



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

“FOTOGRAFIA AEREA”

Tesis para optar al título de:
Constructor Civil

Profesor Patrocinante:
Sr. Heriberto Vivanco Bilbao
Ingeniero Comercial
Constructor Civil

RODRIGO ANDRES NEIRA RICOUZ
VALDIVIA – CHILE
2005

INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I: "CARTOGRAFIA".....	4
1.- El Mapa.....	4
1.1.- ¿Que es un Mapa?	
1.2.- Tipos de Mapas.	
1.3.- ¿Que es la Cartografía?	
1.4.- Cartografía y Geografía.	
2.- Evolución Histórica.....	8.
2.1.- Precursores.	
2.2.- Desarrollo en Oriente.	
2.3.- Antigüedad Clásica.	
2.4.- Edad Media.	
2.5.- El Renacimiento.	
2.6.- Cartografía Moderna Siglo XVIII.	
2.7.- Siglo XIX	
2.8.- Siglo XX	
3.- Formas y Dimensiones de la Tierra.....	18
3.1.- Geoide.	
3.2.- Coordenadas Geográficas:	
3.2.1.-Paralelos y Latitudes	
3.2.2- Meridianos y Longitudes	
3.2.3- Posiciones y Direcciones	
3.2.4- Rosa de los Vientos	
4.- La Escala.....	23
4.1.- La Escala	
4.2.- Expresión de la escala grafica	
5.- Sistemas de Proyecciones.....	25
5.1.- Superficie de Proyección	

6.- Mapa Topográfico.....	28
6.1.- Conceptos	
6.2.- Representación de las curvas de nivel	
6.3.- Tipo de relieve	
6.4.- Perfil Topográfico	
6.5.- Interpolación	
6.6.- Pendiente	
7.- Teledetección.....	30
7.1.- Introducción	
7.2.- Los sensores	
CAPITULO II: "FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION"	36
1.- Definición.....	36
2.- Historia y evolución de la fotogrametría.....	37
3.- Clasificación de la fotogrametría.....	44
4.- Teoría de la fotogrametría.....	44
5.- Comparación entre una fotografía y un mapa.....	49
6.- Elementos de una fotografía aérea.....	51
7.- Clasificación de las fotografías aéreas.....	55
8.- Estereoscopia.....	57
8.1.- El mecanismo de la visión estereoscópica	
9.- Cámaras Fotogramétricas.....	63
10.- Aviones Fotogramétricos.....	70
11- Datos que aparecen en las fotografías aéreas.....	71
12.- Ventajas y desventajas de la fotografía aérea.....	72

CAPITULO III: "EL VUELO FOTOGRAMETRICO"	74
1.- Especificaciones Técnicas.....	75
2.- Factores importantes.....	76
3.- Escala de la fotografía.....	76
4.- Planificación de un vuelo Fotogramétrico.....	81
4.1.- Abarcamiento total de cada foto en el terreno	
4.2.- Distancia entre líneas de vuelo	
4.3.- Avance entre foto y foto	
4.4.- Cantidad de líneas de vuelo	
4.5.- Cantidad de kilómetros lineales	
4.6.- Cantidad de fotos	
4.7.- Cantidad total de fotos	
4.8.- Cantidad de metros de película	
4.9.- Cálculo de tiempo de vuelo directo	
4.10.- Cálculo de tiempo de vuelo indirecto	
4.11.- Total de tiempo de vuelo	
4.12.- Cálculo de la altura de vuelo	
4.13.- Cálculo de la altitud promedio del terreno	
4.14.- Altura indicada	
4.15.- Error máximo de navegación	
4.16.- Rumbo magnético de cada línea de vuelo	
4.17.- Hora fotogramétrica	
4.18.- Hora local fotogramétrica	
4.19.- Carpeta de vuelo	
5.- Factores adversos.....	89
6.- Control de calidad.....	89
7.- Inspección de vuelo.....	90
8.- Control de vuelo.....	92
9.- Producto fotográfico.....	95
10.- Índice de vuelo.....	96

CAPITULO IV: "SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA Y FOTOGRAMETRIA DIGITAL"	98
1.- Sistema de Información Geográfica.....	98
2.- Sistema Global de Posición.....	103
2.1.- Historia del GPS	
2.2.- El GPS Hoy	
2.3.- Descripción del Sistema GPS	
3.- Fotogrametría Digital.....	112
3.1.- Desarrollo de la fotogrametría	
3.2.- Estaciones Fotogramétricas digitales	
3.3.- Aplicaciones fotogrametría digital	
3.4.- Consideraciones sobre cámaras fotogramétricas aéreas digitales	
3.5.- Estéreo correlación automática	
3.6.- Imagen fotográfica y sus productos	
CONCLUSIONES.....	122
BIBLIOGRAFIA.....	124

RESUMEN

Esta tesis es una monografía, sobre la Fotografía Aérea, en la cual se dará a conocer sus orígenes, evolución y los principios que la rigen, pero sobre todo, el gran aporte que ésta puede entregar al área de la ingeniería y construcción, ya que es una herramienta que nos entrega una completa información del terreno y con eso tomar la mejor decisión en términos de funcionalidad y economía de un proyecto, sea ésta una carretera vehicular, línea férrea, el estudio de una central hidroeléctrica, etc. Además se puede utilizar para la inspección y entrega de avances de obra en un loteo y como lo han hecho una serie de municipios, para ayudar a elaborar el Plan Regulador Comunal (PRC), en fin es una herramienta que va tomando una importancia cada vez más protagonista en área de estudios ingenieriles.

SUMMARY

This thesis is a monograph, on the Air Photography, in which will bring themselves to light their origins, evolution and the principles that govern it, but mainly, the great contribution that this can make to the area of engineering and construction, since it is a tool that gives one complete information to us of the land and thus to take the best decision in terms from functionality and economy of a project, be a this highway to vehicular, railway line, the study of a hydroelectric power station, etc. In addition it is possible to be used for the inspection and delivery of work advances in a loteo and since they have made it a series of municipalities, in order to help to elaborate the "Plan Regulador Comunal" (PRC), in aim it is a tool that is taking an importance every time but protagonist in area from ingenieriles studies.

INTRODUCCION

El desarrollo de esta tesis tiene como objetivo, describir la Aerofotogrametría, ciencia que nos proporciona planos de grandes extensiones de terreno a partir de fotografías tomadas desde una aeronave, aprender las técnicas y soluciones que nos entregan dichas fotografías y como estas nos ayudan enormemente a desarrollar proyectos de ingeniería de gran envergadura, como son la proyección de caminos, vías férreas y aeropuertos, entre otros.

Además de las aplicaciones a otras ramas de estudio como lo son la geografía en que se utilizan para las representaciones cartográficas, catastros forestales, agrícolas, urbanos, etc., así como otras ramas de las ingenierías civiles. Estos temas serán tratados en forma cronológica, o sea se dará a conocer toda la evolución que ha tenido esta ciencia, comenzando desde el desarrollo de la cartografía hasta el uso de satélites artificiales.

Se puede agregar, además, que la Aerofotogrametría no excluye ningún detalle del terreno, en comparación con un levantamiento topográfico convencional, ya que al realizar este, el topógrafo solamente extrae los detalles necesarios para desarrollar el proyecto de ingeniería determinado a realizarse en dicho sector. De esta manera la fotogrametría y la topografía son la amalgama perfecta para realizar un completo estudio de un terreno.

Las fotografías aéreas están destinadas a proporcionar, de una manera sencilla, información sobre la superficie topográfica. Esta información, recogida gracias al registro sobre una emulsión sensible (película), por medio de una cámara fotográfica que capta las radiaciones emitidas por dichos objetos, sirven

de base para un examen que permite obtener ciertos datos, especialmente los relativos a su disposición en el espacio, gracias a la observación estereoscópica.

Pero la transmisión de esta información se hace a través de ciertos pasos intermedios, que influyen sobre el resultado final como: iluminación del objeto, radiaciones emitidas por algunos de sus puntos, marcha del rayo a través de la atmósfera hasta la cámara fotográfica, características de la cámara fotográfica, superficie sensible, su tratamiento, tirada de una copia positiva, instrumento de examen y el observador con sus características fisiológicas y psicológicas.

Además, se delineará la evolución la Cartografía a través del tiempo, ciencia que se encarga de la realización de cartas y mapas, tanto terrestres como marítimos; y de cómo la Aerofotogrametría facilita el estudio de la superficie de la tierra.

Por último daré a conocer las últimas tecnologías que se están utilizando para desarrollar planos y mapas con ayuda del SIG, el GPS y la Fotogrametría digital.

CAPITULO I: "LA CARTOGRAFÍA Y EL MAPA"

1. El mapa

1.1. ¿Qué es un mapa?

1.2. Tipos de mapas

1.3. ¿Qué es la cartografía?

1.4. Cartografía y Geografía

1.1. ¿Qué es un mapa?

Definiciones de mapa:

"Es una representación a escala, de la Tierra o parte de ella en una superficie plana, mediante la utilización de sistemas de proyección cartográfica. Los mapas fundamentales, que sirven de base para la confección de los restantes, son los topográficos a gran escala (1:25000 o 1: 50000), que constituyen la cobertura cartográfica de la mayoría de los países civilizados."

