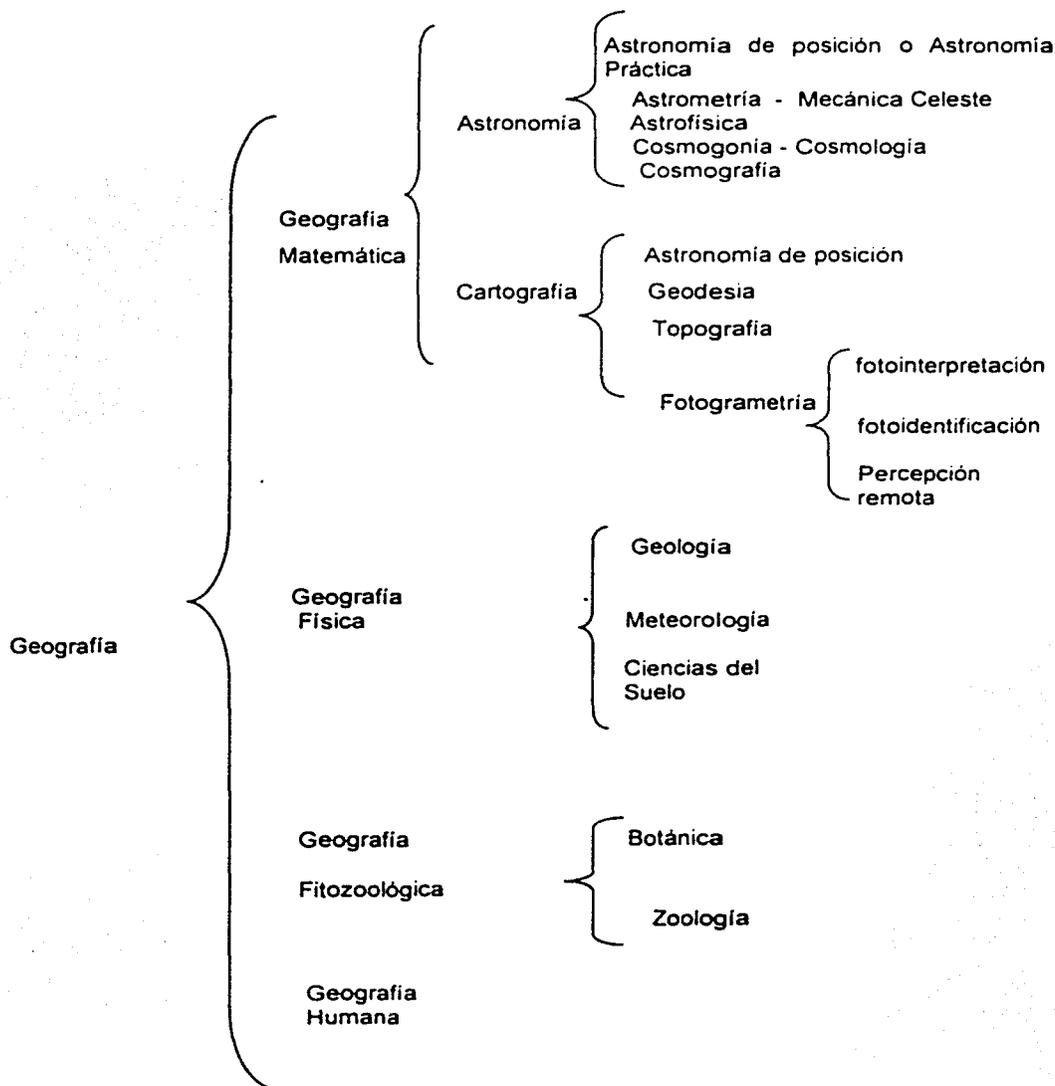
En la actualidad, el empleo de la fotografía aérea, además de ser una herramienta fundamental para la obtención de información que refleja el estado actual del espacio geográfico, ha hecho viable al ser humano la capacidad de ampliar sus horizontes de observación del medio físico, así como comprenderlo y aplicar el conocimiento adquirido.

Teniendo como resultado, que detrás de todo sistema cartográfico se encuentra la fotografía aérea como elemento básico de información, con lo que se generan productos cartográficos, así como la aplicación de procesos que garanticen su confiabilidad y permitan la elección y cantidad de información para efectos de suficiencia; además de que los costos son reducidos en comparación a un levantamiento directo de campo.

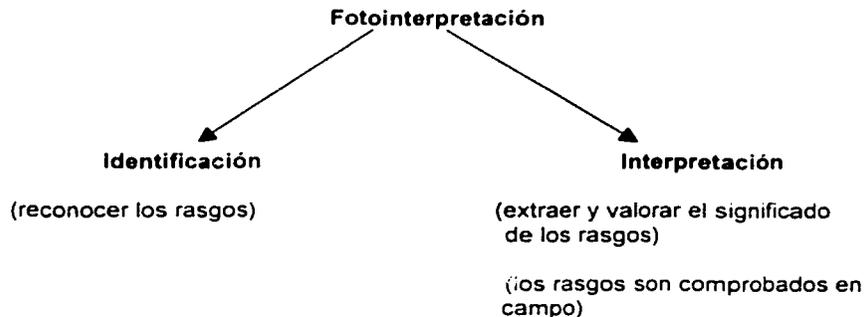
Debido a lo expuesto se define a la fotografía aérea como una representación fiel del terreno y sus características en el momento de la toma.

2.1 Relación de la Fotogrametría con otras disciplinas.

Ya que la técnica fotogramétrica percibe un objeto en cuanto a su posición y dimensión, encontramos que la fotogrametría se ubica dentro de la disciplina cartográfica y esta a su vez como una de las ramas de la geografía matemática así mismo dentro de la ciencia de la Geografía y se ubica de la siguiente manera:



Para definir el campo específico de la fotogrametría, se dice que ésta se encarga de la interpretación cuantitativa de fotografías aéreas y otros materiales aerofotográficos con el objeto primordial de obtener planos y mapas. dentro de la fotogrametría tenemos:



(INEGI, 1996).

Para la fotogrametría como ya se ha mencionado, la materia prima es la fotografía aérea (o terrestre) y por regla general la fotogrametría utiliza pares de fotografías consecutivas que constituyen un par "estereoscópico" (está constituido por dos fotografías tomadas desde puntos diferentes, con el eje óptico de la toma en posición casi paralela y que cubren un paisaje común a ambas) y bajo observación binocular (visión en donde intervienen necesariamente los dos ojos del observador), forman "un modelo tridimensional" (está compuesto por un par de fotografías, en las cuales se aprecia la distancia y profundidad de los objetos y gracias a la fusión de dos perspectivas ligeramente captadas por los ojos e interpretadas por una parte del cerebro del observador, para ejemplificar dichos conceptos, en la siguiente figura se observa la posición del avión y la forma como se obtiene un par de fotografías aéreas. (figura 17)



Figura 17 Posición del avión para la obtención de fotografías aéreas.

2.2. Bases Geométricas de las Fotografías.

Desde el punto de vista geométrico, una fotografía aérea es una proyección central (definiéndose proyección a la transformación de una red de puntos de coordenadas geográficas a un sistema plano), y una proyección central es donde se forma la imagen fotográfica de un objeto espacial sobre un plano (negativo AC), al atravesar por un objetivo (centro de proyección O) los rayos reflejados por los puntos del objeto inciden sobre un plano (a,b), por lo que al conjunto de rectas se llama haz de rayos perspectivas (haz de rectas que partiendo de los puntos de un objeto convergen a un punto llamado centro de perspectiva o centro de estación), esta descripción se observa en la siguiente figura 18, cuya representación es de una proyección central.

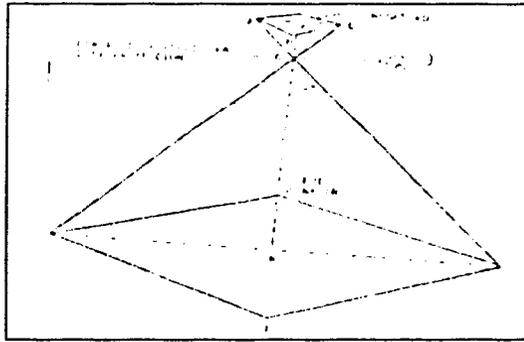


Figura 18 Proyección Central.

En una proyección central a cada punto del objeto corresponde un solo punto de la imagen, contrariamente a un punto de la imagen corresponde una infinidad de puntos del objeto, por encontrarse todos en una misma línea recta (INEGI, 1992).

Así, la transformación de una proyección central (fotografía D) a un plano, se llama "proyección ortogonal" (D'), y en una proyección ortogonal, las diferentes rectas del terreno son proyectadas sobre un plano (centro de proyección), por líneas verticales, conservando su orientación y dirección, como se observa en la figura 19.

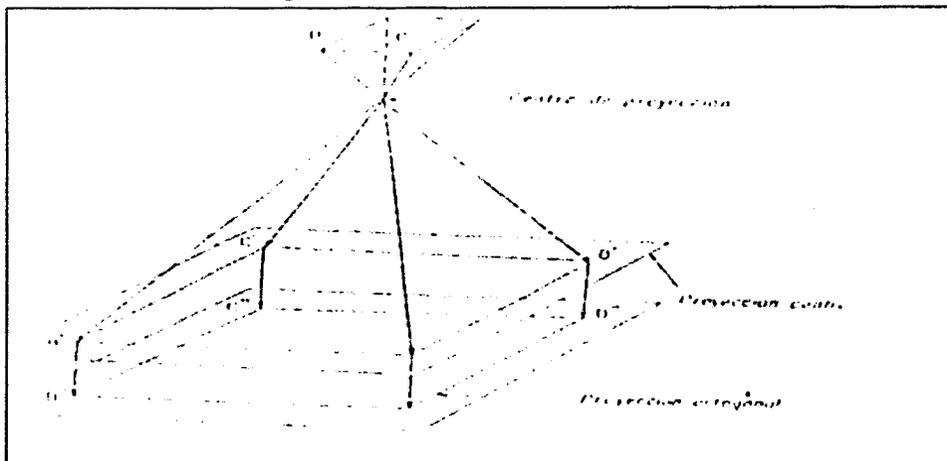


Figura 19. Representación de la Proyección Ortogonal

2.3 La Fotografía Aérea y el Mapa.

Existen características que definen o determinan la diferencia entre el mapa y la fotografía aérea, en el siguiente cuadro se especifica las diferencias en función del tipo de proyección, escala, contenido y representación.

Mapa	Fotografía Aérea
Representación geométrica correcta	Representación geométrica no correcta debido a: <ul style="list-style-type: none">- desplazamiento por el relieve- desplazamiento por inclinación- distorsión de la lente
Escala uniforme y absoluta	Escala variable y aproximada
Proyección ortogonal	Proyección central
Incluye información seleccionada	Incluye todos los objetos visibles
Representación abstracta	Representación real

2.4 Cámara Fotogramétrica (Métrica).

La descripción de las cámaras fotogramétricas requiere considerar conceptos o características particulares para que la obtención de fotografías aéreas sean las adecuadas para los procesos fotogramétricos. Ya que las fotografías de las que hacemos uso en fotogrametría son tomadas con una cámara métrica, las cuales permiten la reconstrucción del haz de rayos perspectivas y una condición esencial para la reconstrucción es el conocer la posición exacta del centro de proyección

Una fotografía en donde se conoce la posición exacta del centro de proyección (O) se llama fotograma (INEGI, 1996).

Los componentes de una cámara métrica son

- Sistema de lente: el sistema de lente incluye el lente de la cámara, el obturador y el filtro.
- Lente de la cámara: el lente de la cámara forma la imagen del terreno en el plano focal, el diafragma y el obturador controlan la exposición. Dicha exposición se controla en función de la luz incidente y la velocidad del avión, en tanto que el filtro disminuye el efecto de la bruma atmosférica.
- Obturador: el obturador está integrado por un conjunto de láminas delgadas que pueden girar para incrementar o disminuir el tamaño de la apertura del diafragma.
- Cono interior: incluye el sistema de lentes fijos con respecto al marco interior, en la parte superior del cono, el cual coincide con el plano focal, en el marco interior se encuentran las marcas fiduciales.
- Plano focal: el plano focal coincide con el plano de las marcas fiduciales y proporciona la mejor definición de la imagen. La distancia principal de la cámara es igual a la distancia focal que se determina al calibrar la cámara.

- Cono exterior y el cuerpo: La función del cono exterior y el cuerpo de la cámara es el de soportar al cono interior, sostener el mecanismo de toma y proporciona un soporte para el almacén de la película.

- Accesorios de la cámara: los accesorios para la operación de una cámara aérea incluye el montaje de la cámara, una mira de navegación, un intervalómetro, un medidor de exposición, una fuente de energía, una línea de vacío un a ventana para la cámara en el avión, la ubicación de los componentes se identifican en la figura 20 (INEGI, 1992).

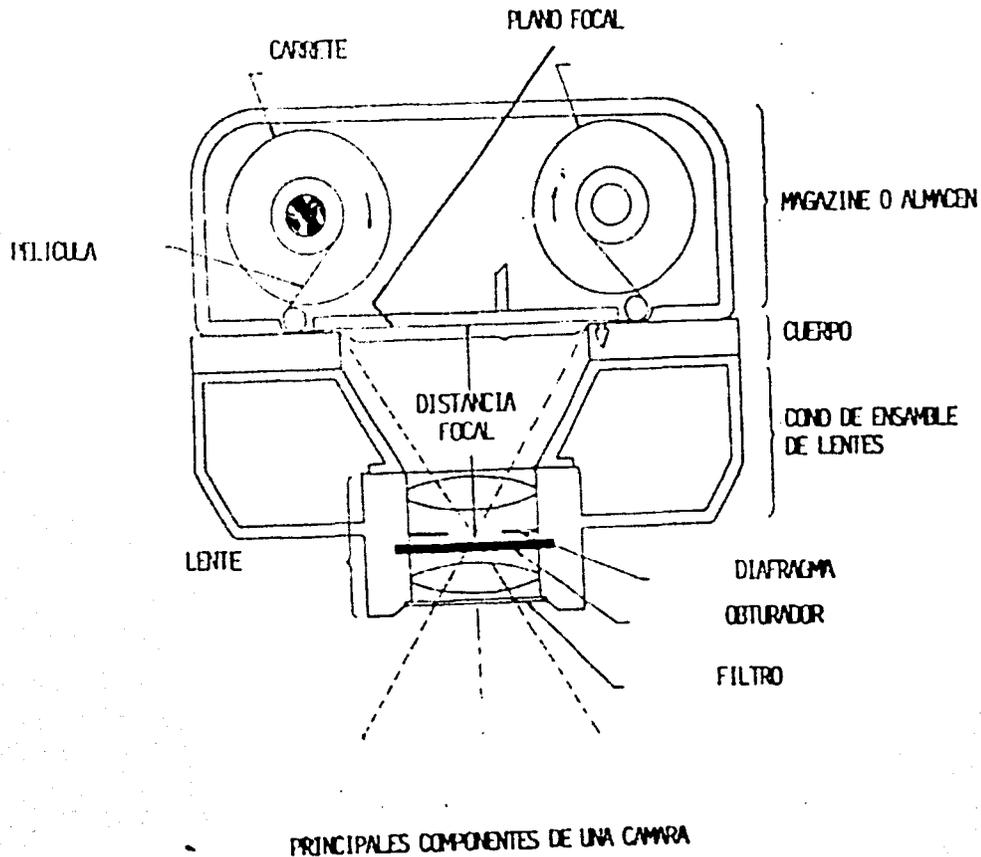


Figura 20. Componentes principales de una cámara fotogramétrica.