El mapa es un medio de comunicación, abstracción de la realidad que se utiliza para almacenar, analizar y comunicar información sobre la localización, atributos e intervenciones de los fenómenos físicos y sociales que se distribuyen sobre la superficie terrestre.

- Escala: Línea recta dividida en partes iguales que representan metros, kilómetros, leguas, etc., y sirve de medida para dibujar proporcionalmente en un mapa o plano las distancias y dimensiones de un terreno, edificio, máquina u otro objeto, y para averiguar sobre el plano las medidas reales de lo dibujado.

- **Sistemas de Proyección:** Esta técnica se basa en el concepto de proyección de un punto sobre un plano, para reducir así, sus tres dimensiones del espacio a las dos dimensiones correspondiente en un plano. Los sistemas de representación han de cumplir el principio de **reversibilidad**, es decir, que utilizando un sistema de representación podamos representar un cuerpo del espacio sobre el plano, y partiendo de dicha representación lo podamos reconstruir en el espacio.

Del concepto de proyección desde un punto sobre el plano, se derivan los tres tipos de proyecciones. Si el punto desde el que se proyectan los elementos del espacio sobre el plano es propio entonces, el tipo de proyección es cónica, pero si no comienzan de un punto en común será cilíndrica. La proyección cilíndrica puede ser ortogonal u oblicua dependiendo si el rayo proyectante sea perpendicular u oblicuo al plano de proyección.

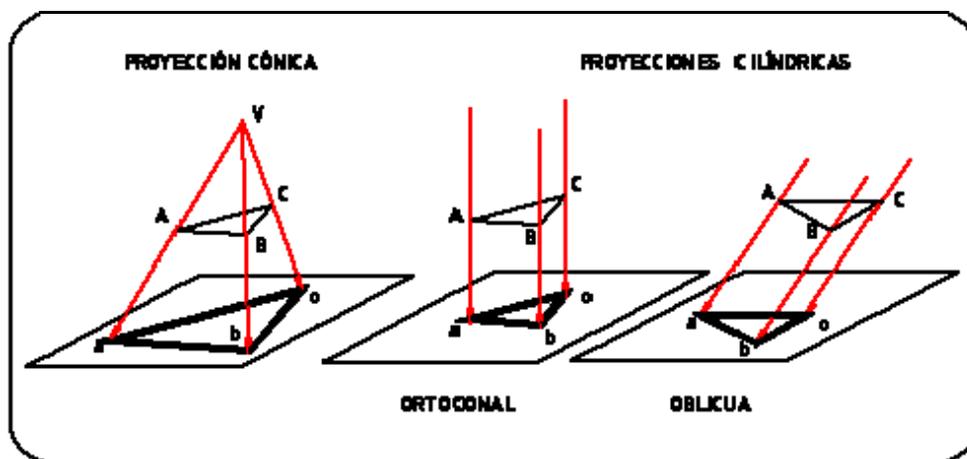


Figura 1

En el Sistema Diédrico se proyectan los elementos del espacio, utilizando la proyección cilíndrica ortogonal, sobre dos planos que se cortan perpendicularmente formando un diédro rectángulo (Fig. 2).

Para que las proyecciones de los elementos del espacio queden representadas sobre un único plano de proyección, que coincida con el plano del dibujo, se abate el plano Horizontal hasta hacerlo coincidir con el Vertical (Fig. 3). De esta manera, tendremos representado el espacio tridimensional sobre un único plano.

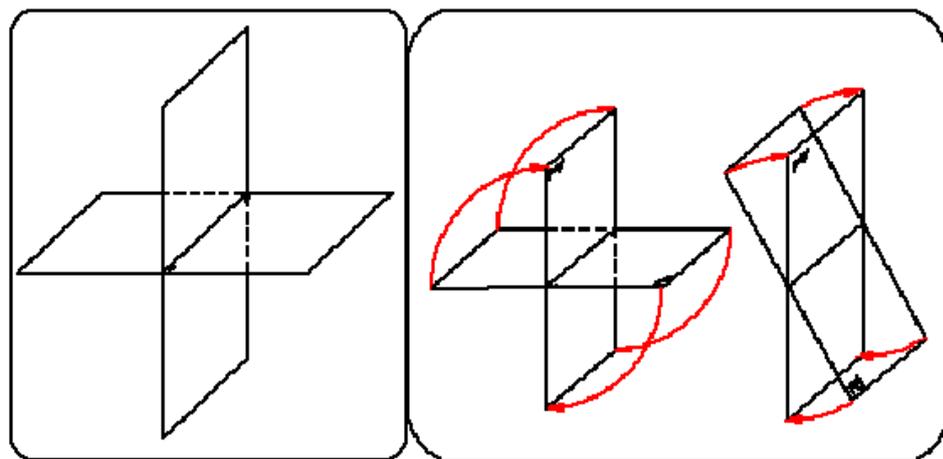


Figura 2

Figura 3

1.2. Tipos de mapas

Mapas topográficos, se usan para mostrar la localización de la topografía e hidrología, incluyen asentamientos, límites administrativos, red de comunicaciones y otros elementos culturales, representa a escala el terreno.

Mapas temáticos, representan información sobre cualquier terreno, distinguimos entre ellos a los mapas físicos como los mapas de relieve, litológicos, del suelo, de vegetación y climáticos.

1.3. ¿Qué es la cartografía?

Es el arte y ciencia de confeccionar mapas, en un principio la cartografía realizaba el estudio de los mapas y no la confección, actualmente se realizan las dos. Según Robinson et al 1987 ⁽¹⁾ “La Cartografía es el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen a partir de los resultados de observaciones directas o de la explotación de una documentación con el fin de elaborar mapas, planos y otros modos de expresión así como su utilización.” Incluida en Robinson, A.H. et al., 1987.

La tarea del cartógrafo es la recopilación de información, selección, análisis y la elaboración final del mapa.

1.4. Cartografía y geografía

“La relación entre la cartografía y la geografía es: el mapa que constituye una fuente de información y de comunicación, la cartografía se convierte en un elemento de análisis. La cartografía es el medio de comunicación que tiene la geografía de expresarse.”

(1) Elementos de cartografía. Capítulo 2 páginas 20-36, Robinson et al 1987

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

2.1. Precursores

2.2. Desarrollo en Oriente

2.3. Antigüedad clásica

2.4. Edad Media

2.5. El renacimiento

2.6. Cartografía moderna S. XVIII

2.7. S. XIX

2.8. S. XX

La historia de la Cartografía es un reflejo de la actividad cultural de una sociedad, los documentos cartográficos representan el mundo en cada época histórica.

La Cartografía crece de manera desigual a través de la historia, a la par con la evolución de las distintas civilizaciones que han prosperado en nuestro planeta. Así los avances cartográficos conseguidos por la Civilización Griega llegaron a niveles de perfección que no volvieron a ser igualados hasta el siglo XV durante el Renacimiento, después durante la Revolución Industrial tuvo un desarrollo mayor hasta llegar ahora al uso de GPS y Satélites artificiales para la ubicación de cualquier punto del planeta. De esta manera, los avances en la Cartografía están ligados al progreso científico y al desarrollo de instrumentos a través de la historia como el Gnomon (Instrumento utilizado para calcular la altura del sol sobre el horizonte), la Brújula (Instrumento que determina el Norte Magnético), el Podómetro (que mide distancias y pasos), el Sextante, Telescopio

y otros. Los avances científicos en otras ciencias como Matemáticas, Geodesia, Topografía, Estadística, Informática, y Diseño... La invención de la imprenta revolucionó la cartografía.

2.1. Precursores

Destacamos entre las sociedades primitivas:

-Los indígenas de la Islas Marshall (ubicadas al Noreste de Australia en el Océano Pacífico) usaban cartas marinas que se realizaban sobre una entramado de fibras de caña, siendo este uno de los mapas primitivos más interesantes, ya que está dispuesto de tal modo que muestra la posición de las diferentes islas que forman el archipiélago. (2)

- Imperios Precolombinos, el arte de la cartografía también se desarrolló en las civilizaciones Maya e Inca. Los Incas, en el siglo XII d.C., trazaban mapas de las tierras que conquistaban.

2.2. Desarrollo en Oriente

En Mesopotamia, región ubicada en Asia Menor, ubicada entre los ríos Tigris y Eufrates, floreció la civilización Acadea (2500 a 2100 A.C), cuya escritura era cuneiforme y que realizaban Cartografía en tablillas de barro cocido, destaca en sus tablillas el mapa más viejo del mundo data de 2.500 a. C. que representa la ciudad de Ga-Sur. Es frecuente la existencia de un significado religioso a la hora de confeccionar un mapa debido a que los gobernantes de las culturas ancestrales, quienes solicitaban los mapas, eran considerados el puente entre los dioses y los humanos, por eso la necesidad de identificar el territorio que sus deidades les habían entregado.

(2) más información en <http://www.mgar.net/var/cartogra.htm>

En Asia Oriental, aparecen mapas del año 1.700 A.C. Existen mediciones del territorio en China, que eran contemporáneos a la de los Jónicos. Las aportaciones de la Cartografía China es que conocían el sistema rectangular de rejilla, como una cuadrilla, que fue introducida por el astrónomo Chang Heng en el siglo II A.C. En el siglo III A.C, Phei Hsiu (271-224 A.C.) considerado el padre de la cartografía china, preparó un manual de los principios de la cartografía tales como escala, rejillas, distancia, dirección y elevación. Los chinos conocían los principios de la geometría y los instrumentos de medición como el Gnomon y la Brújula. (3)

2.3. Antigüedad clásica

En la Civilización Griega, fueron los sabios cosmógrafos, astrónomos y matemáticos los que establecieron las primeras directrices para la representación científica de la superficie terrestre. Destacan Anaximandro y Hecateo, que enlazan con las tradiciones babilónicas, pero, sobre todo, la figura de Eratóstenes, quien dividió la Tierra en meridianos y paralelos aunque únicamente trazados sobre lugares bien conocidos y a intervalos irregulares. Se cree que el primer mapa que representaba el mundo conocido fue realizado en el siglo VI a.C. por el filósofo griego Anaximandro, tenía forma circular y mostraba el mundo conocido agrupado en torno al Mar Egeo y rodeado por el océano

(3) <http://members.tripod.com/MGRassociates/Carto1.htm>

Aporte de los griegos a la Cartografía (4):

- Incremento de los conocimientos geográficos del mundo conocido, viajes de Alejandro Magno a Oriente y de Pitheas Masaliota al norte de Europa.
- La obra de Claudio Ptolomeo escrita en el siglo II, A.C, llamada “Geographia” son ocho libros con mapas con instrucciones para hacer proyecciones cartográficas, da sugerencias para dividir el mapa del mundo en mapas sectoriales, recoge 8.000 lugares con sus coordenadas geográficas, el atlas contiene 26 mapas parciales y un mapamundi, en estas proyecciones va a aparecer el mundo dividido en zonas. El mapa de Ptolomeo representa la tierra entre dos meridianos que se extiende desde las islas Canarias a China, el mar Mediterráneo tiene una longitud exagerada, llega a las islas británicas aparecen Asia y África unidas y el Océano Indico como un mar cerrado.

Durante la Época Romana, el aporte a la Cartografía no es tan importante, ya que los romanos no eran astrónomos, ni matemáticos, no utilizaban proyecciones ni coordenadas, esta civilización era más práctica y utilizaba los mapas con fines militares. Una de las obras más características es “Tabula Peutingeriana” del siglo IV, no se trata de un mapa sino de un cartograma (esquema) representativo del mundo romano, es alargado de 6,5 m. de largo y 30 cm. de ancho. Se anotan las distancias de un lugar a otro, Roma se encuentra en medio y de ella salen diferentes rutas y puertos militares.

(4) <http://www.mgar.net/var/cartgrie.htm>

2.4. Edad Media

Durante la Edad Media, la Cultura Islámica actúa como transmisora de las ideas griegas, pero en el mundo de Occidente (Europa Feudal) estaba en una edad oscura, debido a la lucha de la Iglesia Católica contra el paganismo, así el legado greco-romano queda en el olvido, dejando la ciencia cartográfica escondida, pero en etapa final de la Edad Media (siglo X-XV), se produce la consolidación de la cristiandad, crecimiento de las ciudades y descubrimiento de trabajos cartográficos de autores islámicos.

Aportes de la cultura islámica:

Los árabes tenían un gran interés por la astronomía, eran matemáticos y astrónomos, se trataba de un pueblo viajero que mantenía contactos con otras culturas y territorios.

Destaca el cartógrafo Al-Idrisi, quien trabajó en la corte del rey normando Roger II en Sicilia, este le encomendó la labor de elaborar mapas de todos los lugares conocidos. La obra consta de 70 hojas, tardó 15 años Al-Idrisi en confeccionarlo, la obra se llama "*Tabula Rogeriana*" en honor a quien ordenó su confección, va acompañada de un mapamundi circular, en el cual se realiza proyecciones rectangulares y se dividen los territorios por climas, una característica común es que el mapa está orientado al Sur. El autor corrige errores de Ptolomeo; África y China aparecen separadas, el Mar Caspio y el Mar de Aral aparecen por primera vez en los mapas.

En el mundo occidental: la cartografía simbólica cristiana. Aparecen mapas climáticos divididos por zonas, estos mapas están dentro de libros religiosos y pasa de ser circular a ser oval.

Destacan dos obras:

-El mapa de Ebstorf (1235), es un retablo de 30 hojas de pergamino de 3,6m. x 3,6m. se conservaba en un monasterio y fue destruido por la Segunda Guerra Mundial y reconstruido a partir de los datos. El mapa era circular con Jerusalén en el centro, el mapa está representado sobre la figura de Jesús crucificado la cabeza la tiene orientada hacia el este y los pies hacia el oeste.

-El mapa de Hereford (1300), es un retablo, parecido al mapa de Ebstorf, con Jerusalén en el centro, aparece representado el juicio final con Cristo en medio en la parte de arriba. (Fig. 4)

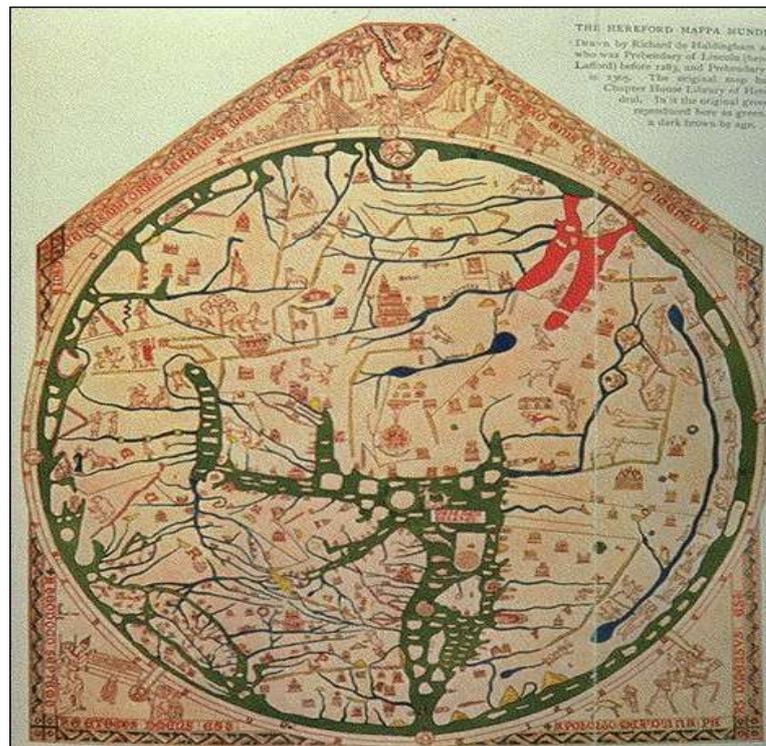


Figura 4

La cartografía medieval en el siglo XIV, aparecen los “mapas portolanos” que son cartas marinas con finalidad comercial, ahí se indican las líneas de costa del Mar Mediterráneo y sus puertos, pero no hay mayor información de las tierras al

interior de los continentes, surgen debido a la gran actividad comercial marítima de la época. La primera carta marina que se conserva es la Pisana del año 1300, es anónima, al parecer los genoveses serían los precursores de estos documentos. La carta Pisana representa el Mar Mediterráneo y el Mar Negro, la costa de Gibraltar es imprecisa, no aparecen coordenadas ni proyecciones, hay dos círculos que cubren la cuenca oriental y la occidental, aparecen puntos cardinales y las direcciones de los vientos.

2.5 El Renacimiento

Acontecimientos que influyen en la Cartografía de la época:

- Invención de la imprenta 1450 por Johannes Gutenberg,
- Ocurren dos acontecimientos marítimos, se da la vuelta al continente africano y se conquista un nuevo continente llamado América.
- Descubren la obra de Claudio Ptolomeo de Alejandría (siglo XV), cuando los turcos huyendo de su país llegan a Italia y traen consigo todos sus tesoros, entre ellos la obra de Claudio Ptolomeo llamada "*Geographia*".

Principales obras cartográficas del Renacimiento:

-El globo de Beheim en 1492, esfera de medio metro de diámetro, de madera cubierto de piel de vaca donde se dibuja el mapa, representa el viejo continente muy alargado, el entorno completo de África, aun no aparece América, el meridiano tiene 80° y aparece la Antártida, está pintado en colores, azul el mar, marrón la tierra, verde los bosques.

-El mapa de Juan de la Cosa en 1500, es el primer mapa conocido donde aparece representado el Nuevo Mundo, hay dos estilos de representación distintos, el viejo mundo con costas pálidas con nombres perpendiculares a la línea de costa y a la

izquierda aparece la fachada oriental de América con colores muy vivos y una escala superior a la del resto del mapa.

En esta época encontramos distintas escuelas, portuguesa, italiana, francesa etc. destaca la escuela holandesa, se caracteriza por su cartografía armónica, ordenada con una representación muy clara y buena, se ha llamado también “la cartografía de los sabios”, empiezan a realizar atlas y los mapas aparecen orientados con el norte hacia arriba.