2.5 Clasificación de Cámaras y Fotografías Aéreas.

Para realizar una clasificación de cámaras y su función se consideran las siguientes características:

- a) en función del campo angular de su lente (normal, gran angular y super gran angular)
- b) en función de su uso (de reconocimiento, métrica y especial)
- c) en función de la inclinación del eje del sistema óptico (vertical, oblicua y muy oblicua.

La primera clasificación es en:

- cámaras normales, el campo angular es menor a 75°
- gran angular entre 75° y 100°
- super gran angular con mas de 100°

Considerando que el formato estándar a nivel mundial de una fotografía aérea es de 23 x 23cm, las distancias focales para las cámaras normal, gran angular y super gran angular son aproximadamente de 300mm y 88mm, respectivamente (INEGI, 1996).

Para la segunda clasificación de cámaras métricas son las que tienen una orientación interna conocida. Las cámaras de reconocimiento son las que se designan para identificación de objetos sin pretender medidas exactas.

Y para la tercera clasificación son las cámaras verticales las cuales están orientadas para la toma de fotografías con un sistema óptico dentro de los 5° de la vertical, las oblicuas con una inclinación entre 20° y 30° y muy oblicuas las que tienen una inclinación no fija, lo que permite que el horizonte aparezca en la foto. En el caso de la producción cartográfica en el INEGI las mas usadas son las verticales y oblicuas.

Tipos de Película

Emulsiones Sensibles

Película: la necesidad de utilizar un elemento transparente y tan estable como sea posible para sustentar a la emulsión fotográfica, se resolvió en el pasado gracias a la utilización de películas fabricadas a base de celulosa, actualmente se utiliza una base plástica, en donde el elemento importante es la emulsión sensible que porta la película (emulsión-película).

Emulsión Fotográfica

La sustancia sensible a la luz, en las emulsiones fotográficas es el bromuro de plata, con 3% aproximadamente de yoduro de plata, en cristales de 0.6 a 1.2 micras, estos cristales se encuentran suspendidos en una base de gelatina, la emulsión es obtenida mediante métodos térmicos, en donde se utiliza la energía correspondiente a la banda del espectro visible.

La Exposición

El efecto de la luz sobre los cristales de bromuro de plata, es producir una descomposición que transforma en plata algunas partes del cristal, precisamente en aquellos lugares en donde existen impurezas o defectos, ya que los cristales perfectos no son sensibles a la luz. Tal fenómeno no es observado ni en microscopio, sin embargo produce una imagen a la que se llama imagen "latente"

Tipos de Emulsiones

Entre las emulsiones sensibles a la luz diurna, dentro del espectro electromagnético o ventana atmosférica "(se conoce como ventana atmosférica a la parte de espectro electromagnético en donde el ojo humano puede percibir la luz), se tienen:

a) emulsiones sensibles a la luz diurna, longitud de onda de 400 a 869 milimicras que comprenden la banda del violeta al rojo (pancromática y color pancromática).

La pancromática en blanco y negro es sensible a todos los colores, en especial al azul en donde generalmente se emplea una combinación con un filtro amarillo (menos azul), las imágenes resultantes se emplean más en fotogrametría y se caracterizan por presentar la gama de colores según los tonos del gris. En tanto que en la pancromática de color, se perciben los colores de las imágenes tal cual son:

b) emulsiones sensibles a la banda del infrarrojo cercano o infrarrojo color, conocido como falso color, la causa es que se registra el verde como rojo, en esta emulsión el agua, la humedad y la clorofila se registran en tonos fuertes y definidos (favorables para la fotointerpretación) (Estrada, 1992).

En combinación con la emulsión infrarroja para blanco y negro, se utilizan filtros naranja o rojo, según el tiempo de exposición determinado para el levantamiento.

La combinación de emulsión y filtro, con longitudes de onda referentes al objeto de estudio, permiten junto con una cámara llamada multibanda (la cual consiste en nueve pequeñas cámaras alimentadas por tres tipos diferentes de emulsión), la obtención de tres combinaciones de filtro para cada emulsión y una total de nueve combinaciones (INEGI, 1992).

2.6 Plan de Vuelo

Para iniciar un proyecto fotogramétrico, es necesaria la recopilación de información existente, principalmente en mapas y planos topográficos, así como fotografías aéreas. Por lo que un plan de vuelo se encuentra determinado por la evaluación de parámetros contenidos en los documentos de recopilación, así como la necesidad en áreas les.

Para llevar a cabo un plan de vuelo se deben considerar los siguientes parámetros:

- La sobre posición longitudinal y lateral (máximos, mínimos y promedio)
- La altura de vuelo (escala máxima, mínima y promedio)
- El área de cubrimiento estereoscópico
- La desviación de las líneas de vuelo
- El giro de la cámara
- Época del año óptima para realizar los vuelos aerofotogramétricos
- Dirección del eje de vuelo
- Altitud media del área de estudio
- Infraestructura existente y carácter general de la cubierta vegetal

(INEGI, 1996).

Ya que se han definido los parámetros es posible formular un proyecto de vuelo sobre un mapa o un plano, y el proyecto consiste en el trazo de líneas rectas separadas de acuerdo a la distancia entre ejes de vuelo y la escala del mapa. Así mismo el proyecto de vuelo arroja directamente el número de fajas de vuelo y fotografías, teóricamente necesarias para cubrir el área de estudio.

2.7 Aviones

Las técnicas de levantamientos aéreos han evolucionado a la par de los adelantos en la aeronáutica, los materiales y el equipo fotográfico se han desarrollado de acuerdo a la creciente demanda y a los avances tecnológicos.

La situación actual de la fotografía aérea es tal, que se usan diferentes tipos de aeroplanos para llevar a cabo las misiones de levantamientos aéreos, tales como: los ultraligeros, los monomotores y los bimotores ligeros, turbohélice y los jets ejecutivos pequeños.

Los aviones cuentan con un equipo auxiliar para la navegación éstos son el posicionamiento de la cámara, la orientación de la cámara, la exacta navegación de contacto (visual) ejecutada por una tripulación experimentada (piloto y navegante) y los sistemas automatizados integrados (altura de vuelo, posicionamiento, velocidad, etc.).

Así mismo, la generación de satélites ha intervenido en el posicionamiento y navegación, en donde los sistemas de interfase (de adaptación), están disponibles para conectar todo tipo de cámaras y sistemas de navegación, como el sistema NAVSTAR de posicionamiento global (GPS) (INEGI, 1992).

En el INEGI los trabajos hasta ahora desarrollados han llevado una tecnología de punta tanto en aviones y cámaras métricas. En el caso de cámaras las más comunes son la Wild RC20, la ZEISS RMKTOP y la LMK2000, las cuales han sido equipadas con microprocesadores para el control automático de sus funciones, incluyendo la compensación de movimientos, en tanto que las lentes de las cámaras han sido mejoradas lo que permite obtener una alta nitidez en la imagen.

Para realizar los vuelos actuales las cámaras métricas se encuentran instaladas en cinco aviones disponibles en el INEGI:

- dos Cessna Conquest- 441 turbohélice,
- dos Lear jet, uno 25D y otro 35 A, y un
- Cessna 310 bimotor, los cuales cuentan con navegadores CCNS-4

Los cuales llevan en forma automática a la tripulación sobre las líneas de vuelo, siguiendo coordenadas precisas que toman los datos para la navegación de posicionadores GPS, con lo cual se cubren grandes superficies con vuelos a diferentes escalas, reduciendo al mínimo la posibilidad de error, costo y tiempo. (INEGI, 1993)

Los vuelos realizados hasta ahora por el INEGI, a diferentes escalas son:

- 1:80 000
- 1:40 000
- 1:20 000

Con base en los criterios establecidos por el SINFA, se tiene una sobreposición longitudinal (traslape del 60%) y una lateral del (30%), entre líneas contiguas lo que permite el efecto de estereoscopia (INEGI, 1993).

2.8 Características de la Fotografía Aérea

Para definir el concepto de fotografía aérea, es importante encontrar o determinar sus cualidades para orientar, identificar e interpretar correctamente, entonces es preciso conocer sus características:

- En fracción de segundos la imagen fotográfica "congela" una realidad dinámica de la superficie terrestre en un área relativamente extensa.

- Es un documento que contiene una cantidad infinita de información, difícilmente apreciable de otro modo.

- Con amplias posibilidades de explotación de la información derivada.

Fundamentalmente la imagen fotográfica cuenta con dos características: la métrica y la fotográfica.

Las características métricas:

Se tiene la posibilidad de obtener medidas sobre las fotografías aéreas equivalentes a las que se podrían registrar directamente de campo. Tal nivel de excelencia ha sido posible gracias al desarrollo tecnológico en los sistemas ópticos, mecánicos y electrónicos, aplicables a las cámaras e instrumentos fotogramétricos.

La evolución de películas de alta resolución y de estabilidad dimensional, permiten la producción de la cartografía básica y topográfica de alta calidad.

Las características fotográficas:

Cabe mencionar que las características puramente fotográficas están asociadas a las variables visuales de tono, color y textura, las cuales posibilitan la aplicación de criterios de identificación e interpretación de detalles y que da lugar a una correlación entre la experiencia y el conocimiento real con la imagen fotográfica.

Actualmente, se considera que más del 95% (INEGI, 1985), de los sistemas generadores de información geográfica, a nivel mundial emplean la fotografía aérea como materia prima, con lo que queda establecida la correlación que tiene dicho documento en el universo de la producción de información geográfica.

2.9 La Fotografía Aérea en la Dirección General de Geografía

La Dirección General de Geografía tiene registrado fotográficamente la totalidad del territorio nacional, siendo registradas todas las tomas en el SINFA (Sistema Nacional de Fotografía Aérea), y la orientación referida por zona es:

- De Norte a Sur, a escala 1:75 000 con conos en la cámara fotográfica gran angular

- Con sobreposición longitudinal del 60% a lo largo de los meridianos predeterminados, en donde cada línea pasa por el centro de la división correspondiente a una carta escala 1:20 000, la cual queda comprendida dentro del formato de la carta 1:250 000.

- Cada zona UTM comprenderá 18 líneas de vuelo, así por cada carta 1:50 000 pasan tres líneas que son numeradas progresivamente de izquierda a derecha iniciando con el número 1 en el meridiano 117° 16' 07" y terminando con la 276 en el meridiano 86° 43' 03", en el extremo del territorio, (la figura 21 esquematiza la dirección del avión y la sobreposición).

El SINFA cuenta con 276 ejes de vuelo especificados por la longitud geográfica, los que serán fijos para todos los vuelos futuros a escala 1:75 000.

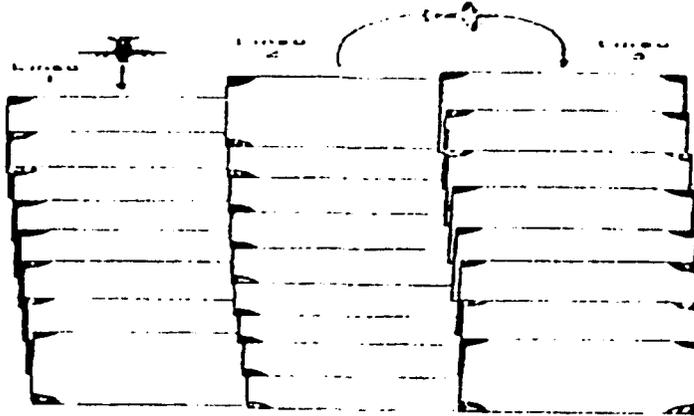


Figura 21. Ruta del avión al realizar un vuelo fotogramétrico

A este respecto se obtiene la ventaja de obtener un considerable ahorro en el levantamiento de puntos de apoyo terrestre, los cuales son utilizados en vuelos posteriores y facilitan la comparabilidad de información y su actualización, la que se efectúa cada 5 años.

2.10 Ortofotografía

La evolución de la fotogrametría hacia la automatización, ha permitido disponer de medios para transformar las imágenes fotográficas en proyecciones ortogonales a las que se denomina ortofotos y que al formar mosaicos son llamados fotomapas. (Estrada, 1992).

La ortofotografía es por definición, una reproducción fotográfica preparada a partir de una perspectiva fotográfica. Es decir, es una fotografía aérea, en la cuál han sido corregidos los desplazamientos en la imagen, debido a la inclinación del eje óptico de la cámara y los inducidos por el relieve del terreno, cabe mencionar que una ortofotografía debe contener las mismas características métricas de un mapa, incluyendo su escala (Hernández, 1982).

Considerando que un mapa es una proyección ortogonal del terreno sobre el plano horizontal, si se logra que la fotografía sea rectificadas con las condiciones anteriores, entonces el nombre lógico es de ortofoto. El procedimiento de ortorectificación (procedimiento de transformación geométrica de perspectiva en fotografías), difiere de la simple rectificación la cuál aplica sólo métodos ópticos, correcciones para distorsiones sistemáticas, atribuibles a las rotaciones de la cámara y a un factor de escala para la distancia focal y remueve los desplazamientos de la fotografía en la que requiere confiables estimaciones de la topografía.

El procedimiento de ortorectificación analógica requiere de estereorestituidores especialmente adaptados y un operador altamente calificado. Los puntos de control terrestre y los puntos de triangulación aérea son usados para nivelar y escalar un modelo, entonces se obtienen perfiles de una manera sistemática a través de una ranura óptica la cuál cubre un ancho específico del terreno.

Las variaciones topográficas a lo largo de los perfiles son medidas estereoscópicamente para remover el desplazamiento por relieve y la imagen que pasa a través de la ranura es proyectada ópticamente a un nuevo negativo. De este modo, se obtiene una nueva fotografía con escala uniforme y en donde las distorsiones sistemáticas han sido removidas, en el caso del relieve solo se eliminan las del centro del perfil, por lo que la orto-rectificación no es completa en la imagen entera y la distancia de separación entre perfiles afecta la calidad total del producto (INEGI, 1996).

En el caso de ortorectificación digital, se emplea el control terrestre y la información de la triangulación aérea junto con los datos de calibración de la cámara, a fin de establecer las relaciones matemáticas entre una "imagen digitalizada" (ortofoto, imagen de satélite), es decir la ortofoto es determinada por dos dimensiones (x,y), mientras que el sistema de coordenadas terrestres se refiere a tres dimensiones (fotografía aérea), sus coordenados son: x, y, z.

Este último es representado por un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual proporciona la información del relieve y correcciones "sistemáticas" desde la imagen digital de foto para crear una nueva imagen digital ortocorregida.

Finalmente los requisitos para una apropiada ortorectificación digital son:

- Buena calidad de las fotografías aéreas
- Adecuado control terrestre

- Modelos digitales de elevación lo más precisos posible.