Autores más importantes:

- Gerardus Mercator (1512-1594), es el primero en sustituir la letra gótica por la itálica, esto implica una claridad en el mapa, en sus representaciones reduce la longitud del mediterráneo, introduce la Proyección Mercator en sus mapas, la cual es la favorita de los marinos ya que las direcciones o rumbos magnéticos pueden trazarse en línea recta sobre el papel. En la Proyección Mercator los meridianos y paralelos se cortan en ángulos rectos. Los meridianos están a igual distancia, los paralelos se alejan hacia los polos, las tierras árticas aparecen exageradas. Corresponde a una proyección cilíndrica.

- Abraham Ortelius (1527-1598), destaca con su atlas llamado Theatrum Orbis Terrarum, primer atlas moderno de 53 mapas que representan todo el mundo conocido.

2.6. Cartografía moderna XVIII

La cartografía adquiere un aspecto científico así de ahora por delante será un fiel reflejo de la superficie terrestre.

Los aspectos que van a condicionar el mundo de la cartografía son:

-La perfección de la brújula,

-El invento del odómetro, conocido también como podómetro, que mide las distancias.

-El invento del reloj de Péndulo.

-El teodolito, se utilizaba a finales del siglo XVII, mide ángulos horizontales y verticales, que es la base de la cartografía.

-Avances matemáticos, en trigonometría, en logaritmos y sobretodo en triangulación.

-Levantamientos topográficos, el hombre va a poder medir el territorio.

Destacan los siguientes autores:

-El Italiano Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) por orden del Rey Luis XIV de Francia monta la Academia Royal (1689), un servicio topográfico encargado de realizar un Mapa Topográfico de Francia. Lo primero que hicieron fue una serie de mediciones para determinar la longitud, y saber lo que mide un grado de latitud, la longitud es mayor en latitudes altas que en bajas, los trabajos que impulsa la academia son expediciones para hallar la longitud de un grado de latitud para conocer el radio polar y el ecuatorial. Toda esta labor la finaliza el hijo de Cassini, llamado Giacomo, apodado "Casinni II" en 1793, con la publicación del libro "Carte Geometrique de la France", escala 1/86.400, de 182 hojas y 12x 12 m.

Características de este mapa:

- a) El territorio está triangulado y medido.
- b) La altimetría fue uno de los problemas peor resueltos, representa la altitud del territorio al menos en dos o tres niveles, mediante el sistema de "hanchures", que consiste en un sombreado del mapa y el proceso de su mejora se realizó en dos frentes: 1) su medida, donde contribuyó el

desarrollo del barómetro realizado por Torricelli, y 2) su representación, que pasó de las “hanchures” a las curvas de nivel.

-Edmund Halley (1656-1743), precursor de la cartografía moderna, era un astrónomo del observatorio de Greenwich, en 1686 publicó el primer mapa meteorológico del mundo.

2.7. Siglo XIX

Hechos históricos que influyen en el desarrollo de la Cartografía:

-La revolución industrial y el desarrollo del ferrocarril.

-Se realizan levantamientos topográficos para trazar las líneas ferroviarias.

-Aparecen los servicios geográficos nacionales en todos los países industrializados con el fin de hacer los mapas topográficos detallados de todo el territorio nacional.

-Se utilizan las curvas de nivel para representar el relieve.

-Al ser la época de colonización crece el interés por cartografiar los nuevos territorios.

-Uso de la litografía, así los mapas se imprimen a color, además se perfecciona la imprenta con lo cual aumenta la producción y se abarata el costo de producción de los mapas, lo que origina una mayor demanda de ellos.

-Se generaliza el uso del mapa como material didáctico, mapas estadísticos, catastrales, cartas hidrográficas.

-Aparecen los atlas nacionales como un gran volumen que contiene todos los datos de una nación, climas, relieve, economía etc.

2.8. Siglo XX

En la primera mitad de siglo: aparece la teledetección aérea, es la época en la que aumenta la demanda social de mapas, debido entre otras razones: al turismo, interés didáctico de las personas, y un interés de conservar y cuidar el territorio.

En la segunda mitad de siglo: aparece la teledetección espacial, se crean adelantos tecnológicos en el tratamiento de la información, esto hace que se hable de una nueva cartografía:” La Cartografía Digital”.

3. FORMA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA

La Tierra es una esfera achatada por los polos, Newton enunció: “La forma en equilibrio que adoptaría una masa fluida homogénea sometidas por las leyes de la gravitación universal y girando alrededor de un eje la forma que adquiere es un elipsoide de revolución”. Elipsoide: forma que adquiere una elipse cuando gira.

La superficie de la Tierra tiene irregularidades: montañas, valles, fondos marinos... así la superficie que pisamos es la topográfica, y ésta presenta irregularidades mayores que la elipsoide, por lo tanto la hipótesis de Newton no es completamente cierta ya que la Tierra no se convierte en un elipsoide perfecto, sino que toma una forma única; que se denomina geoide.

3.1.-Geoide

Superficie equipotencial (de la misma gravedad) teórica, entendiendo como valor de la gravedad constante $9,8 \text{ m/s}^2$; perpendicular a la dirección de la gravedad encontramos la superficie del geoide.

Medidas gradimétricas, son las determinaciones del geoide. Los instrumentos geográficos se sitúan respecto a la gravedad (perpendiculares a la superficie),

cuando queremos representar estas medidas en una superficie plana, buscamos una superficie geométrica, regular, que más se acerque al geoide (un elipsoide). El elipsoide de revolución sería la figura de la Tierra si tuviera una superficie plana, llana y su composición interna fuera homogénea. El tamaño y la forma se determinan por los semiejes, en una elipse tenemos el semieje a (más grande), y el semieje b . (Figura 5)

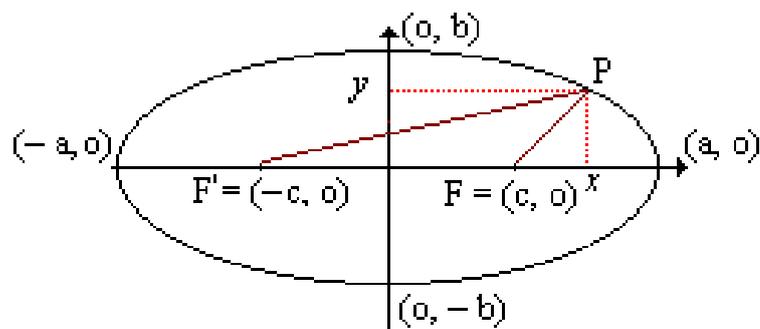
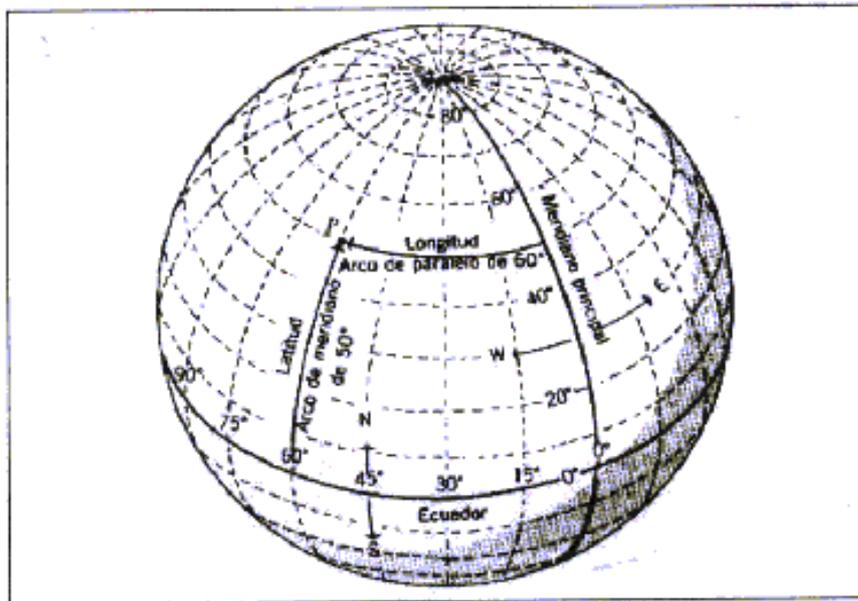


Figura 5

Con esto se define el índice de achatamiento o elipticidad: $f = (a-b)/a$ Nos indica como de achatada es una elipse, por ejemplo: si $f = 0,5$ es muy achatada. El índice de elipticidad más próximo a la Tierra es $1/300$.

El geoide suele quedar por encima del elipsoide en zonas continentales y por debajo en zonas oceánicas.

3.2.- Coordenadas Geográficas.



Representación gráfica de coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas nos permite localizar un punto en el espacio. Cuando hablamos de coordenadas planas o de mapa nos referimos al sistema cartesiano, coordenadas XY, así, todo mapa lleva un sistema de referencia arbitrario XY relacionado con la proyección utilizada, el origen es arbitrario, en los mapas tiende a situarse en la parte inferior a la izquierda, utilizando valores positivos.

Los meridianos van de eje a eje de rotación, y junto a los paralelos constituyen las coordenadas geográficas, siempre se cortan entre sí en ángulo recto, el plano perpendicular al eje de rotación que pasa por el centro de la esfera es el plano del Ecuador, la circunferencia de ese plano es la Circunferencia Ecuatorial.

El círculo máximo, es la circunferencia o arco que forma la intersección de un plano que pasa por el centro de la Tierra con la superficie esférica, es la distancia

más corta entre dos puntos en la esfera, el Ecuador y los meridianos son puntos máximos.

3.2.1. Paralelos y latitudes.

Los paralelos son líneas imaginarias que unen puntos de igual latitud, son circunferencias paralelas al Ecuador cuyos puntos equidistan de los polos, su separación es constante y son paralelos entre sí, en la esfera se consideran 90 paralelos en cada hemisferio con 1° de latitud, el paralelo 90 corresponde con el eje de rotación y es nulo. La latitud del paralelo disminuye a medida que avanzamos de longitud, los paralelos cortan a los meridianos en ángulo recto excepto en los polos que es tangente, se extienden de Este a Oeste.

Hay cuatro paralelos principales:

- Trópico de Cáncer 23° 26' 37" N.
- Trópico de Capricornio 23° 26' 37" S.
- Circulo Polar Ártico 66° 33' 23" N.
- Circulo Polar Antártico 66° 33' 23" S.

Los Paralelos o "líneas de latitud" son paralelos al Ecuador. Su longitud va siendo menor a medida que se alejan del mismo, hasta convertirse en un punto en los polos. Los paralelos están numerados de 0°, en el Ecuador, a 90°, en los polos.

El valor medio de 1° de latitud es de 111,13 Km.

3.2.2. Meridianos y longitud.

Los meridianos, son semielipses que cortan a la Tierra por su eje, cuyos extremos coinciden con los polos norte y sur de la esfera y por lo tanto tienen 180° de longitud, se extienden de N. a S., siempre cortan a los paralelos formando ángulo recto. Se pueden trazar infinitos meridianos pero en realidad se consideran 360

uno por grado, la distancia entre meridianos es máxima en el Ecuador y mínima en los polos.

La longitud de un punto es el arco del paralelo medido en grados entre el lugar considerado y el meridiano tomado como referencia o meridiano 0°, que es el Meridiano de Greenwich. El valor medio de 1° de longitud es de 111,32 Km.

Entonces las coordenadas geográficas se expresan de la siguiente forma: primero se expresa la latitud N.-S., segundo la longitud E.-W. (latitud, longitud) = (x, y).

La determinación de la longitud depende de las mediciones del tiempo:

$$360^{\circ}=24 \text{ horas}$$

$$15^{\circ}=1 \text{ hora}$$

$$15'=1 \text{ minuto}$$

$$15''=1 \text{ segundo}$$

Así, la Tierra está dividida en 24 husos horarios de 15° cada uno.

3.2.3. Posiciones y direcciones.

Generalmente se adopta la dirección de referencia el norte, a partir de ahí sabemos si nos encontramos en el sur, este, oeste, sudeste, sudoeste, noreste o noroeste.

Distinguimos tres tipos de norte, el *norte geográfico o verdadero*, que es el punto de intersección entre el eje de rotación de la Tierra y su superficie. El norte magnético, que es el que señala la brújula. A esta diferencia se le llama declinación magnética y su valor depende de dónde estemos situados. Los buenos mapas indican cuál es el valor de la declinación magnética en el centro de la hoja, y cuál es su variación anual. El tercer norte es el que indica nos indica el mapa o plano.

3.2.4. Rosa de los vientos.

Acimut, rumbo, orientación, dirección y curso, el significado de todas estas palabras es: el ángulo horizontal que se establece entre una dirección principal Norte y Sur, y la línea la cual está indicando la dirección. La unidad de medida son los grados y siempre se mide en el sentido de las agujas del reloj.

-*Acimut*, designa la dirección del punto máximo de un punto, esta dirección es el ángulo que el arco del círculo máximo establece con el meridiano de dicho punto, se expresa en grados y se mide en el sentido de las agujas del reloj, normalmente a partir del norte geográfico, se habla de acimut geodésico si se mide a partir del sur.

-*Rumbo*, dirección de un punto a otro, se expresan los ángulos por cuadrante de 0° a 90°, se parte de la línea N.-S. que viene dada por el norte magnético.

4. LA ESCALA

4.1. La escala.

La definimos como la proporción o razón de semejanza entre la distancia en el mapa y la distancia correspondiente sobre la Tierra, es el dato más importante del mapa. Hay que tener en cuenta al dibujar el territorio en el mapa, que la superficie de la Tierra es irregular, que tiene relieve.

Escala = Distancia en el mapa/Distancia en la Tierra = 1/E.

por ejemplo: 1:250.000 significa que 1cm. en el mapa representa 250.000 cm. En la realidad.

Cuanto mayor sea el denominador, más pequeña es la escala (la hoja es más pequeña), cuanto más pequeño es el denominador la escala es más grande.

- Escala pequeña son menores de 1:100.000.
- Escala medianas comprendidas entre 1:100.000 y 1:10.000.
- Escala grandes mayores de 1:5.000 (planos)

4.2. Expresión de la escala gráfica

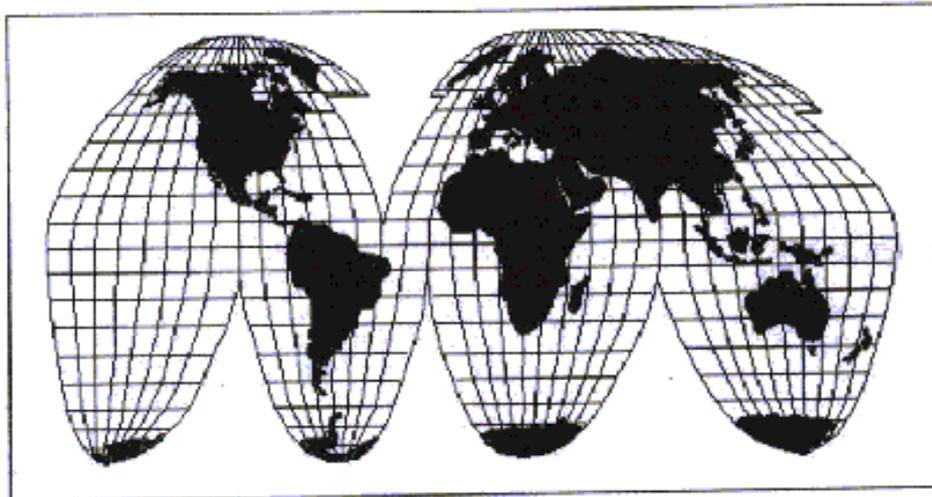
La escala gráfica es una línea en la que se representa la proporción entre el documento y la realidad. Todos los mapas traen una escala gráfica que indica la equivalencia en el terreno de las longitudes graficadas en ellas. Así, para conocer la distancia en el terreno entre dos puntos que aparezcan en el mapa basta medir dicha distancia entre dos puntos con una regla y aplicar esa medida a la escala gráfica, la que nos dará directamente la longitud que los separa en el terreno.

Procedimientos para cambiar de escala:

- Xerográfico, ampliar mediante la fotocopiadora.
- Sistema geométrico, manual se realiza mediante cuadriláteros o triángulos semejantes.
- Fotográfico.
- Mecánico, por medio del pantógrafo que consiste en un paralelogramo articulado con brazos desiguales donde vamos a colocar un lápiz en cada lado.
- El Pantógrafo, se trata de un paralelogramo articulado que sirve para dibujar una figura proporcional a otra dada, que funciona de la siguiente manera: con un extremo del paralelogramo se sigue el contorno de la figura, así el otro extremo del paralelogramo provisto de un lápiz dibujara una figura proporcional a la original.

-Proyección óptica y la cámara clara, se basan en el uso de lentes y sistema de iluminación, el mapa se proyecta sobre otra superficie y se amplía dependiendo de la distancia entre las lentes, el objeto varía la escala.

5. SISTEMA DE PROYECCIONES



Representación de un Sistema de Proyección

La superficie entre dos meridianos y paralelos se cruzan en ángulo recto, la distancia entre dos meridianos y dos paralelos en la esfera, no es siempre la misma.

Al pasar de la esfera al plano surgen deformaciones, para que esto no ocurra se utiliza un sistema de proyecciones. Sistema de proyecciones es un proceso o sistema, cuyo fin es transferir los detalles de la superficie curva de la esfera a la superficie plana de un mapa.

Así entonces, un sistema de proyecciones es cualquier disposición sistemática de meridianos y paralelos utilizada como base para trazar un mapa sobre una superficie plana, que utiliza el Sistema Cartesiano, de manera que en un mapa

situamos un punto (x,y) como función de otro punto situado en la superficie terrestre (long,lat).

5.1. Superficies de proyección

Las superficies de proyección son plano, cilindro, el cono. Se pueden situar sobre la esfera de manera:

- Acimutal: un plano tangente a un punto de la esfera (centro de proyección) en ese punto se mantiene la escala igual a la del globo. También podemos tener un plano secante a la esfera, que genera un círculo (línea central de proyección) donde la escala se mantiene constante.
- Cilíndrica: cono tangente a la esfera a lo largo de un círculo máximo (línea central de proyección), un cilindro secante a la esfera, el cilindro y la esfera se tocan en dos cilindros menores y tendremos dos líneas de proyección.
- Cónicas, tangente a la esfera y cono secante

Si tenemos un cono, cilindro o plano cuyo eje de proyección coincide con el eje de rotación hablamos de *aspecto normal*. Hablamos de *proyección transversal* cuando la superficie de proyección está colocada en el plano del ecuador y hablamos de *proyecciones oblicuas* cuando podemos trazar un plano, cilindro o cono y lo ubicamos donde queramos.