3. Imágenes de Satélite

La necesidad de mantener actualizado el conocimiento de nuestros recursos naturales, plantea situaciones propias de exploración y reconocimiento sistemático del territorio basado en la visión espacial, en general en la teledetección.

Es por medio de la Teledetección, cuya definición consiste en el conjunto de conocimientos y técnicas utilizadas para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin contacto material con los mismos, que en forma notable, se ha ido solucionando con la utilización de modernos instrumentos llamados sensores remotos, basados en el principio fundamental de la medición de la reflectancia espectral, el cual consiste en captar y registrar en diferentes bandas el espectro electromagnético. (INEGI, 1995)

La función de los sensores remotos, instalados a bordo de satélites, consiste en la realización de observaciones regionales periódicas para captar y transmitir electrónicamente los datos registrados a estaciones receptoras en la Tierra, cuando se encuentran dentro de sus áreas de alcance, o bien graban esta información en cinta de video de banda ancha para retransmitirla posteriormente.

En el año 1972, fue lanzado al espacio el primer Satélite de Recursos Tecnológicos de la Tierra, el ERTS-1 de la NASA (National Aeronautical and Space Administration) y posteriormente se lanzó un segundo satélite denominado ERTS-2, dichos satélites rodeaban, inicialmente a la Tierra en una órbita casi circular y sincrónica con el sol, aproximadamente a 920km de altura y efectuando una revolución cada 103 minutos. (Tilton, 1982)

Posterior al lanzamiento de los satélites ERTS, fueron lanzados otros satélites cuya misión era la realización de tareas específicas para las naciones interesadas, estos satélites se reconocen con los siguientes nombres: NOAA, SKYLAB, LANDSAT y su sensor MSS (Multi Spectral Scanner) y uno más, conocido como TM (Thematic Mapper), cuya aplicación específicamente es utilizada en la elaboración cartográfica, así mismo, otros satélites cuya utilidad radica en cuestiones meteorológicas como es el caso del METEOSAT, SEASAT y un satélite más el SPOT (este último cuyas imágenes son utilizadas en el INEGI para llevar a cabo la actualización de la carta topográfica a escala 1:250 000). En la figura 22, se esquematiza la posición en que se encuentran algunos de estos satélites con respecto a la superficie terrestre (INEGI, 1995).

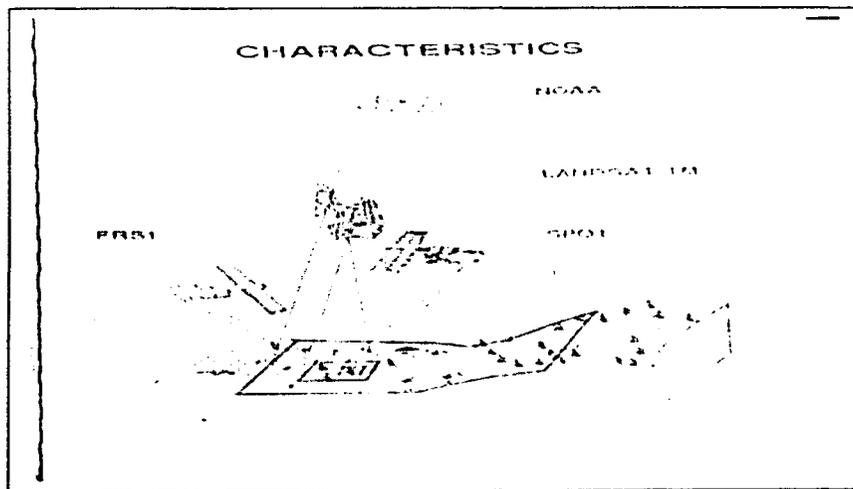


Figura 22. Posición de algunos satélites con respecto a la superficie terrestre

Para el caso de la actualización cartográfica en el INEGI, sólo se describirán algunos aspectos del satélite SPOT, ya que las imágenes empleadas para esta actividad corresponden a dicho satélite.

Así este satélite rodea a la Tierra de norte a sur con una pequeña inclinación con respecto a los meridianos, pasando cada 18 días por el mismo punto y aproximadamente a la misma hora local, el campo de vista instantáneo de cada sensor instalado, cubre un área de 79 x 79m. por lo que la imagen debe adecuarse a la escala con una sucesión de puntos de ese tamaño completando líneas de barrido de 185km de longitud y se orientan en forma perpendicular a la órbita.

La figura a continuación describe la trayectoria y campo de observación del satélite sobre la superficie terrestre (figura 23)

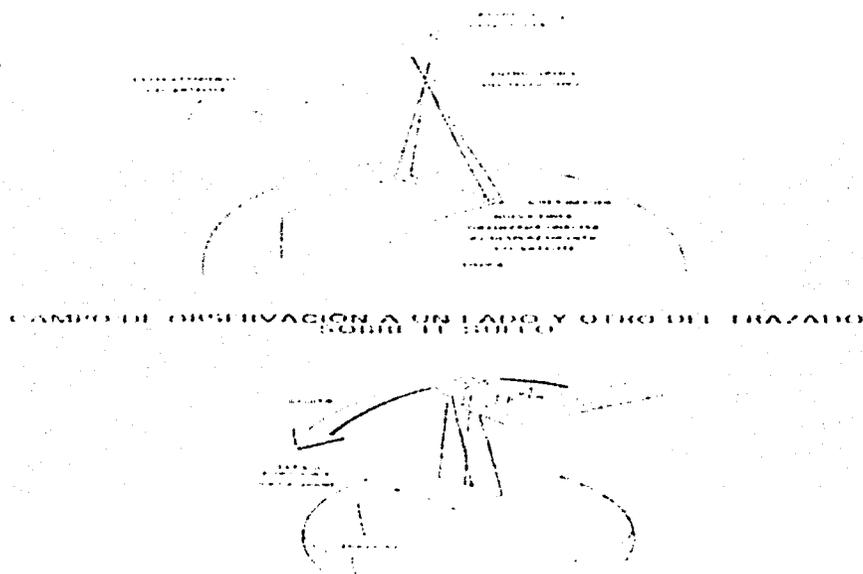


Figura 23. Campo de observación y orientación de barrido del satélite Spot, con respecto a la superficie terrestre.

Los datos adquiridos se presentan como imágenes sobre película fotográfica para ser analizados visualmente o en forma de señales electromagnéticas en cinta para su lectura y procesamiento electrónico. Considerando, que las imágenes en película son obtenidas de un negativo original de 55 x 53mm. en formato de 70mm. y en cuyo margen se leen datos relacionados a la posición geográfica del lugar, fecha y hora de la toma, así como de la elevación y azimut del Sol y la banda en la que capta el sensor.

Para entender un poco más sobre como son captadas las imágenes de satélite por los sensores, específicamente el MMS (Multi Spectral Scanner) y el TM (Thematic Mapper), se dice que son equipos de barrido multi-espectral que contienen mayor resolución, la cual se define a continuación:

-Resolución: se define como la capacidad de un sistema sensor para separar los elementos de un objeto definido como una sucesión de líneas equidistantes.

En el caso de la Actualización Cartográfica escala 1:250 000, son utilizadas imágenes del satélite SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), desarrollado por el gobierno francés en colaboración con Bélgica y Suecia. Este satélite cuenta con dos equipos de exploración por empuje denominado HRV (Haute Resolution Visible), tales equipos permiten obtener imágenes en dos modalidades:

- Pancromático (tonos que van del blanco al negro) y
- Multibanda (verde, rojo e infrarrojo cercano), con una resolución espacial de 10 y 20m. respectivamente.

El área cubierta es de 60km de lado, por lo que estos sensores incorporan 6 000 detectores en modo multispectral y 3 000 en pancromático. Y la resolución radiométrica por pixel se cifra en 8 bits en multibanda y 6 en pancromático.

La modalidad Pancromático (P): es una sola medición por pixel (unidad mínima de la pantalla), el sector de longitud de onda es de 0,51 a 0,73 μ m. La medición de energía integra una superficie cuadrada del suelo de 10m por lado, tal procedimiento es utilizado para definiciones muy altas, por ejemplo; son utilizadas para descifrar el medio urbano.

La modalidad Multibanda o Multispectral (XS): Se realizan tres mediciones en un mismo pixel, correspondiente a los siguientes sectores de longitud de onda:

- XS1: 0,50 a 0,59 μ m (verde visible)
- XS2: 0,61 a 0,68 μ m (rojo visible)
- XS3: 0,79 a 0,89 μ m (infrarrojo cercano)

Y una imagen multispectral en relación a la imagen pancromática, es que se distinguen diferentes tipos de suelo.

Continuando con las características del satélite SPOT, además cuenta con la capacidad para variar el ángulo de observación hasta 27°, lo que le permite observar la misma zona en orbitas sucesivas, reduciendo la frecuencia temporal de las imágenes (de 26 días a 2-3 días según las latitudes).

3.1 Percepción Remota

El termino "Percepción Remota" surgió en los años 60's apareció inicialmente durante las primeras misiones interplanetarias de sondas espaciales no tripuladas, en las cuales se instalaron cámaras de televisión que captan y envían a la Tierra imágenes correspondientes a regiones seleccionadas de la superficie de otros planetas.

El desarrollo de esta técnica se ha visto involucrado en el estudio de la superficie terrestre, por lo que se define a la Percepción Remota, como el grupo de técnicas de colección de información confiable sobre las propiedades físicas de superficies u objetos utilizando la luz visible e invisible, y por medio del análisis automatizado de datos obtenidos a distancia por un sensor remoto, con el fin de evaluar el medio ambiente y para el apoyo de labores de prospección de los recursos terrestres. (INEGI, 1995)

Los satélites artificiales, los sensores remotos (son sistemas para obtener imágenes, algunas de las cuales no pueden ser consideradas como fotografías) (Estrada, 1992) y el manejo de imágenes digitales (representación de una realidad conformada por una colección de pequeños puntos y de

diferentes tonos), por medio de la computadora, han permitido la modificación del estudio de la superficie terrestre, así como la evaluación de los recursos naturales. Considerando que la distancia nos permite tener una visión general a diferentes escalas lo que se logra gracias a una sucesión de observaciones que van cubriendo poco a poco la región deseada, a diferentes horas del día y épocas del año, por medio de diferentes filtros de color, lo cual implica la valiosa información acerca de los recursos naturales.

Un sensor remoto capta la energía del espectro electro-magnético (radiación electromagnética medida en Angstroms, micrómetros, milímetros, etc.) como lo es la luz ultravioleta, la infrarroja (energía calorífica), ondas de radio, así como detecta los rayos X, rayos gamma y partículas microscópicas, como electrones, protones y neutrones. Ayudado con materiales como son las placas fotográficas, la película infrarroja, los foto-detectores; además de los foto-multiplicadores y las cámaras de televisión.

Considerando la evolución de la tecnología en el tratamiento y procesamiento de imágenes de satélite, que ha permitido el desarrollo de la ciencia computacional, electrónica y digital, así mismo ha dado lugar al gran avance de la Percepción Remota, la disponibilidad de estas herramientas permite una evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos y a su vez crea nuevos sistemas de procesamiento digital, los cuales encontramos en el mercado: ERDAS, IDRISI, XPACE, etc. Un elemento muy importante para el análisis de la superficie terrestre, es que los sensores remotos tienen la capacidad de producir imágenes de alta calidad en forma analógica o digital, es decir, una representación continua o discreta.

Así, una imagen continua es donde la variación de los tonos del gris o de color, se presentan en líneas o fronteras difusas, las cuales constituyen los límites del sistema físico-objeto de estudio.

En tanto que una imagen discreta está compuesta por elementos definidos y diferenciados, como puntos o cuadros (pixel, es una unidad mínima representada en la imagen).

En realidad una representación o imagen continua, no es más que una idealización de lo que es la realidad, ya que una fotografía a simple vista podría verse en forma continua y al ser amplificada se aprecia que está conformada por una colección de pequeños puntos de diferentes tonos que componen la imagen en forma similar a un rompecabezas.

Por lo tanto, una imagen será continua o discreta, dependiendo del grado de resolución y del detalle, y se da el nombre de digital a las imágenes discretas y cada punto está dado por un número del 0 al más oscuro y 127 al más claro. Debido a tal representación numérica, es posible el manejo por computadora de la imagen digital correspondiente, con la consecuente rapidez y volumen en el análisis de una gran variedad de estas.

La disponibilidad de sistemas de cómputo ha permitido que se puedan analizar imágenes digitales de gran dimensión y complejidad lo que ha dado lugar al diseño y construcción de lenguajes computacionales especiales para el análisis de las imágenes dando lugar a un mayor impulso al desarrollo de la percepción remota.

Actualmente los sistemas computacionales, cuentan con un rango muy amplio de algoritmos (sucesión lógica de instrucciones que proporcionan al sistema las órdenes necesarias para ejecutar una tarea específica), para el análisis de imágenes con un sistema de color de alta resolución que permiten desplegar la imagen digital y proporcionar al usuario una comunicación interactiva con la computadora.

Dicha comunicación es canalizada a bancos de datos, de donde se extrae para representarla o manipularla lo más adecuadamente posible para la toma de decisiones y con esto se llega al concepto del análisis de la información de una imagen digital y de los sistemas de información.

3.2 El Espectro Electromagnético

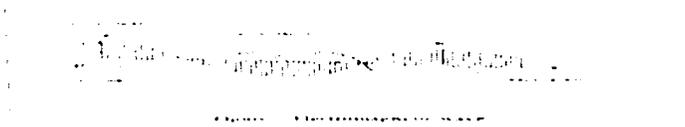
Anteriormente, se describió que la percepción remota permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, y para que esta técnica sea posible, es preciso que exista un tipo de interacción. Considerando que los principios básicos de interacción se producen entre el sistema sensor y el flujo energético derivado de la luz solar y la superficie terrestre, ya que el sol ilumina la superficie terrestre la cual refleja la energía en función del tipo de cubierta de dicha superficie y es registrada por el sensor que la transmite, posteriormente a las estaciones receptoras. (Chuvieco, 1996)

Entre la superficie terrestre y el sensor se interpone la atmósfera que dispersa y absorbe parte de la señal original así mismo la observación remota se registra por la energía emitida por diferentes cubiertas de la superficie terrestre. El flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor contribuyen una forma de radiación electromagnética, así la energía térmica se trasmite de un lugar a otro por tres procesos principalmente: convección, conducción y radiación.

- convección, es el movimiento provocado por diferentes temperaturas
- conducción, es la transferencia de energía electromagnética a través de un material por interacción molecular
- radiación, es el proceso en el que la energía electromagnética es propagada a través del espacio libre.

Por lo que la radiación electromagnética (es el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor), es registrada como: frecuencia y longitud de onda.