Una de las proyecciones mas utilizadas es la “Proyección de Mercator” (Figura 6), desarrollada por el geógrafo flamenco Gerardus Mercator (1512-1594), la cual es una proyección cilíndrica, en la cual un mapa de proyección Mercator es muy exacto en las regiones ecuatoriales, pero se distorsiona bastante en las áreas de las latitudes altas. Sin embargo, las direcciones se representan con gran fidelidad

y esto tiene especial importancia para la navegación (con este fin concibió Mercator su mapamundi en 1569). Toda línea que corte dos o más meridianos con el mismo ángulo se representa en el mapa de Mercator como una línea recta. Una línea con estas características, que se denomina línea de rumbo, representa la trayectoria de un barco o avión con rumbo magnético constante. Al utilizar un mapa Mercator, el navegante puede trazar una ruta o derrotero dibujando simplemente una línea entre dos puntos y leer la dirección de los puntos cardinales en el mapa.

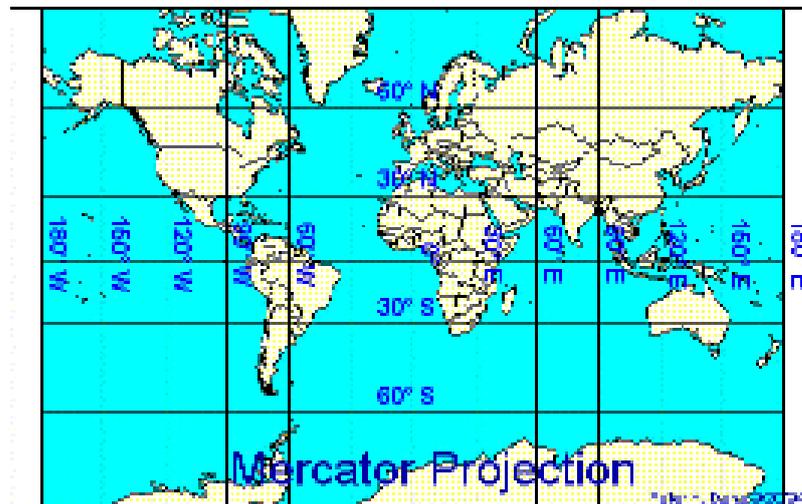


Figura 6

La proyección de Mercator permite introducir otra variante muy utilizada en cartografía: la proyección UTM (*Universal Transversa de Mercator*), una proyección cilíndrica transversal secante. Se basa en la proyección Mercator, en la que el cilindro es tangente a un meridiano; pero su "universalidad" se consigue empleando distintos cilindros tangentes a varios meridianos, separados entre sí 6°. En cada proyección, sólo el meridiano de origen y el Ecuador aparecen como líneas rectas. Las distancias son exactas solo a lo largo del meridiano central, si el

factor de escala es 1. Es muy útil para representar grandes zonas territoriales y que se extienden en la dirección Norte-Sur, tal como el caso de Chile. Las regiones que se encuentran por encima de los 80° de latitud no se suelen representar en la proyección UTM.

6. MAPA TOPOGRÁFICO

6.1. Conceptos

- Altura, es el desnivel que tiene un objeto respecto a la superficie que le rodea.
- Altitud, es el desnivel que tiene un objeto desde su parte más alta hasta un punto de referencia general.
- Curvas de nivel, se denominan a las líneas que marcadas sobre el terreno desarrollan una trayectoria que es horizontal. Por lo tanto podemos definir que una línea de nivel representa la intersección de una superficie de nivel con el terreno. En un plano las curvas de nivel se dibujan para representar intervalos de altura que son equidistantes sobre un plano de referencia.

Toda curva de nivel:

-Ha de ser cerrada.

-No se pueden cortar entre ellas.

-Las curvas de nivel pueden ser tangentes, pueden tocarse, en este caso sería por que nos encontramos ante un relieve vertical.

- El número de extremos libres de una curva de nivel en un recuadro ha de ser par.

- Una curva de nivel no puede dividirse en dos.

6.2. Representación de las curvas de nivel

El relieve de la superficie terrestre se suele representar métricamente sobre un plano a través de las curvas de nivel, que son isolíneas (que unen puntos situados a la misma altitud), que se trazan generalmente con un intervalo determinado y equidistante para todo el terreno a cartografiar. Una de cada cuatro o cinco curvas se dibuja con un mayor grosor y se rotula su altitud correspondiente; son las llamadas *Curvas Maestras* y, entre ellas, se describen las curvas de nivel intermedias. Actualmente, las curvas se trazan a partir de las fotografías aéreas, consiguiendo una precisión mucho mayor que cuando tenían que delinearse en el campo con la ayuda del Teodolito y una red de cotas.

6.3. Tipos de relieve

Cuando las curvas de nivel están muy juntas se trata de un relieve vertical cuya pendiente es muy fuerte, como una colina o montaña puntiaguda, si las curvas de nivel se encuentran separadas se trata de un terreno o zona plana.

6.4. Perfil topográfico

El perfil topográfico es una representación de tipo lineal, que permite establecer las diferencias de altitud de un terreno, que se presentan a lo largo de un recorrido, se les clasifica como longitudinal y transversal.

Un *perfil longitudinal* es aquel en el cual se toma la misma dirección durante todo el recorrido sin cambiar el rumbo, es de mayor extensión que el transversal.

Un *perfil transversal* es perpendicular al perfil longitudinal, y se toman a intervalos regulares, estos perfiles combinados con el perfil longitudinal nos

proporciona una visión tridimensional más completa del área que aparece en el Mapa Topográfico.

Una de las aplicaciones más importantes de los perfiles topográficos, es en la construcción de obras de gran longitud y poca anchura, por ejemplo caminos y carreteras, alcantarillados y oleoductos.

6.5. Interpolación

Cuando a una tabla de valores se le asocia una expresión matemática (función matemática) que la represente, a esto se denomina *Interpolación*. La función obtenida debe representar de forma exacta los valores de la tabla, pero no proporciona más que una estimación de los valores que no aparezcan en la tabla. En Cartografía sirve para averiguar la altitud de un punto entre dos curvas de nivel, con un punto conocido y otro no.

6.6. Pendiente

Es la diferencia de cotas, que existe entre dos puntos que pueden estar en una recta, como en un plano o en las superficies terrestres.

En el Plano Cartesiano, la pendiente de una recta es el incremento que experimenta la ordenada (y), cuando la abcisa (x) se incrementa en una unidad.

7. TELEDETECCIÓN

7.1 Introducción

La Teledetección está basada en sus principios tecnológicos sobre las propiedades de las ondas electromagnéticas definidas como la asociación de dos

campos perpendiculares: El Campo Eléctrico y el Campo Magnético. Las ondas electromagnéticas siguen una trayectoria rectilínea y su velocidad es constante en cada medio específico. Al pasar de un medio a otro la única característica que permanece constante es la frecuencia. La velocidad varía para cada longitud de onda. La frecuencia y la longitud de onda se relacionan según la siguiente expresión matemática:

$$\text{LONGITUD DE ONDA} = C \times T = C \div f$$

Donde, C es la velocidad de la luz en el vacío, T el periodo y "f" la frecuencia. La frecuencia es el número de vibraciones por unidad de tiempo y su unidad es por tanto el ciclo por segundo o el Hz (Hertzio). La longitud de onda es así una distancia y por lo tanto su unidad de medida es el metro. Cualquier cuerpo con una temperatura superior a 0° Kelvin emite radiación, las ondas electromagnéticas se distinguen por su longitud de onda. Como la luz es una radiación electromagnética que tiene unas longitudes de onda muy pequeñas se usan submúltiplos del metro, como son el Ångstrom (Å) que es la diezmilmillonésima de metro y el Micrómetro (µm) que es la millonésima de metro.

Así, la teledetección está interesada en analizar los espectros electromagnéticos producto de la interacción de los rayos electromagnéticos generados durante el intercambio energético entre la Tierra y el Sol (Figura 7). En esta relación se destacan por su uso, los siguientes espectros:

- a.- El dominio del visible, comprendido en el intervalo de onda del orden de 0.38 hasta 0.78 μm . En este intervalo se capta el canal pancromático utilizado en los estudios urbanos.
- b.- El dominio del infrarrojo cercano, comprendido en el intervalo de 0.78 hasta 3 μm , de gran uso en los estudios relacionados con la determinación de los contenidos en agua.
- c.- El dominio del infrarrojo medio, comprendido en el intervalo de 3 hasta 8 μm , toma como base de su emisión y reflexión la superficie terrestre. Este dominio es destinado a los estudios de contenidos de humedad de la actividad clorofiliana.
- d.- El dominio del infrarrojo térmico, comprendido en el intervalo de 8 hasta 15 μm , toma como base la emisión exclusiva desde la superficie terrestre, destinado en general a los estudios relacionados con la meteorología.