- longitud de onda (es la medida de la distancia que separa los valores culminantes entre ondas sucesivas), hace referencia a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda y,
- frecuencia, es el número de ciclos que pasan por un punto fijo en una unidad de tiempo (queda ejemplificado en la siguiente figura)



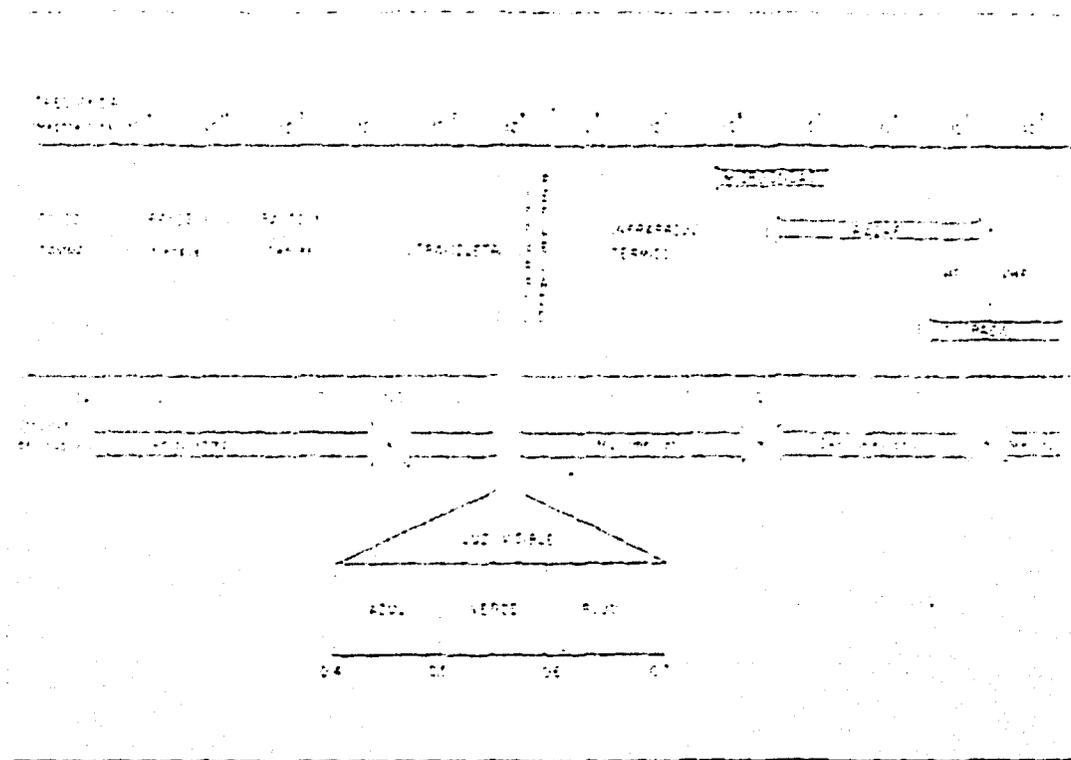
Ondas Electromagnéticas

La longitud de onda es determinada por el contenido energético, esto implica que la radiación en longitudes de onda larga, es más difícil de detectar, que aquellas de longitud corta. Lo cual indica que a mayor longitud de onda o menor frecuencia, el contenido energético será menor y viceversa. (INEGI, 1995)

De este análisis, encontramos que el tipo de energía radiante se determina en función de su longitud de onda y frecuencia. Aunque la sucesión de valores de la longitud de onda es continua, suele establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar y la organización de las bandas de longitud de onda o frecuencia, se

denomina "Espectro Electromagnético". Y son longitudes de onda corta o microondas los rayos gamma, ultravioleta y los rayos X, en tanto que las longitudes de onda larga o kilométricas son las correspondientes a las telecomunicaciones.

Las unidades de medida para la longitud de onda corta es la micra ($\mu\text{m} = 10\text{m}$), en tanto que las ondas largas se miden en centímetros o metros (micro-ondas), o también se designan por valores de frecuencia (giga hercios, $\text{GHZ} = 10^9 \text{HZ}$), esta relación se observa en el siguiente cuadro que representa el espectro electromagnético.



Espectro electromagnético

3.3 Espectro Visible

Desde el punto de vista de la Teledetección, se destacan una serie de bandas espectrales, empleadas en la tecnología actual llamado Espectro Visible.

El Espectro Visible se encuentra entre los (0,4 a 0,5 μ m) y se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos y las bandas que más se distinguen son:

AZUL	(0,4 a 0,5 μ m)
VERDE	(0,5 a 0,6 μ m)
ROJO	(0,6 a 0,7 μ m)

Para la aplicación del espectro electromagnético, en la actualización de la carta Topográfica escala 1:250 000, se consideran siete bandas principalmente:

BANDA 1

Con un rango de (0.45 a 0.52 μ m), son bandas para resaltar cuerpos de agua, diferentes tipos de suelos con respecto a la vegetación y asociaciones de bosques de coníferas.

BANDA 2

Con un rango de (0.52 a 0.60 μ m), designada para medir la reflectancia (se conoce como la relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie), al verde que interpreta la vegetación de montaña.

BANDA 3

Con un rango de (0.63 a 0.69 μ m), es muy importante esta banda ya que absorbe la clorofila y selecciona la vegetación.

BANDA 4

Con un rango de (0.76 a 0.90 μ m), es utilizada para determinar el grado de contaminación de los cuerpos de agua.

BANDA 5

Con un rango de (1.55 a 1.75 μ m), esta banda indica el contenido de humedad de la cubierta vegetal y del suelo, también empleada para distinguir las superficies cubiertas de nieve, así como la nubosidad.

BANDA 6

Con un rango (a μ m), es la banda de infrarrojo térmico utilizada para el análisis de la vegetación, humedad del suelo y para elaborar mapas térmicos.

BANDA 7

Con un rango (2.08 a 2.35 μ m), es una banda seleccionada para conocer el potencial y la selección de tipos de rocas, así como para mapeo hidrotermal (Chuvieco, 1996).

3.4 Características de las Imágenes de Satélite para la Actualización Cartográfica a escala 1:250 000

Es un problema visualizar una imagen, ya que se tiene que analizar una cantidad infinita de datos, localizar centros de interés y realizar una primera interpretación visual de la información que contiene un soporte de visualización:

- Una película fotográfica o su tiraje en papel fotográfico,
- Una impresión que refleja un primer análisis para localizar o hacer mediciones reales del terreno
- Una pantalla del sistema de procesamiento de imágenes.

Una imagen digital al ser empleada ya sea en bruto (cruda) o corregida (también procesada), se representa como una matriz geométrica en dos dimensiones y de tipo cartográfico (con mayor o menor deformación o distorsión, según el nivel de procesamiento geométrico), en un pixel (punto elemental de la matriz), en el cual se asocian tres valores:

- Coordenada en línea
- Coordenada en columna
- Nivel digital, mide el valor entero que registra numéricamente la intensidad radiométrica dada

La mayor parte de los programas utilizados para el análisis de imágenes digitales, contienen el principio de visualización del blanco y negro, así como asociar un color a un valor numérico. Para lo cual debe contar con una paleta ordenada de colores "un arcoiris", en donde se incluyen todos los colores del espectro visible, en orden creciente de la longitud de onda:

Violeta, azul, indigo, verde, amarillo, naranja y rojo.
(INEGI, 1996).

Retomando que los sensores remotos registran la medición física de la ventana atmosférica en varias bandas espectrales, llamadas bandas multispectrales. Una imagen multispectral está constituida de k matrices llamadas "canales", por lo que una matriz bidimensional de números se conoce como imagen digital, una imagen SPOT multispectral (XS) posee tres canales llamados XSk en donde $k = 1, 2, 3$.

Para establecer una orientación especial de la imagen, los elementos de la matriz serán ubicados según renglones y columnas, siendo componentes individuales dado por el pixel, en el que se representa la intensidad digital.

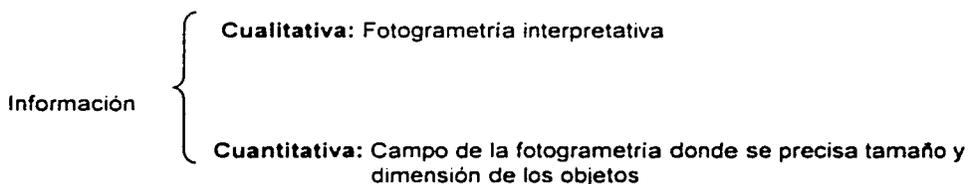
La intensidad digital baja representa la intensidad real de la luz baja, en una imagen en blanco y negro la intensidad es representada por un valor numérico el negro corresponde al 0, y para el blanco corresponde el 256, los valores están codificados en 8 bits ó 1 octeto.

Para el proceso de actualización de mapas topográficos, el procesamiento de imágenes permiten restituir en la pantalla 256 niveles de gris (en cada color primario: azul, verde y rojo), lo que permite obtener la interpretación de los objetos reflejados en la imagen (INEGI, 1995)

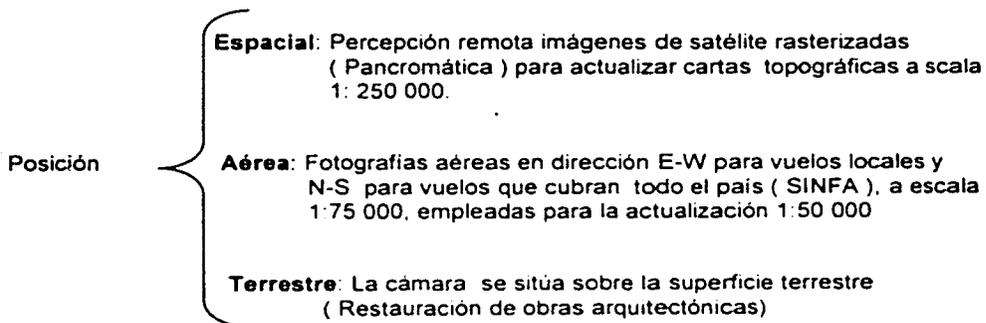
De esta manera se ha dado una generalización de las herramientas utilizadas en el proceso de actualización cartográfica, por lo que si me permiten haré una generalización de lo que hasta aquí se ha descrito, para lograr ubicar a la fotogrametría desde el punto de vista de su posición espacial, lo cual queda de la siguiente forma:

Ubicación de la Fotogrametría en la Actualización Cartográfica

Fotogrametría: Es la ciencia o técnica de medir en posición y dimensión un objeto cualquiera utilizando fotografías y dependiendo de su aspecto se divide en: información y posición.



Y de acuerdo a su posición es:



Fuente: Descripción del autor

4. Insumos y Equipo requeridos en la actualización digital.

Es importante mencionar que con la actualización tradicional de la cartografía, no era posible proporcionar la información necesaria en el tiempo requerido, ya que la elaboración se llevaba a cabo en forma manual, por lo que para la época en la que vivimos resulta obsoleto tal procedimiento. Así surge la necesidad de acelerar los tiempos de actualización y contar con los medios apropiados para manipular, distribuir y consultar la información.

En el año de 1991, se plantea la necesidad de automatizar la producción cartográfica, y en 1992 se inicia la etapa de Modernización en la Dirección General de Geografía, cuyo objetivo principal era actualizar la carta topográfica a escala 1:50 000 y 1:250 000, por medios digitales.

Para llevar a cabo dicha actualización digital, se elaboraron dos documentos básicos que regirán el proceso de actualización y así obtener los productos que satisfagan las necesidades de información cartográfica vigente, dichos documentos son:

- Diccionario de Base de Datos Topográficos a escala 1:50 000 y 1:250 000
- Manual de Especificaciones para la Extracción de Información Vectorial Actualizada.

Ambos documentos se encuentran normados de acuerdo a los criterios internacionales para la elaboración cartográfica, si bien la actualización digital no difiere mucho de la actualización tradicional en cuanto al contenido final de la carta y la única diferencia es la metodología empleada. Lo mismo que en la elaboración tradicional, la actualización digital es parcial, y conserva todos los rasgos que no presentan cambios significativos, conforme al análisis visual de las ortofotos y a la información proporcionada por clasificación de campo del Departamento de Cartografía Básica de la Subdirección Regional de Geografía.

Paralelamente a tales necesidades, aparecen tecnologías y recursos de procesamiento digital de información geográfica que ofrecen mayor agilidad y/o precisión que sus predecesores analógicos, lo que dio lugar a la conceptualización del Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG), como una forma de materializar el proyecto de Modernización de la Actividad geográfica del INEGI, se describe de la siguiente manera:

4.1 Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG)

El Sistema Nacional de Información Geográfica se basa fundamentalmente en el conjunto de capacidades o funciones que se indican como sigue:

- Capturar los datos que en forma de documentos, mapas e imágenes existen.
- Producir y actualizar la información de regiones no cubiertas o desactualizadas.
- Almacenar y recuperar la información de manera selectiva, confiable y eficiente.
- Procesar los datos usando herramientas estadísticas y de análisis espacial.
- Desplegar en pantalla y generar resultados con calidad de edición cartográfica.
- Supervisar y controlar la operación en general.

Es importante destacar que la Base de Datos Geográficos (BDG), es un documento que aya la forma correcta y ordenada de actualización, la cual reside en la representación digital de los datos que conforman la totalidad de información geográfica obtenida y procesada por personal calificado.

4.2 Uso y manejo de la Base de Datos Geográficos (BDG).

Para llevar a cabo la actualización digital es preciso conocer las normas básicas y los criterios para realizar la captura de datos vectoriales, puntuales y de área. El Diccionario de datos topográficos (modelo de datos vectoriales), junto con cada uno de los diccionarios de los temas involucrados en la parte vectorial de la Base de Datos Geográficos (BDG) del INEGI, conforman la sección del Modelo de Datos Vectoriales.

El diccionario describe, bajo el mismo criterio y de manera rigurosa, la información existente en la Carta Topográfica, dicha descripción esta basada en el marco conceptual que proporciona la parte del Modelo de Datos Vectoriales, apoyada en el tratamiento cartográfico que tradicionalmente se ha dado a tal información.

La Base de Datos Geográficos (BDG), es un conjunto de datos organizados en archivos gráficos y alfanuméricos, los cuales son generados en cada uno de los componentes del sistema y están accesibles para la consulta de usuarios o para el desarrollo de diversas actividades, la información se clasifica en:

Información vectorial, raster y alfanumérica.

informacion vectorial

Dicha información se ve integrada por elementos lineales (curvas de nivel, ríos, acueductos, carreteras, etc.), puntuales (manantiales, edificaciones aisladas, cajas de agua, granjas, etc.) y de área (cuerpos de agua, bosques, áreas de cultivo, áreas urbanas, parques, etc.)

Para representar un rasgo o fenómeno geográfico particular en la BDG, se usan dos componentes.

- Entidad
- Representación geométrica.

ENTIDAD

Una entidad es una representación digital del componente descriptivo de un rasgo geográfico cosa (objetivo, fenómeno, rasgo, evento, concepto, etc.) distinguible de lo que le rodea, acerca de la cual se requiere información. Se le asocia un nombre con el fin de distinguirlo de otras entidades (ejemplos: nombre geográfico o toponimia, carretera, presa, línea de transmisión, eje estructural, área agrícola, etc.)

REPRESENTACION GEOMETRICA

La representación geométrica consiste en la representación digital del componente espacial de un rasgo geográfico. Para la BDG, existen tres tipos de representación geométrica: punto, línea y área

PUNTO.

Es la representación geométrica constituida por un solo par de coordenadas (X,Y). Un punto se usa para describir geométricamente un rasgo geográfico considerando como puntual, tiene dirección y un calificador de posición permitidos para los calificadores y sus valores de posición son:

Definida
Aproximada

LINEA.

Es la representación geométrica constituida por una serie de dos o más pares distintos de coordenadas ligadas secuencialmente. Una línea se usa para describir total o parcialmente la geometría de un rasgo geográfico, también se usa la línea para delimitar áreas junto con sus coordenadas, la línea puede requerir de una dirección sin embargo, esta dirección estaría en la entidad como un atributo.

Una línea tiene entre otros atributos, un calificador de posición y los valores permitidos son:

- Definida, cuando la posición se define en forma precisa en el documento fuente.
- Posición aproximada, cuando la ubicación es inferida en el documento fuente, o es obtenida en campo en forma aproximada o se desconoce la precisión del documento fuente. (un ejemplo es el trazo de un acueducto subterráneo, poliducto, gasoducto, etc.)
- Virtual, cuando una representación se extiende más allá del límite teórico del conjunto de datos, esta línea virtual se extiende para limitar la representación geométrica al límite del conjunto de datos. (por ejemplo la ruta de un transbordador, un teleférico, etc.).

AREA.

Un área se usa para describir geoméricamente un rasgo geográfico, también para la representación geométrica delimitada por una línea cerrada o un conjunto de líneas que se cierran, considerada como una extensión o superficie (ejemplo: áreas urbanas, cuerpos de agua, zona sujeta a inundación, etc.).

Como parte del procedimiento de actualización cabe mencionar que cada uno de los elementos que componen la carta tienen una correcta interrelación, lo cual permite la asociación entre entidades, existen dos tipos de relación: conectar y compartir.

CONECTAR.

Es la relación de conexión entre entidades cuando presentan la misma ocurrencia de coordenadas en la unión, pero no indican de manera explícita una conexión es decir cada entidad queda perfectamente conectada, para ejemplificar: un cuerpo de agua con una corriente de agua debe quedar perfectamente conectada si no de lo contrario habrá errores en los procesos de edición.

COMPARTIR.

Se presenta cuando ocurre una duplicación de entidades o se presenta una zona de contacto entre entidades. La geometría lineal presenta las mismas coordenadas en la zona de compartición, por ejemplo un cuerpo de agua y una presa tienen la relación de compartición, ya que se presenta una duplicación de una línea común, por un lado corresponde a un cuerpo de agua y por otra corresponde a la presa a dos entidades de línea y área diferentes.

Estos elementos son registrados en los procesos de corrección o del control de calidad que son elementos registrados en los batchs (procesos de corrección de edición), los cuales son procesos que en forma tradicional sería la representación de la correcta edición de la captura de cada uno de los elementos de la carta, entidad relación de conexión y compartición se da el atributo:

ATRIBUTO

El atributo es la característica que califica y describe un aspecto de una entidad y el número de atributos asociados con cada entidad es variable. Los atributos correspondientes para una entidad topográfica por ejemplo el atributo de carretera son: revestimiento, condición, derecho de tránsito, jurisdicción y número de carriles. Los tipos de atributo son de: dominio fijo y dominio variable.

ATRIBUTO DE DOMINIO FIJO.

Es el atributo limitado por valores posibles, los cuales pueden ser identificados por un código específico FC = facture code) ó código que representa el elemento digitalizado ej. camino brecha su FC = 3171, cuerpo de agua FC = 6291 Y 6292.

ATRIBUTO DE DOMINIO VARIABLE

Dominio variable: Es el atributo que no puede ser definido por un número específico de valores, dentro de los atributos de dominio variable se encuentran los siguientes:

- Identificador secuencial de ocurrencia.

A través del número secuencial de la característica (FSN), la cual se obtiene por el orden en que es capturada cada característica. Se indican los atributos de dominio variable que contiene las entidades para el tipo "AC" = 1000, en la columna se registran los valores para el "AC"

TIPO DE "AC"	VALOR DEL "AC"
1001	FSN (número secuencial del rasgo)

ATRIBUTOS ESPECÍFICOS.

Son los que caracterizan y agrupan los méritos de algunos rasgos geográficos de la carta topográfica (AC), los siguientes ejemplos se presentan en la actualización:

ENTIDAD	ATRIBUTOS ESPECÍFICOS	TIPO DE "AC"	VALOR DE "AC"
Curva de nivel	elevación de la curva	2	valor en metros de la elevación
Punto acotado	elevación del punto	2	valor en metros de la elevación
Faro/ radiofaro	alcance del destello	1010	alcance en millas náuticas
Número de carretera	valor del número de carretera	1012	número oficial de la carretera
Lumbrera	número de lumbrera	1014	número asignado a cada lumbrera

También son considerados, además de los atributos, otros elementos como lo es: el código, representación geométrica y dimensiones mínimas.

CODIGO

El código se emplea para identificar las entidades de la BDG, para las combinaciones que empleamos, son autorizados los valores de los atributos. Las entidades son reconocidas con un código genérico y los atributos con un código específico. (Se anexan tablas de los códigos de la BDG).

CALIFICADORES DE REPRESENTACION GEOMÉTRICA

Para la representación geométrica de punto y línea, los calificadores son:

PUNTO: Definida (como es el caso de una edificación aislada), y la aproximada(corriente que desaparece).

LÍNEA: Definida (el trazo de una carretera), aproximada (el trazo de un acueducto subterráneo) y virtual (ej. delimitación del límite estatal).

Y los valores del calificador de representación geométrica (tipo de AC 1000), tendrá un valor de:

TIPO DE "AC"	VALOR DEL "AC"
1000	0=definido
1000	1=aproximado
1000	2 = virtual

El calificador de representación geométrica no se aplica a las áreas, pero si a las líneas que las delimitan. Por lo tanto, un cuerpo de agua podría estar representado por una área delimitada al mismo tiempo por líneas definidas, aproximadas o virtuales.

DIMENSIONES MÍNIMAS.

Para incluir una entidad en la Base de Datos Geográfica, debe tener un tamaño o dimensión mínima, tanto en líneas como en áreas, las dimensiones se determinan por los valores de la longitud y superficie por el ancho y largo depende del factor de escala, considerando que la escala es 1:50 000 un milimetro de la carta es 50,000 mm en el terreno los elementos a capturar son considerados bajo este criterio. En este apartado serán mencionados y escritos otros elementos incluidos en una carta topográfica, además de las especificaciones establecidas.

PRECISION DE LOS DATOS

La precisión de los datos está dada por la diferencia entre la posición de la representación geométrica asociada con una entidad y la posición real del rasgo geográfico correspondiente, medido con respecto a los levantamientos de campo para la red geodésica.

RESOLUCIÓN DE LOS DATOS

La resolución específica de la unidad de medida más pequeña que se adopta para el registro de datos, se establece en metros para los ejes X y Y.

REGLAS DE TOLERANCIA

La contigüidad o coincidencia entre dos rasgos debe ser exacta y estar dentro de una tolerancia de 25 m. a escala 1: 50 000. La tolerancia permite que los rasgos geográficos coincidan y compartan las mismas coordenadas.

En el caso de la tolerancia en la relación de conectar y compartir deberá ser pequeña hasta obtener la fusión de líneas adyacentes con una línea de compartición. Esta misma regla se aplica a entidades de área que se encuentran en el caso de sobre posición o traslape, y la tolerancia será de 25 m. a escala 1:50 000 para obtener una sola línea de compartición.

DATUM, PROYECCIÓN CARTOGRAFICA Y SISTEMA DE COORDENADAS

DATUM (define la orientación del sistema de coordenadas x,y,z con respecto a la superficie terrestre, es decir una nivelación). Al inicio del Proceso de Modernización en el año 1994, se usó como sistema de referencia para los levantamientos topográficos y geodésicos, el Datum Norteamericano de 1927 o mas conocido como (NAD 27). Posteriormente en el año 1998 se hizo el ajuste de toda la cartografía existente al nuevo Datum ITRF92 (Marco de Referencia Terrestre

del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra), hoy en todo el proceso de elaboración cartográfica nivel institucional y privado se emplea el DATUM ITRF92.

SISTEMA DE COORDENADAS HORIZONTALES Y PROYECCION CARTOGRAFICA.

La Proyección Universal Transversa de Mercator, es una proyección conforme, en donde los ángulos medidos en los cálculos en función de las coordenadas de la cuadrícula, se aproximan a sus valores verdaderos y las especificaciones para la República Mexicana son:

- 1). Proyección. La transversa de Mercator tipo Gauss-Kruger (generalización de la proyección Normal de Mercator con eje transversal en la esfera al elipsoide, coincidiendo el eje del cilindro con el Ecuador). En zonas de 6° de amplitud.
- 2). Esferoide (figura matemática que mas se acerca a la forma de la tierra). Para nuestra cartografía se emplea el de Clarke de 1866 para América del Norte y Centro
- 3). Longitud de Origen. Meridiano Central en cada zona, para la República Mexicana son:
87° 93° 99° 105°, III' y 117° al W del Meridiano de Greenwich.
- 4). Latitud de Origen. 00 en el Ecuador
- 5). Unidad. El metro
- 6). Falsa Ordenada. Cero metros en el Ecuador para el hemisferio Norte y diez millones de metros para el hemisferio Sur
- 7). Falsa Abscisa. 500 000 metros para el Meridiano Central de cada zona
- 8). Factor de Escala para el Meridiano Central 0.9996.
- 9). Numeración de las zonas. Se inicia con el número 1 para la zona comprendida entre los meridianos 180° W a 174° W, continuando hacia el Este en numeración consecutiva hasta llegar al número 60, que corresponde a la zona entre los meridianos 174° E a 180° E
- 10). Limites en Latitud: Norte 80° N
Sur 80° S

Los límites de zonas y sobre posición están limitados por meridianos, cuyas longitudes son múltiplos de 60 W ó 60 E. de Greenwich.

Así, los límites coinciden en general con la división de hojas del Sistema Nacional de Información Geográfica, la cual se basa en las subdivisiones del sistema de numeración de las hojas del Mapa Mundial Internacional (MMI). Para la Base de Datos Geográficos, los conjuntos de datos que corresponden a hojas escala 1:50 000, que exceden los límites teóricos, es decir los límites de caneavá, se separan en conjuntos regulares de datos, cortados a lo largo del límite teórico (INEGI, 1992).

El formato estándar para la carta topográfica 1:50 000 es de 15' de latitud por 20' de longitud, en tanto que para la carta topográfica 1:250 000 su formato es de 1° de latitud por 2° de longitud.

Para el caso de que alguna carta tenga un formato especial (específicamente la isla del Espiritu Santo), no se ajusta al formato estándar de 15 x 20 minutos, sino que su formato especial es de 20' de latitud por 15' de longitud, se generan dos conjuntos de datos con formato estándar.

GEORREFERENCIA.

La georreferencia se obtiene al determinar los valores de coordenadas X, Y, y por las dimensiones de un pixel, que determinan la posición de un punto. Para georreferenciar se debe conocer el origen y las dimensiones de un pixel del archivo raster, que para los fines de la actualización son empleados estos elementos para determinar a la escala que se está trabajando.

Hasta aquí, se ha hecho una relación de las especificaciones establecidas por la BDG, en la extracción de la información de la cartografía topográfica, así como de los elementos referidos a un sistema de coordenadas geográficas. Solo falta describir las características de una imagen digital rasterizada.

INFORMACIÓN RASTER (Ortofoto e Imagen Digital).

La estructura de los datos raster se compone de un arreglo teselar de celdas llamadas pixels. Por lo que la información de la imagen denominada tipo raster (rejilla o arreg o teselar), se caracteriza por integrar la imagen en un mosaico, en donde, cada celda es representada por valores numéricos e interpretada por pixels, cada pixel tiene un valor de 3 por 3 metros en escala 1:50 000

La ubicación de un pixel se determina por una columna y un renglón, de ahí que el tamaño de la retícula esta determinado por un número de columnas y renglones, usualmente todos los pixels tienen las mismas dimensiones

PÍXEL

Es la más pequeña unidad gráfica, utilizada para construir una imagen digital, el pixel contiene aspectos espaciales y espectrales. La variable espacial define el tamaño aparente del pixel y su posición dentro de la retícula y la variable espectral define la intensidad de respuesta del espectro en cada celda (reflectancia), así como en los canales del sensor.

Los sensores de información raster, capturan y almacenan información espectral de la superficie terrestre en archivos binarios de 2, 8 o 24 bits, un archivo de 2 bits contiene un bitmap o mapa de dos colores: blanco y negro,

Un archivo de 8 bits contiene una imagen con 256 niveles de gris, el 0 es para el negro y el 256 es para el blanco. En el caso de 24 bits se registra una imagen con 3 canales, por ejemplo el rojo, verde y azul (RGB), con 256 niveles o tonos para cada canal, de tal modo que se hacen combinaciones que dan lugar a nuevos colores para interpretar cada elemento de la carta.

4.3 Equipo empleado para la actualización cartográfica

Para llevar a cabo la elaboración de la actualización digital de la cartografía topográfica a escala 1 50 000 y 1 250 000, en la subdirección de geografía de la Dirección Regional Centro se cuenta con el equipo cuyas características son las adecuadas para el manejo de información en el proceso de modernización de la información cartográfica

SOFTWARE

El Software, específicamente LITES, es un sistema operativo que contiene una colección de programas que controlan las operaciones del sistema (recursos o subsistemas) Trabaja con un sistema operativo VMS, con aplicación de UNIX, que es un sistema de multiprocesos y multiusuarios (semejante a Windows, ya que se trabaja con ventanas)

La capacidad del disco duro se inicio con 2 gigas y posteriormente es extendida a 20 gigas, ya que la información contiene una cantidad muy amplia de caracteres, y cuenta con las siguientes características

- Proporciona los medios de comunicación con el hardware (computadora), para preparar o levantar el sistema
- Crea el ambiente de trabajo para usuarios que pueden acceder los recursos necesarios para desarrollar tareas, interactuando con otros usuarios activos en el sistema
- Programa el uso del CPU, la memoria física y los dispositivos periféricos para dar acceso a todos los usuarios y que el uso de estos recursos sea eficiente y posible

HADWARE

El hardware consta de los siguientes recursos:

La VAX (Virtual Adres Extended). esta dividida en 4 subsistemas o recursos

- Consola
- CPU
- Memoria
- Dispositivos de Entrada y Salida ;
 - Terminales
 - Impresoras
 - Manejadores de Cinta (8mm) y Disco (CD).

Los datos en la VAX, o tamaño de "files", o archivos esta dado por bloques.

Un bloque = 512 bites y un archivo contiene mas de 400/300 bloques.

La Consola tiene la comunicación directa con el CPU y es usada principalmente en

- Levantar y ejecutar el sistema
- Instalar el Software
- Control remoto del hardware.

El CPU, ejecuta instrucciones

La Memoria Principal es usada para almacenar datos e instrucciones temporalmente.