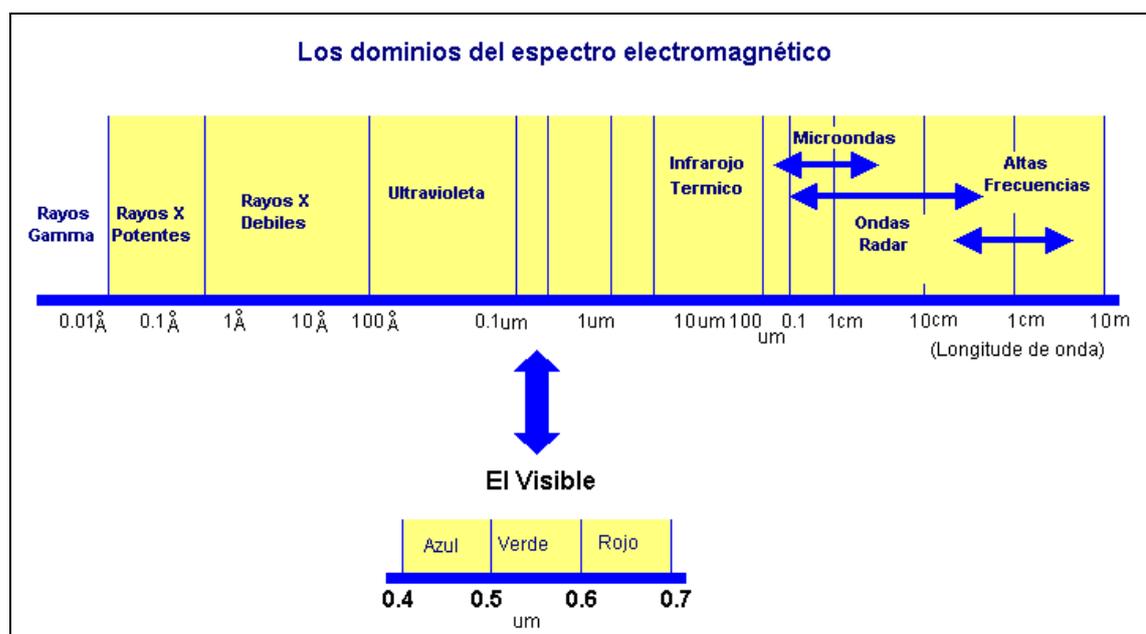


Figura 7

Estos cuatro dominios y otros del espectro magnético, delimitan el campo de la “teledetección pasiva”, es decir aquellos sensores que poseen la propiedad de captar los rayos electromagnéticos emitidos y/o reflejados desde diferentes fuentes. De la energía que llega del Sol a la Tierra, una parte se refleja, otra se transmite y otra se absorbe.

Energía incidente = energía reflejada + energía absorbida + energía transmitida

Así, cada superficie tiene una energía espectral propia.

7.2. Los Sensores

Son instrumentos que captan los rayos electromagnéticos reflejados por las superficies observadas. Como por ejemplo:

-Sensores fotográficos.

-Sensores no fotográficos: radiómetros, radares.

En general se pueden clasificar por los siguientes criterios:

-Por sensores activos o pasivos, un sensor pasivo es aquel que se limita únicamente a captar el rayo electromagnético emitido por el objeto, como el ojo humano. Un sensor activo envía una señal a la superficie del objeto para recibir información de ella mediante una antena, como el radar.

-Hay sensores que trabajan según la radiación electromagnética que reciben, se clasifican por intervalos según su longitud de onda: de 0,4 a 2,5 μm que iría del espectro visible hasta el infrarrojo, el infrarrojo térmico 3-5 μm a 8-14 μm , el microondas 0,1cm a 100cm, el microondas tiene la propiedad de atravesar capas de nubes, los radares trabajan con microondas.

Tipos de Sensores:

- *Cámaras fotográficas:*

Las cámaras fotográficas, son sensores diseñados especialmente para captar la energía luminosa de un objeto o un conjunto de ellos, ya sea energía emitida o reflejada, desde plataformas terrestres o aéreas (aviones, globos, etc.), las que se caracterizan por tener la capacidad de regular el tiempo de exposición del negativo (obturador), como la capacidad de regular la cantidad de luz entrante (diafragma), las características varían según el tipo de cámara y película.

- *Radiómetros:*

Son instrumentos que registran radiación solar y terrestre, generalmente los radiómetros que se suelen utilizar están en los satélites artificiales, el satélite artificial capta información y la convierte en una señal eléctrica que llega a la tierra en forma de imagen digital, números que se convierten en intensidad de luz, según esto se originan sus diferentes colores, que aparecerán en la imagen del ordenador.

Los radiómetros trabajan de manera secuencial, el satélite se pone en órbita y rodea la Tierra y así va captando información de diferentes zonas llamadas cada una: "franja barrido".

Radiómetro de barrido (escáner), tiene un instrumento que se mueve de arriba a bajo y va grabando, registrando una señal de energía en cada momento, la energía se transforma en un dígito, con cada uno de ellos se forma una imagen de manera que cada línea de barrido va formando una imagen y línea a línea obtiene la imagen del terreno.

Cámara ⇐ fotos

Radiómetro ⇐ imagen multiespectral

- *Radar:*

Consta de un emisor, un receptor y una antena, el emisor emite una señal que choca en la superficie observada y ésta le devuelve una señal al sensor mediante la antena y así registra esa señal.

El radar mide el tiempo y la intensidad de la señal, el tiempo se traduce en distancia y ésta nos da la información. Algunos radares nos dan imágenes y otros no, un radar muy utilizado es el altímetro que sirve para medir la altura, una de las ventajas del radar es que no depende de las fuentes de iluminación externas, otra ventaja es que trabaja en el intervalo de microondas que le permite atravesar las nubes, humos, nieblas etc.



CAPITULO II: “FOTOGRAMETRÍA Y FOTOINTERPRETACION”

1. DEFINICION

La Fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se puede deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones de este; el Levantamiento Fotogramétrico es la aplicación de la Fotogrametría a la Topografía. La Fotogrametría no es una ciencia nueva, ya que los principios matemáticos con que se rige son estudiados desde hace más de un siglo, sin embargo sus aplicaciones topográficas son mucho más recientes, en cambio la Fotointerpretación es el examen de las imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado. Así al trazar las curvas de nivel sobre un terreno fotografiado se puede obtener la información topográfica del sector requerido. (Figura 8)



Figura 8

Trazado de curvas de nivel sobre una transparencia (Fotointerpretación).

Las aplicaciones de la fotogrametría, no son solo topográficas, ya que es una eficaz ayuda en Medicina Legal y Criminalística, así como en Investigaciones Policiacas, además en Escultura y Arquitectura se valen de ella para la reproducción y medida de cuerpos y objeto diversos. Gracias a ésta se pudo reconstruir muchos monumentos destruidos durante las guerras mundiales, entre ellos la célebre Catedral de Reims en Francia.

También se utiliza la fotogrametría en meteorología, astronomía, balística, geología, hidráulica, etc.

2. HISTORIA Y EVOLUCION DE LA FOTOGRAMETRIA

Fue un físico escocés, Sir Charles Wheatstone (1802-1875), quién en Junio de 1838 describió el fenómeno de la visión tridimensional y construyó un aparato

con el que se podían apreciar en relieve dibujos geométricos: el Estereoscopio, mediante el cual se introdujo el concepto de la doble imagen.

En 1839 se obtuvieron las primeras imágenes fotográficas obtenidas por el inventor francés de origen vasco, Louis Jacques Mandé Daguerre (1789-1851), e inmediatamente se piensa en utilizar el descubrimiento para colaborar en la elaboración de un levantamiento topográfico. Así a partir del año 1850, la fotogrametría ha seguido ciclos de desarrollo que se pueden agrupar en las siguientes etapas:

- a) Fotogrametría Gráfica (1850 a 1900)
- b) Fotogrametría Analógica (1900 a 1960).
- c) Fotogrametría Analítica (1960 hasta la actualidad) y
- d) Fotogrametría Digital (1990 hasta la actualidad)

Pero antes del invento de la fotografía, Jean Henri Lambert, (1728, 1777) matemático, físico y filósofo de origen francés, en 1759 sentó las bases de la fotometría y estableció los fundamentos para resolver el problema de la restitución perspectiva.

Así, con las bases de la fotometría y el desarrollo de la fotografía, el ingeniero militar francés Aimé Laussedat (1819-1907) considerado como fundador de la Fotogrametría, consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía, y así anuncia con éxito las primeras mediciones de un objeto mediante fotografías, creando el primer método de restitución. De esta manera se desarrollo la Fotogrametría Gráfica.

El inconveniente más grande que tenía este sistema era a la identificación de un mismo punto en dos fotografías tomadas (puntos homólogos) desde distintos

puntos de vista, además que la restitución de un punto implicaba una gran cantidad de cálculos,

Este método estuvo vigente hasta el principio del siglo XX; cuando en 1901, Kart Pulfrich mediante el empleo de la *visión y medición estereoscópica* resolvió el problema de identificación de puntos homólogos creando el “Estereocomparador” (Figura9), con el cual se permite la medición de coordenadas y paralajes con una alta precisión y marca uno de los hitos fundamentales de la Fotogrametría, así comienza la Fotogrametría Analógica.