4.4. Insumos requeridos en la actualización cartográfica.

Para llevar a cabo la Actualización Digital, los actualizadores deben contar con la información mínima requerida, ya que de lo contrario se retrasan los programas establecidos por año, y el material indispensable para iniciar la actualización consta de:

- 1.- Un archivo raster en formato .DTI (es la extensión que se da a la información rasterizada es decir ortofotos), 6 ortofotos a escala 1:20 000, así como la imagen digital (TM a escala 1:250 000)
- 2.- Archivo raster LSI, (planimetría de archivo original)
- 3.- Archivo vectorial de conversión (corregido y ligado altimétricamente)
- 4.- Archivos de liga, de las cartas adyacentes
- 5.- Fotografías aéreas de vuelo SINFA, escala 1:75 000 (cuya toma sea reciente de 1993 a la fecha), garantizando el cubrimiento total de la carta e imágenes del satélite SPOT (TM)
- 6.- Positivo Sumado (documento obtenido del levantamiento hecho en campo por el personal especializado), de Clasificación de Campo con información actualizada
- 7.- Carta Topográfica impresa de edición anterior
- 9.- Diccionario de Base de Datos Topográficos
- 10.- Manual de Especificaciones para la Extracción de Información Vectorial Actualizada

Con la Modernización, los componentes institucionales que intervienen son los siguientes:

1.- DIRECCIÓN DE PROCESOS

Subdirección de Conversión

Subdirección de Fotogrametría:

- Ortofotos
- Actualización

2.- DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Coordinación de Servicios:

- Clasificación de Campo
- Integración Territorial

3.- DIRECCIÓN DE REPRODUCCIÓN AUTOMATIZADA

Subdirección de Despliegue Visual

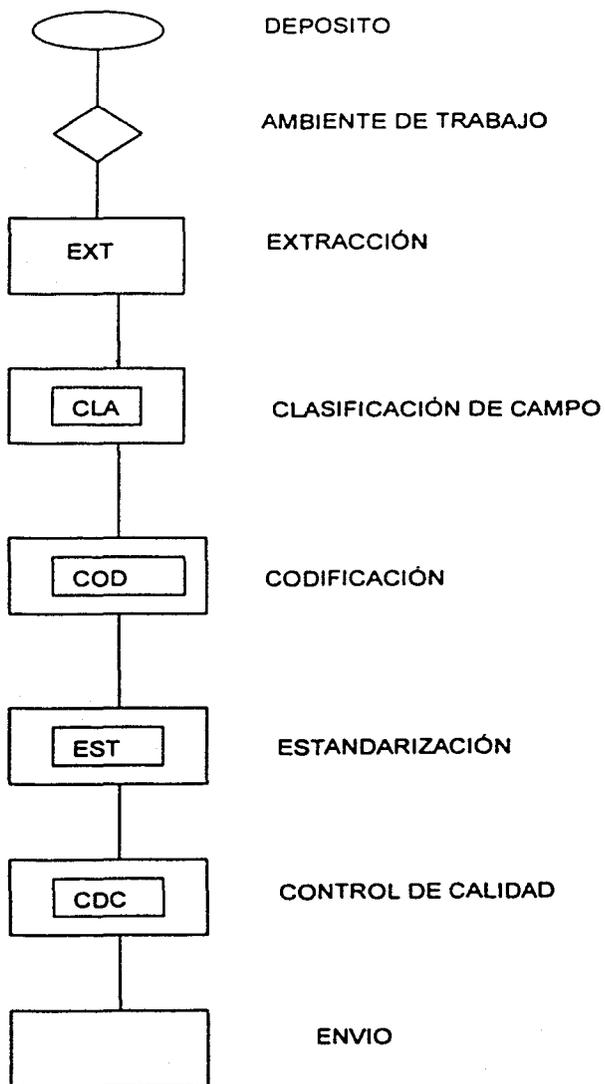
4.- DIRECCIONES REGIONALES (10)

Subdirecciones Regionales de Geografía:

- Departamento de Sistemas (encargado de llevar a cabo el proceso de actualización)
- Departamento de Cartografía Básica (realiza las labores correspondientes a la clasificación de campo)

A continuación se anexa diagrama del proceso de actualización.

Diagrama del Proceso General de Actualización



Fuente: INEGI, 1995.

5. La Actualización cartográfica de la carta topográfica a escala 1:50 000 y 1:250 000

Considerando que he participado en el proceso de producción y actualización cartográfica en equipos de restitución analógica (trazo a línea posteriormente analítica (adaptación de la computadora a los equipos de restitución) y ahora digitalmente (imágenes integradas únicamente en los sistemas computacionales, en la modalidad de ortofotos e imagen de satélite) en el INEGI así como en otras dependencias, situación que me permite participar en el proyecto de actualización de la carta 1:50 000 y 1:250 000.

En el proceso de actualización de la carta topográfica a escala 1:50 000 y 1:250 000, se requiere del conocimiento y experiencia de los actualizadores, así como del uso y manejo de las herramientas, ya que se considera que es una labor muy compleja la cual requiere la aplicación interdisciplinaria de los recursos humanos con los que cuenta el INEGI para obtener, en la medida de lo posible, los resultados necesarios para la obtención de la información cartográfica. Y de la cual, además de actualizar la información referente al inventario de los recursos naturales con los que cuenta el territorio nacional, el empleo de la fotografía aérea puede proporcionarnos una cantidad indeterminada de información para la aplicación en otras áreas de interés para el gobierno tanto federal como el estatal.

Si bien, es necesario tener conocimiento de la explotación de la información fotográfica que realiza principalmente la iniciativa privada, tal conocimiento podría generar los recursos financieros de forma independiente para los organismos descentralizados, como es el caso del INEGI, además de que se podría trabajar y competir a nivel internacional, ya que contamos con el equipo necesario. En el caso que fuera así lo explicaré al final del capítulo correspondiente a la extracción de la información digital.

Retomando este capítulo, el cual requiere de insumos tanto humanos como materiales, partiremos de la información existente a la cual se tiene que modificar, ya que en la superficie terrestre se presentan cambios tanto cualitativos como cuantitativos y nuestro país requiere de manera sobresaliente, contar con tal conocimiento. Una forma de lograrlo es realizando la actualización de los documentos cartográficos existentes por medio de la restitución fotogramétrica, a través del análisis visual y la fotointerpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, a poyada por documentos normativos como la Base de Datos Geográficos y el Manual de Especificaciones del Sistema Nacional de Información Geográfica.

El INEGI tiene entre otros objetivos el de generar la información geográfica que el país requiere para planificar y conducir el aprovechamiento óptimo de sus recursos territoriales. Por tal motivo la Dirección General de Geografía del INEGI, ha realizado diversas etapas de cubrimiento cartográfico del territorio nacional a diferentes escalas y temas tales como la carta topográfica, geológica, hidrológica, edafológica, uso de suelo y vegetación, etc. Y es precisamente la carta topográfica el tema de interés y desarrollo, ya que es un documento utilizado de muy diversas maneras para el estudio de las obras o eventos de mayor relevancia que han acontecido en el territorio nacional durante el último cuarto de siglo.

Considerando que el cambio tanto cuantitativo como cualitativo en las necesidades de información de la sociedad, y la relativa lentitud de los procesos tradicionales de producción de información cartográfica, se tuvo la necesidad de buscar alternativas para agilizar de manera sustancial el proceso de generación de información geográfica. En el año 1993 la Dirección General de Geografía del INEGI, desarrollo el proyecto de Actualización Cartográfica por Medios Digitales, para llevar a cabo tal proceso es necesario contar con un esquema de trabajo descrito de la siguiente manera:

Proceso de Actualización Cartográfica

Subdirección Regional Centro

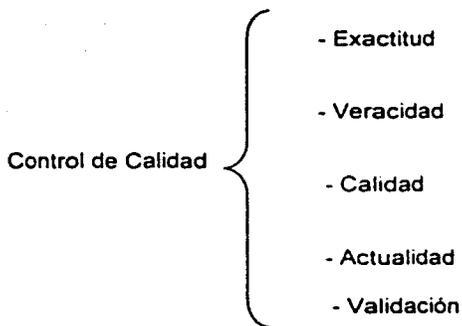
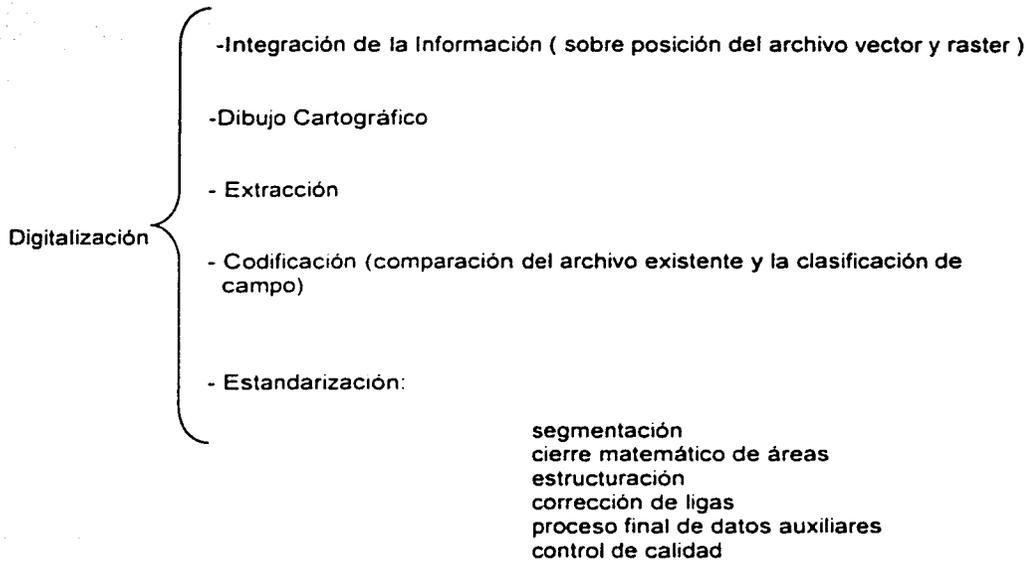
Actualización de la carta topográfica
escala 1:50 000

Actualización de la carta topográfica
escala 1:250 000

- Diccionario de base de datos topográficos escala 1:50 000 y 1:250 000
- Manual de especificaciones para la extracción de información vectorial actualizada (Captura y Actualización).
- Fotografías aéreas de contacto (vuelo SINFA), a escala 1:75 000
- Imagen de satélite en falso color
- seis ortofotografías escala 1:20 000 en formato DTI (raster) en cinta de 8 mm.
- Imagen Digital (TM y SPOT), pancromática
- Archivos vectoriales
- Archivos vectoriales corregidos en XPACE (PCI) planimétrica y altimétricamente.
- Planimétricamente (hidrografía, vías de comunicación, construcciones, vegetación, áreas de cultivo, etc.)
- Altimétricamente (curvas de nivel y puntos acotados)
- Positivo sumado
- Compilación de campo con información actualizada
- Carta impresa de edición anterior

Fuente: Elaboración del Autor

Procedimiento
Edición Cartográfica



Fuente: Elaboración del Autor

El proceso de actualización esta conformado por tres etapas o fases (participación directa del autor)

Extracción de la Información
Clasificación de Campo
Codificación de la información.

Extracción

En el proceso de extracción de la Información consiste en el análisis visual de los archivos raster (ortofotos e escala 1:20 000 e imagen de satélite e escala 1:250 000) y de los archivos vectoriales escala 1:50 000 y 1:250 000, en los cuales se corrige, edita, cambia y se digitalizan nuevos rasgos, ya sea analizados en las imágenes o registrados por clasificación de campo.

El objetivo de la extracción de la información actualizada, previa a la actividad de clasificación de campo, es optimizar los resultados en el proceso de actualización.

El proceso de actualización en la Dirección Regional Centro se inicia con:

Paso 1.- La creación del ambiente de trabajo en ambiente lites, por ejemplo el mapa E14A39A. (que es un de los archivos que cubre una parte del área metropolitana), y es la carta Ciudad de México.

Paso 2.- Se transfiere el archivo raster de la unidad de cinta de 8 mm., en formato .DTI a archivo de trabajo de la VAX, para el archivo de la carta E14A39A, tenemos las ortofotos.

E14A39A-A-.DTI;
E14A39A-B-.DTI;
E14A39A-C-.DTI;
E14A39A-D-.DTI;
E14A39A-E-.DTI;
E14A39A-F-.DTI;

Paso 3.- Se transfieren los archivos vector .CPL y .BDG, a la estación de trabajo, es decir E14A39A.CPL y E14A39A.BDG

Por lo que se define el archivo como E14A39A.ext; se inicia la extracción de la información a actualizar de información consiste en el análisis visual de los archivos raster (ortofoto 1:20 000) y del archivo vector (carta topográfica 1:50 000 sin actualizar), sobre poniendo los dos archivos y se corrigen (borrar, cambiar, es decir editar la información) y/o digitalizar nuevos rasgos, topográficos.

La captura de información se realiza de la siguiente manera:

- Actualizar los rasgos obtenidos por el proceso de conversión
- Cuando no podemos definir los atributos o es desconocida una entidad, se asigna un código genérico que pueden ser:

999 para rasgos puntuales no identificados

3999 para rasgos lineales no identificados

6999 para rasgos de áreas no identificados.

Y para los rasgos identificados se tienen los siguientes ejemplos:

333 Edificación
540 Manantial

3333 Edificación.
3113 Acueducto Subterráneo en operación etc.

Y para el caso de áreas se representa.

6333 Edificación
6120 Área urbana
(Se anexa tabla de valores).

CLASIFICACIÓN DE CAMPO

La actividad de Clasificación de Campo, consiste en la recopilación de información referente a las entidades geográficas y sus atributos, los cuales no son posibles de clasificar o extraer a partir del análisis visual de ortofotos e imágenes de satélite, ó su interpretación sobre fotografías aéreas. Esta actividad se encuentra apegada a lineamientos o requerimientos de la Base de Datos Geográficos (BDG), y las necesidades del área de captura digital, la información obtenida es plasmada en el Positivo Sumado (es una copia en acetato de la carta topográfica original), en donde son registrados los cambios que ha sufrido dicha carta.

CODIFICACION DE LA INFORMACIÓN

La revisión y codificación de los rasgos topográficos actualizados, se lleva a cabo mediante el análisis de la información de clasificación de campo y la fotointerpretación. Para la codificación de la información se le asigna un código (fc), a cada uno de los rasgos y de acuerdo a las normas establecidas por la BDG. (Se anexa apéndice de códigos)

CORRECCIÓN DE RASGOS

Ya que se tiene los archivos con extensión .ext; se inicia la corrección y extracción sobre el archivo vector de la información altimétrica y planimétricamente.

ALTIMETRÍA.

En la altimetría que es la representación de la tercera dimensión del terreno, representada por curvas de nivel y puntos acotados, teóricamente ya ha sido corregida por medio de los Modelos Digitales de Elevación (un modelo es todo lo que representa un objeto y son vehículos para describir la realidad, INEGI 1999) (y un modelo digital de elevación es un archivo de datos con coordenadas en tres dimensiones INEGI, 1996), así al área de actualización no corresponde modificar la información, sólo en los casos siguientes:

CURVAS DE NIVEL: es la información concerniente a entidades que incluyen curvas maestras, ordinanas, auxiliares y depresiones. Esta información solo se edita porque debe estar corregida con respecto a la existencia de nuevos cuerpos de agua, nuevos túneles, nuevas presas o la época del año en que fue hecha la toma de fotografías, así como la clasificación de campo. Las curvas deben llegar hasta el canevá o NEATLINE y se deben editar hasta los límites de la carta.

PUNTO ACOTADO: Este rasgo no es modificado por nosotros, debe estar incluido en el archivo CPL., y solo se modifica si clasificación de campo lo indica.

HIDROGRAFÍA: Se corrige de acuerdo a las curvas de nivel y la imagen, pero se da prioridad a los escurrimientos de acuerdo a las curvas de nivel. Es importante mencionar que para el trazo de corrientes ya sean perennes ó intermitentes, no se toma en cuenta la zona sujeta a inundación, y esta situación para cuestiones de planeación o prevención de desastres naturales podría ser de gran utilidad.

Esto es con relación que en los últimos 5 años, hemos sido testigos que las principales tragedias naturales de nuestro país se deben a problemas de inundación como es el caso de algunos ríos que se desbordan como es el caso de Chiapas, Tabasco, el río Conchos en Veracruz, el río Santa Catarina en Nuevo Leon, algunos causes naturales en Guerrero o Baja California Sur.

Pero que si se toma en cuenta esta situación, en la actualidad se encuentran establecidas ciudades en causes naturales como el caso d el estado de Durango, particularmente el río Nasas, que por ausencia de lluvias, así como la creación de nuevas presas, el río se encuentra totalmente seco y se han establecido algunas localidades en los lechos de estos ríos y a lo largo de este y otros ríos situación que se debe tomar en cuenta, para prevenir., y así mismo planear el establecimiento de nuevas localidades así como la creación de obras de infraestructura hidráulica.

ACUEDUCTO: Algunos ya existen en la carta impresa y en el archivo CPL, y no se modifican a menos que clasificación de campo lo indique. Los nuevos acueductos serán indicados en el positivo sumado (clasificación de campo).

ARRECIFE BAJO: Generalmente esta incluido en el archivo vectorial, solo se modificará si el análisis visual de la imagen y de fotografías áreas permiten un cambio en su trazo, o silo indica clasificación de campo.

CANAL: Algunos se encuentran en el archivo original otros registrados en el positivo sumado y también los que no son clasificados pero el análisis visual lo permite.

CORRIENTE DE AGUA: Son digitalizados en base a la altimetría y el análisis visual, y también se considera la época en que fue hecha la toma de fotografías. Si hay cambios clasificación de campo lo indica en el caso de que sean perennes ó intermitentes también si se considera como cuerpo de agua dependiendo de la afluencia del escurrimiento.

CORRIENTE QUE DESAPARECE: La modificación esta sujeta a cambios. En el trazo de las corrientes ya están orientadas conforme a la corriente de agua y en relación a las curvas de nivel.

CUERPOS DE AGUA: Los que existen en el archivo vectorial son actualizados y corregidos en base al análisis visual. Se anexan los que indique el área de clasificación de campo, aún cuando no cumplen con la dimensión adecuada a la escala o al análisis visual de la imagen.

También se considera la época del año en que se tomo la fotografía, se digitalizan los cuerpos que no son clasificados por campo, pero que cumplen con los lineamientos de la BDG, y serán perennes o intermitentes de acuerdo a la clasificación de campo.

PLANIMETRÍA, corresponde a la situación o posición de los objetos, o detalles y cuando mas pequeña es la escala, la representación planimétrica se acerca mas a su fiel representación, y dentro de la información planimétrica se encuentran los siguientes:

ZONA SUJETA A INUNDACION. Las zonas sujetas a inundación son las que en algún momento fueron lagos, lechos de ríos, depresiones, pantanos ó áreas cercanas a la línea de costa.

Como lo mencione con anterioridad si se tomaran en cuenta los documentos cartográficos y el material fotográfico, principalmente la población civil y el gobierno tanto federal como estatal, se podrían evitar tantos problemas, por ejemplo:

El Municipio de Chimalhuacan que año tras año presenta problemas de inundación en épocas de lluvia y una serie de problemáticas que de esta situación se generan, pues se encuentra establecida el mayor porcentaje de la población del área metropolitana, pero además que es una zona perteneciente al exlago de Texcoco, la cual presenta la existencia de salitre (corroe las construcciones y sus suelos no pueden ser cultivados).

Además de que no hay drenaje, a esto se anexa el proyecto del nuevo aeropuerto capitalino, esto en el área metropolitana por citar un ejemplo y si analizáramos todas las zonas sujetas a inundación del territorio nacional, no alcanzaria a mencionar lo que lograríamos.

Otro ejemplo son las inundaciones causadas en las zonas de costa, principalmente Tabasco y en general es sureste mexicano donde se presentan problemas de inundación, una causa la podríamos encontrar al analizar una carta topográfica de edición aproximada de unos 20 a 30 años de elaboración y podemos observar que son zonas con una gran extensión de áreas pantanosas.

ESTANQUE: Se tiene que considerar la dimensión y los que ya existen en la carta impresa. Si es necesario se recurre a la verificación tridimensional para digitalizarlos de acuerdo al análisis visual. Si hay nuevos clasificación de campo lo indica así como sus atributos, ya que no es lo mismo un estanque que se encuentra en el exlago de Texcoco, a un estanque del cultivo de camarón ubicados en Veracruz, Sinaloa, Sonora o Tamaulipas.

FANGO: Sólo se modificarán si clasificación de campo lo indica, así como los nuevos rasgos y sus atributos.

PANTANO: Es muy importante el análisis visual de la imagen y la fotografía aérea para actualizar sus dimensiones ya que en su mayoría todos los paisajes naturales que existan en la primera edición cartográfica de aproximadamente entre 20 y 30 años, han sufrido un cambio muy drástico. Se debe considerar esta situación ya que forma parte de una zona sujeta a inundación.

VEGETACION DENSA: Es un caso muy importante para crear conciencia de los gobiernos. En algunas cartas por ejemplo:

Guachochi (Sonora), la Sierra Norte de Puebla, Durango, Hidalgo, Estado de México, Sinaloa, Chihuahua, entre otros., se observa la ausencia parcial o total de la superficie que cubría dicha entidad y las graves consecuencias que conlleva este fenómeno: por ejemplo el cambio del uso de suelo, suelos erosionados, asentamientos humanos en áreas productivas, escasez de agua abandono de ciudades, en su totalidad la alteración de un ecosistema.

AREA DE CULTIVO: Es modificada totalmente con el análisis visual de la imagen, es importante ubicar las zonas designadas a esta actividad, podemos observar que en la gran totalidad son tierras abandonadas, por los problemas de apoyo para el campo, el bajo costo de sus productos, los desplazamientos de la población, extrema pobreza etc.

Por lo que me parece de suma importancia analizar la situación del campo, y para cuestiones de planeación no es necesario ir directamente al campo, pues un simple análisis en las fotografías aéreas o bien el simple análisis en gabinete o en las escuelas, en una carta topográfica, podemos obtener una gran diversidad de soluciones para tal situación

CARRETERAS: Se incluyen y modifican de acuerdo al análisis visual, las existentes en la carta impresa y las registradas por clasificación de campo. Los atributos y valores de carreteras son proporcionados por el área de clasificación de campo.

CAMINOS: Se extraen todas las entidades que aparecen en la edición anterior (brechas, veredas, terracerías) y se digitalizan conforme a la imagen.

Los rasgos nuevos y sus atributos son indicados por clasificación de campo. En el caso que el rasgo es sobresaliente y el área de clasificación de campo no lo indique, la información se comenta y se discute, considerando el análisis visual y la visión estereoscópica para tomar una decisión positiva.

Estas entidades llegan sólo al límite del área urbana y la continuación de dicha área se torna el rasgo como calle ya sea de primer, segundo, tercer y cuarto orden dependiendo de la importancia. Por ejemplo una carretera que continúa en área urbana como calle, será una calle de primer orden.

VÍAS FERREAS: Son incluidas las que aparecen en la carta impresa así como las entidades nuevas registradas por clasificación de campo: estos rasgos atraviesan localidades, incluyendo un área urbana.

LINEAS DE TRANSMISION Y COMUNICACIÓN:

Se incluyen todas las líneas incluidas en el positivo sumado así como los que se encuentran en la carta impresa. Tales líneas no atraviesan localidades ni subestaciones eléctricas.

AREA NATURAL PROTEGIDA: Clasificación de campo indica el límite aproximado de las mismas así como sus atributos, es importante el análisis de esta entidad o rasgo, pues para hacer un inventario del mismo, nos damos cuenta que nuestras reservas están a punto de desaparecer, un ejemplo es la Sierra Verde en el estado de Hidalgo, otro caso es la zona del Desierto de los Leones en el Ajusco, podemos analizar a simple vista como se ha alterado esta superficie y lo vemos al sobreponer dos archivos, ya sea con fotografías aéreas o con dos cartas topográficas de diferentes ediciones.

Los resultados obtenidos son alarmantes ya que además de que hace falta mucha vegetación, todo el ecosistema en su conjunto está alterado, y estos resultados se obtienen solo en nuestro rededor, se imaginan los resultados obtenidos de todas las reservas ecológicas de nuestro país.

AREA URBANA: Es considerada como área urbana, una localidad poblada donde existe un agrupamiento o infraestructura concerniente a construcciones permanentes de acuerdo a una traza urbana, además de cubrir el 80% de la superficie edificada. También se considerado el número de habitantes que registra clasificación de campo, apoyado por el Censo General de Población y Vivienda. Estos elementos son apoyados con el análisis visual y clasificación de campo.

AREA VERDE URBANA: Los parques y jardines son considerados dentro de esta entidad, y que se ubican dentro de una localidad o área urbana.

CONDUCTOS: Se modifican de acuerdo al análisis visual, si es necesario, si no clasificación de campo indica el trazo o ubicación aproximada, así como los atributos y características de dichos elementos.

EDIFICACIONES: Se registran las construcciones aisladas, especialmente en localidades dispersas, son registradas por clasificación de campo y a través del análisis visual de 1 a imagen. Generalmente están asociadas a un nombre geográfico y son digitalizadas todas las edificaciones contenidas en la carta impresa.

ESTRUCTURA ELEVADA: Se digitalizan las que se encuentran en la carta impresa o en donde indica el positivo sumado de clasificación de campo.

LINDERO: Se digitalizan, la mayor cantidad posible, considerando el criterio de calidad visual de la carta así como las dimensiones mínimas de la BDG.

MALPAIS: Se registrarán los que están en la carta impresa, así como las entidades nuevas que indica clasificación de campo.

MANANTIALES: Se digitalizan los que están en la carta impresa así como los que indica clasificación de campo.

PISTA DE AVIACIÓN: Se consideran todas las existentes corrigiéndolas de acuerdo al análisis visual de las fotografías así como las de nueva creación digitalizándose únicamente las pistas y no el área que ocupa las instalaciones portuarias. De igual manera, clasificación de campo asigna los atributos de estos rasgos y sus características.

PLANTA GENERADORA: Se consideran las ya existentes en la carta impresa, así como las de nueva creación, registradas por clasificación de campo. Pueden presentarse como entidades puntuales y de área, cuando se presenta en este último caso, se digitaliza sólo el edificio principal y no el área que incluye todas las edificaciones.

PUNTES: Se incluyen los que existen en la carta impresa así como los que indica clasificación de campo. También los atributos correspondientes.

RÁPIDOS: Son incluidos los ya existentes en la carta impresa y que cumplen con las dimensiones mínimas.

SALINA: Se consideran los existentes y las de nueva creación, indicados por clasificación de campo. Se pueden sobreponer a cuerpos de agua.

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA: Son indicadas las extra-urbanas y las que se encuentran dentro de un área urbana son trazadas de acuerdo al análisis visual en forma puntual y de área. Sus atributos y características son proporcionados por clasificación de campo.

INSTALACIONES DIVERSAS: En la mayoría de las instalaciones ya sea deportivas, recreativas, industriales, de bombeo, portuarias, minas, lumberas, mojonera, pistas de carreteras, cementerios, plantas generadoras, presas, rasgos arqueológicos, tanques, funicular, túnel, etc.

El departamento de clasificación de campo indicará los atributos y las entidades correspondientes, serán extraídos de acuerdo al análisis visual de la imagen, apoyándose con las fotografías para ver en tercera dimensión y definir la ubicación correcta.

ZONA ARENOSA: Esta entidad está incluido en el archivo vctorial y son modificados total o parcialmente de acuerdo al análisis visual y de fotografías.

Hasta aquí se encuentran incluidos todos y cada uno de los elementos y rasgos geográficos que se encuentran en las cartas topográficas a escala 1:50 000 y 1:250 000. Ya que se ha terminado de hacer la extracción de los rasgos y las modificaciones de acuerdo al análisis de las ortofotos, con ayuda de la visión estereoscópica y la información contenida en el positivo sumado, el paso siguiente es el proceso de codificación.

CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este proceso consiste en la revisión y codificación de los rasgos topográficos actualizados que se lleva a cabo mediante el análisis de la información de clasificación de campo y la fotointerpretación.

Una vez terminada la extracción, se realiza una inspección visual, y a través de la calibración de la tableta con el archivo para verificar que la información existente en el positivo sumado de clasificación de campo quede totalmente incluido en el archivo corregido ya actualizado.

El proceso siguiente es la fase de estandarización, que en otro momento sería la corrección o edición de líneas, puntos y áreas que no hayan sido bien trazadas, lo cual consistente en cinco pasos:

ESTANDARIZACIÓN

- Cierre matemático de áreas (proceso en donde se verifica que los rasgos estén cerrados, es decir que los rasgos lineales deben estar conectados en los segmentos apropiados).
- Construcción de áreas (todas las entidades de área están abiertas o incompletas).
- Estructuración de áreas (proceso para crear y validar todas las relaciones del archivo de acuerdo a las especificaciones de la BDG., conexión y compartición)
- Ligas entre archivos de cartas adyacentes (se refiere a la continuidad de todos y cada uno de los elementos de una carta con los archivos adyacentes, ya sea N-S o E-W).
- Estandarización final. (todos y cada uno de los elementos quedan conectados, compartidos y estrechamente ligados a las entidades correspondientes con la asignación de un número único a todas las entidades de área). El ultimo proceso es el control de calidad.

CONTROL DE CALIDAD

- Exactitud (es la cualidad de la carta cuyo error gráfico será el mínimo).
- Veracidad (se proporciona por el departamento de fotogrametría y Clasificación de Campo).
- Calidad (es la correcta representación y se dará cuando no existan incongruencias entre la actualización y la clasificación de campo, en un lapso corto de tiempo)
- Actualidad (esta en función de la toma de fotografías y la edición de la carta)
- Validación (ya terminada la carta, se realiza una inspección visual y cerciorarse de que cuente con los elementos actualizados).

En el caso de la actividad referente a la actualización de la carta topográfica escala 1:50 000 y 1:250 000, la Subdirección Regional tiene un programa de trabajo para el caso de la carta 1: 50 000 se realizan un total de entre 23 y 27 cartas topográficas por año, en tanto que para la carta topográfica 1:250 000 se realizan 11 cartas, programa que fue cubierto totalmente en el año 1997.

Considerando que el territorio nacional tiene un cubrimiento de 2300 cartas a escala 1:50 000, en tanto que para la carta topográfica 1:250 000 un total 122 cartas ya elaboradas, surgió la necesidad de llevar a cabo la actualización, solo se tomaron en cuenta las áreas que presentan una gran dinámica, en cuanto a los elementos que las componen, es decir aquellas zonas o áreas que presentan cambios constantes y son presentadas como prioridades:

Cartas de alto desarrollo (se encuentran las grandes ciudades y el área metropolitana de la Ciudad de México)

Cartas de mediano desarrollo (las que presentan cambios en un tiempo relativamente corto de tiempo)

Cartas de bajo desarrollo (las que presentan cambios en un tiempo no apreciable de tiempo, aunque en la realidad la mayoría de las cartas actualizadas en la subdirección Regional Centro presentan información muy importante para ser analizada, ya que es de interés para la población en general.

En el caso de las cartas que se consideran de alto desarrollo, su actualización se realiza cada 5 años, el segundo cada 10 y el tercero cada 15 años.

Las primeras cartas de alto desarrollo, con que se inicia el proceso de actualización digital en el año 1994, son las cartas que cubren el Valle de México y son:

E14A19, E14A29, E14A39, E14A49, E14BII, E14B21, E14B31, y E14B41.

Se anexa un ejemplo de listado de programa de trabajo para un año.

Para actualizar la carta Ciudad de México, esta carta presenta una problemática, se lleva más de 2 meses trabajada los dos turnos para ser actualizada, esto se debe a la gran cantidad de información que contienen los archivos.

En tanto que las cartas son clasificadas de bajo, mediano y alto desarrollo y el tiempo estimado para ser actualizadas va de 20, 30 y 40 días hábiles y más.

Para el caso de la carta 1:250 000 se realizan 11 cartas por año entre los dos turnos o bien una carta cada 2 meses por turno, tal programa fue cubierto en su totalidad.

Actualmente se está llevando a cabo la actualización de la nueva edición de la carta Ciudad de México a escala 1:50 000, la diferencia es que se está realizando con una nueva modalidad de software, con el AUTOCAD MAP 2000, en donde el tratamiento de la información tiene otro procedimiento. Diferente a lo que es Lites, el objetivo es que con las herramientas que contiene, para extraer la información, cada subdirección regional genere sus propias necesidades de trabajo y no depender de la Dirección General de Geografía.

El resultado del proceso de actualización digital tanto a nivel regional como general, deriva un listado de productos, los cuales se ven reflejados por costos reducidos así como el tiempo para la extracción de información

Análisis y Conclusiones

En el análisis de la información, así como del procedimiento, en el proceso de actualización cartográfica, quiero tratar algunos aspectos, que desde mi particular punto de vista, no son tomados en cuenta en los lineamientos establecidos por las autoridades correspondientes y por ende por la Base de Datos Geográficos BDG.

Porque si bien, se considera que la información que contiene la carta topográfica, se encuentra realizada con un alto grado de precisión, según las normas establecidas en los procesos de extracción de información fotogramétrica por métodos tradicionales de restitución, con un margen de error de ± 3 metros para la carta 1:50 000. En el proceso de actualización digital este criterio no se toma en cuenta, un ejemplo muy importante es el caso de las áreas urbanas.

En este caso, específicamente la carta Ciudad de México en donde las calles de primer orden, segundo, tercer y cuarto orden, se trazaron como líneas paralelas y perpendiculares, las cuales forman una retícula y pierden la precisión y para efectos de levantamientos topográficos posteriores no se puede tomar en cuenta este documento.

De forma explícita, es una calle de primer orden:

El Anillo Periférico, la Av. Insurgentes, Av. Zaragoza, Av. Congreso de la Unión, Av. Gran Canal, el Viaducto, en donde en algunos tramos de estas avenidas tienen un ancho que va desde 40 m hasta más de 80 m y no puede ser trazada como una calle cuya dimensión general es de 10 m de ancho. Para mí es una inconsistencia muy importante y por lo que para estos casos particulares, carece de veracidad el documento, y creo que se debe realizar por medio de equipos de restitución, y una solución pronta para que tal documento cuente con la veracidad permitida.

Otro aspecto se refiere a la ubicación de camellones, en donde se consideran como áreas verdes urbanas (jardines, bosques), ya que las calles separan manzanas, en un camellón dos calles paralelas y dos perpendiculares son trazadas como manzana, lo cual no es lógico.

Pero hay otros aspectos importantes que se deben destacar ya que se encuentra información que podría ser explotada al máximo y ser utilizada por otras dependencias de gobierno o por la propia iniciativa privada.

Dicha información se podría manejar como vendida, transferida o intercambiada, un ejemplo de aplicación es con respecto a información de interés económico para los gobiernos tanto federales como estatales es en cuanto a la recaudación de impuestos del catastro rural y urbano ya que se cuenta con equipo tecnológico, así como con el personal calificado.

Otro ejemplo es con respecto a líneas de transmisión (telegráficas, telefónicas, eléctricas) pueden ser utilizadas como layers (capas), es el caso de TELMEX, LADAFON, UNEFON, que utilizan esta información para generar una red de líneas conducción de fibra óptica, en todo el país y una red general, a escala internacional.

Aunque para fines de inventario de recursos naturales y prevención de desastres, la carta topográfica representa un documento de gran utilidad; como es el caso de los problemas de inundación que se presentaron con el desbordamiento del río Conchos en Veracruz y Tamaulipas, la inundación del valle de Mezquitlán, el desbordamiento del río Tula, en Hidalgo, el desgajamiento de cerros como es el caso de los estados de Puebla, Hidalgo, Estado de México o los asentamientos de población en los causes naturales de ríos como el caso de los Estados de Tabasco, Chiapas, Nuevo León y el caso del río Santa Catarina que si se analiza la carta topográfica con respecto a las curvas de nivel y principales escurrimientos, se obtendrían muy buenos resultados para la prevención de desastres creo que es más fácil analizar la información

que contiene la carta ya que el costo de una carta es de 25 pesos, en tanto que la reconstrucción de daños causados por los efectos de las tormentas, que se presentan año con año, va más allá de millones y millones de pesos además del temor de la población al vivir la situación de ser arrastrados sin poder tener algún control sobre la naturaleza.

Es importante destacar que no es solo el caso de Nuevo León con los efectos de Gilberto sino también Paulina en Guerrero, Oaxaca, Chiapas, el Huracán Isidore en Merida, Quintana Roo, Tabasco, Campeche o de Kena, en Michoacán, Jalisco, Tepic, Coahuila, etc. Así mismo estos efectos también se han presentado en Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, etc. Y el principal problema es que la población construyó sus viviendas en, o cerca de los causes naturales de ríos, así como el establecimiento en zonas sujetas a inundación.

No faltan los casos para mencionar tales efectos, lo mismo es de considerar para el área metropolitana, ya que no nos salvamos de tales situaciones, basta contar con más de 12 horas de lluvia continua para que se presenten casos de inundación es importante recordar que existen zonas sujetas a inundación como es el caso de Chimalhuacan, en el municipio de Nezahualcoyotl, o causes naturales de ríos como el Río Hondo, (en el año 1993), que provoco grandes problemas en la zona de la Herradura, Las Lomas y Tecamachalco, que son zonas de un alto nivel económico y cuyas construcciones se realizan a prueba de todo, en la realidad la naturaleza actúa y provoca muy lamentables consecuencias. Ahora bien que efectos se da en la población cuyas viviendas no cuentan con materiales muy resistentes, lo que hace el río es arrastrar gente.

Otros casos importantes de mencionar es el río Mixcoac, Magdalena, el río Becerra, el de Los Remedios que los efectos provocados son principalmente en problemas de vialidad causados por inundaciones, y para el caso principalmente de la Delegación Cuajimalpa y el límite con el municipio de Huixquilucan los efectos son el deslave de cerros, cuya cubierta vegetal era de bosques y cuyos suelos no son aptos para la construcción, entonces la falta de planeación y estudio del medio tiene como consecuencia el establecimiento de la mancha urbana en zonas inadecuadas para la vivienda y algunas de las consecuencias vividas así como la alteración de ecosistemas lo cual provoca graves consecuencias económicas para la población y principalmente para los gobiernos tanto federal como estatal.

Pero no todo es tan grave, bastaría solo analizar las cartas topográficas, así como las fotografías aéreas e imágenes de satélite, tanto en escuelas como oficinas de gobierno para saber en que situación se encuentran los principales causes de ríos, que relación se tiene con la población, con que infraestructura cuentan, cual es la utilidad que se da a los diferentes tipos de suelo, con que recursos naturales cuenta la población, etc. Y los resultados y opiniones darían como consecuencia una gran diversidad de puntos de vista que pueden ser aplicados y así, evitar tales eventos que favorecerán a la población civil.

Así se espera que de alguna manera este trabajo o análisis sea considerado y de algún modo tomarse en cuenta la humilde opinión para situaciones de planeación y principalmente en la prevención de desastres, ya que el uso y manejo de los diferentes productos cartográficos como la presentación de la carta topográfica en papel o digitalmente, en cinta magnética o disco compacto, representa una información de muy alto valor económico,

Así mismo, la utilización y empleo de fotografías aéreas e imágenes de satélite en cualquier ámbito ya sea económico, político o social, representa una información con un valor incalculable y por ende una herramienta fundamental para el desarrollo de profesionales en el área de ciencias de la Tierra, principalmente en Geografía.

Resultados obtenidos en el proceso de la actualización digital.

Como se ha ido mencionando, a lo largo del desarrollo de este tema, la actualización de la carta topográfica a escala 1:50 000 y 1:250 000, en la Dirección Regional Centro se ha ido realizando de acuerdo a los programas de trabajo que se asignan cada año. Cabe mencionar que ya se cuenta con el programa que corresponde a la actualización de la carta topográfica 1:250 000 cubierto en su totalidad, siendo en total de 122 cartas en el año 1997, tanto en formato cartográfico de 1° de latitud por 2° de longitud, como en formato digital en disco compacto.

En tanto que para la carta topográfica 1:50 000, se tiene un programa aproximado de entre 25 y 27 cartas por año. Así si se hace un recuento del avance que se tiene hasta el momento 27×10 (el número de regionales), entonces se actualizan 270 cartas por año.

Si partimos de que el programa de modernización se inició en el año 1994, entonces:

270×7 (hasta 2001, tiempo en que forme parte del programa de actualización).

Entonces se tiene un total de $270 \times 7 = 1890$ cartas topográficas actualizadas hasta el año 2001.

Así, si el total de cartas que cubre la República Mexicana es de 2300, lo que equivale al 100%, entonces las 1890 cartas corresponden al 83%, lo que implica que la información se está realizando en un lapso de tiempo favorable, con respecto a como se elaboraba la cartografía en el pasado, con tales resultados se demuestra la gran importancia que tienen los avances tecnológicos en combinación con las técnicas de elaboración cartográfica, y por ende los resultados y productos obtenidos favorecen al desarrollo de nuestra nación para mantenerse a la vanguardia en el desarrollo internacional.

En conclusión, los resultados obtenidos se pueden resumir de la siguiente manera

- Se cuenta con más del 80% de cartas escala 1:50 000 actualizadas, las cuales se presentan en formato cartográfico o digital (cinta magnética o disco compacto), con un cubrimiento cartográfico de 15' de latitud por 20' de longitud, lo que equivale a 27.7 km de latitud por 37km de longitud (se parte del valor en unidades lineales que tiene $1^\circ = 111\text{km}$).
- El total de cartas topográficas a escala 1:250 000, ya actualizadas en formato cartográfico o digital y un cubrimiento de 1° de latitud por 2° de longitud.
- El cubrimiento cartográfico a nivel nacional en un tiempo relativamente corto y de bajo costo, tomando en cuenta el grado de dificultad de la información de las cartas :alto, bajo y mediano desarrollo.
- Manipulación y acceso a la información obtenida.
- Se tiene referencia al Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG).
- Se tiene referencia al Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA).
- Se cuenta con información que garantiza la confiabilidad de sus productos y que reflejan el estado actual del espacio geográfico.
- Se cuenta con vuelos existentes que facilitan la comparabilidad de la información y su comparabilidad.

- Se cuenta con la comunicación interactiva de imagen y computadora.

Y los productos obtenidos son:

- La información existente para la derivación de nuevos productos.
- La fotografía aérea como materia prima en los levantamientos fotogramétricos
- Buena calidad de las fotografías aéreas
- Control terrestre actual, derivado para otros proyectos de carácter privado.
- Modelos Digitales de Elevación.
- Presentación de imágenes de alta calidad en forma analógica o digital.
- Productos derivados de la fotografía aérea, etc.

En general, se puede concluir que gracias a la innovación tecnológica, al desarrollo de sistemas, a la experiencia en producción cartográfica y la capacidad operativa; se logra el cambio de la fotogrametría tradicional a la fotogrametría digital.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

Bibliografía

- American Society of Photogrammetry Manual of Photogrammetry. USA, 4th Edition 1980
- Caire Lomeli, J. Fotogrametría. 1 Ed. Rodríguez México 1977.
- García Tejero F, Domínguez Topografía General y Aplicada. Ed. Dossat, 5a Ed Madrid, España 1968.
- Keim Jean A. Historia de la Fotografía. OikosTau (Colección Que se No 52), Barcelona, España 1971.
- Memorias del 9o Congreso Nacional de Fotogrametría, Fotointerpretación y Percepción Remota. México, 1992.
- Milton, O Schmidt Ph D. Fundamentos de Topografía. Ed. Continental México.
- Morales, Wing Ernesto. Fotogrametría Aérea Aplicada a la Geología. Tesis. UNAM 1984.
- Nava, Díaz Arturo. Redacción de Tesis. México Sistema de Universidad Abierta. UNAM 1980.
- Caire, L. J. La Proyección Cartográfica para la República Mexicana. UNAM 1986.
- Lira, J. La Percepción Remota. SEP, CFE, CONACYT. México. 1987.
- IPGH. Revista Cartográfica. No 57. México 1990.
- IPGH. Revista Cartográfica. No 59. México 1991.
- INEGI, Proceso de Extracción-Codificación. México 1995.
- INEGI. Curso de Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. México 1999.
- Tamayo, J. L. y Alcorta R. Catálogo de Exposición de la Cartografía Mexicana. No. 59. IPGH 1941.
- Schwidofsky, Dr. K. Fotogrametría Terrestre y Aérea. Madrid 1948.
- Estrada, E. J. M. Primer Curso de Fotogrametría. IPN 1992.
- INEGI. Integración de la Información Geodésica en una Base de Datos. Boletín 1993.
- INEGI. Revista Vértices 1993.
- INEGI. Manual de Actualización Cartográfica. México 1992.
- INEGI. Manual de Conceptos Básicos. México 1992.
- INEGI. Curso de Introducción a la Fotogrametría. México 1996.
- INEGI. Curso de Introducción a la Fotointerpretación y Fotoidentificación. México 1996.
- INEGI. Sistemas de Información Aerofotográfica. México 1985.
- Hernández, F. H. Tesis. IPN. 1982.
- Chuvieco, E. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp. España 1996.
- Jena, C.Z. Revista Jena. 1985/2.