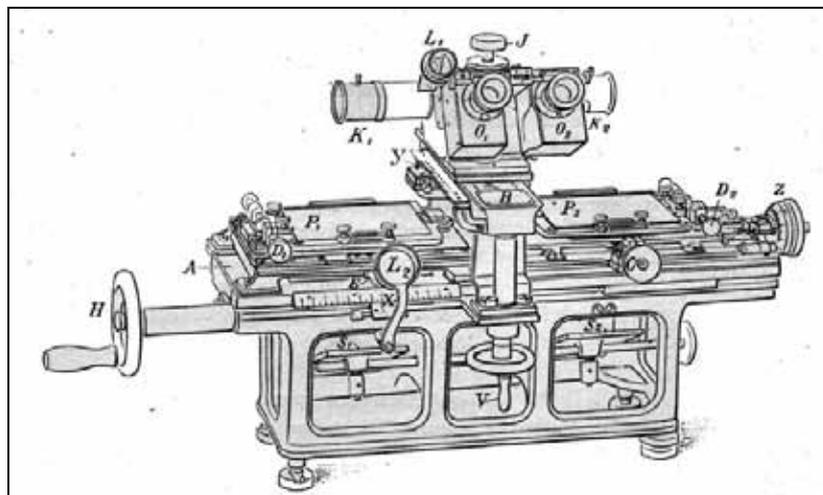


Figura 9

En el estereocomparador se procesaban fotogramas terrestres tomados con los ejes de ambas cámaras paralelos entre sí y perpendiculares a la base o, con ejes paralelos entre sí y con una cierta desviación con respecto a la perpendicular de la base. En estas situaciones, las coordenadas en el espacio de un punto se obtenían a partir de fórmulas sencillas. De ahí en adelante, el dibujo del mapa se hacía de la misma manera que si esos puntos hubieran sido obtenidos por procedimientos de la Topografía. Con una buena cantidad de

puntos aislados, convenientemente elegidos y volcados sobre el papel, se interpolaban las curvas de nivel y demás rasgos cartográficos.

En 1909 se dio el paso definitivo para la consagración de la fotogrametría terrestre, gracias al teniente austriaco Von Orel al construir el “Estéreoautógrafo”, aparato de restitución automática que es utilizado para la construcción y dibujo automático de planos, sólo en el caso de ejes ópticos horizontales.

Luego con el desarrollo de la aviación y el comienzo de la Primera Guerra Mundial, ambos bandos estaban en la necesidad de obtener fotografías aéreas del campamento contrario. Como en la fotogrametría aérea, la cámara está en movimiento, para poder efectuar la restitución, es preciso conocer el punto exacto en que se impresionó el fotograma, para solucionar este obstáculo se tuvo que aplicar el antiguo Teorema de Terrero-Hauck, el cual establece la orientación relativa de cada dos fotografías consecutivas por método exclusivamente óptico y mecánicos y obtener así, los puntos homólogos que determinan un objeto en el espacio.

La tercera etapa, Fotogrametría Analítica, comienza con la introducción del cálculo electrónico que significó un gran avance en el desarrollo de la Fotogrametría. En 1953, Hellmut Schmid, desarrolla los principios de la fotogrametría analítica moderna usando notaciones matriciales y utiliza soluciones mínimo cuadráticas y un completo estudio de la propagación de los errores. En 1957, Uki Helava inventa el estereoploter analítico.

El comienzo del cuarto período, Fotogrametría Digital, es muy difícil de ubicar. En 1955 Rosenberg ya habla de la automatización electrónica para la elaboración de

mapas. En 1965, Sharp describe el «Digital Automatic Map Compilation» que es un sistema de compilación digital automatizado de mapas desde imágenes digitalizadas. Desde los años 90 hasta la actualidad el progreso en la fotogrametría digital es tan rápido y paralelo como los avances informáticos.

La Fotogrametría no ha eliminado a la Topografía, por el contrario, ambos son el complemento perfecto para realizar un estudio completo de un terreno en particular.

Una gran cantidad de labores distintas surgieron para la Fotogrametría durante los últimos decenios. En primer plano figuran, en numerosos países, los levantamientos topográficos del territorio. A esto se suman una gran variedad de mapas especiales y fotoplanos para los fines de Proyectos de Ingeniería (Fig. 12), de Economía, del Tráfico, de la Ciencia y de la Administración. Algunos ejemplos de las anteriores son: La urbanización, el catastro, el parcelamiento moderno (Fig. 11), el planeamiento de ciudades, pueblos y villas, la variedad de levantamientos forestales y agrícolas, la geografía científica y aplicada con sus numerosas ramas especiales y ciencias limítrofes, por ejemplo: la Geomorfología, el Paisajismo, la exploración de montañas, glaciares y formaciones de hielo, el estudio de poblados y la ecología vegetal; tampoco debemos olvidar el reportaje aéreo. En la mayoría de los casos, se menciona aquí lo que únicamente la fotografía aérea es capaz de suministrar: No solo copiar fielmente, hasta en sus detalles más pequeños, el estado actual de terrenos de extensión indeterminada, formas mezcladas y fenómenos complejos gráficamente apenas reproducibles, sino también lograr exagerarlos mediante procedimientos auxiliares especiales, y, a menudo, repetir aún las fotografías periódicamente.

Ante todo se debe disponer de cámaras fotográficas que respondan eficazmente a las diferentes tareas anteriormente mencionadas. Para las fotografías desde gran altura, son precisas distancias focales grandes y máximas; para fotografías de grandes extensiones se necesitan cortas distancias focales y grandes ángulos de la imagen; todas las fajas exigen medios para asegurar el perfecto recubrimiento.

Los mapas a grandes escalas, las fotografías en colores, las expediciones científicas, etc., son objeto de reflexiones particulares. Por ejemplo, las bajas temperaturas que se encuentran a grandes alturas de vuelo, suelen traer consigo toda clase de problemas.

Es, además, necesario disponer de aviones apropiados óptimamente (Fig. 10) para las tareas características de un vuelo fotográfico, y de medios auxiliares para montar las cámaras según el fin al que se las destine. Es importante resolver los problemas que trae consigo un vuelo fotográfico, como son: El campo visual limitado, los difíciles accesos a ciertos emplazamientos, la inestabilidad del instrumento, la inestabilidad del avión, etc.



Figura 10

Implementación del avión para el desempeño de una faena aerofotogramétrica.

La navegación del vuelo fotográfico ofrece, ante todo, la posibilidad de fotografiar grandes extensiones sin lagunas ni dificultades especiales, para cuya superación hay que contar con medios auxiliares y procedimientos aptos. Muy a menudo los breves plazos impuestos y la situación meteorológica, que proporciona a veces solo pocos días de vuelo durante meses enteros, obligan al aprovechamiento máximo de cada vuelo fotográfico. Así también, como en toda tarea, existe la necesidad de trabajar al menor costo económico.

Aquí mostramos algunos ejemplos de fotos aéreas:



Figura 11

Fotografía aérea aplicada a un parcelamiento de terreno.

Figura 12

Fotografía aérea aplicada a la supervisión e inspección de obras de ingeniería.



3.- CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría según el tipo de sensor utilizado y el fin que se da a ésta se puede clasificar en los siguientes tipos (5):

- Fotogrametría Aérea (Aerofotogrametría): se utilizan fotografías aéreas de una zona en particular, obtenidas a través de cámaras métricas.
- Fotogrametría terrestre: Fotografías tomadas en posición fija en el terreno
- Fotogrametría espacial: Fotografías tomadas por un satélite.
- Fotogrametría No Topográfica: Fotografías cuya aplicación está en Ciencias, Balística y Policial.

4.-TEORÍA DE LA FOTOGRAFÍA

La fotografía aérea, como un sistema de información:

Las fotografías aéreas están destinadas a proporcionar, de una manera sencilla, ciertas informaciones de objetos considerados aisladamente o pertenecientes a determinados conjuntos, como es la superficie topográfica. Estas informaciones, recogidas gracias al registro sobre una emulsión sensible, por medio de una cámara fotográfica, de radiaciones emitidas por dichos objetos, sirven de base para un examen que permite obtener ciertos datos, especialmente los relativos a su disposición en el espacio, gracias a la observación estereoscópica. (6)

(5) "Cartografía y fotogrametría forestal"- Carlos Mena Frau, Pags. 18 a 19

(6) Lectura de las Fotografías Aéreas-Jean Carré, Pags 15 a 20

Pero la transmisión de esta información se hace a través de ciertos pasos intermedios, que influyen sobre el resultado final como: iluminación del objeto, radiaciones emitidas por algunos de sus puntos, marcha del rayo a través de la atmósfera hasta la cámara fotográfica, características de la cámara fotográfica, superficie sensible, su tratamiento, tirada de una copia positiva, instrumento de examen y el observador con sus características fisiológicas y psicológicas.

Problemas que se plantean:

Se pueden clasificar las diferentes cuestiones presentadas en el examen y la explotación de las fotografías en cuatro grupos:

1) Problemas geométricos

La forma y el tamaño de la imagen de un objeto dependen de sus características geométricas, de la naturaleza y de la posición de la cámara fotográfica. Estos resultados pueden ser generalizados a las propiedades de la misma naturaleza que se refieren a conjuntos de objetos.

Las fotografías pueden servir para encontrar la posición de los objetos en un sistema de referencia; situación y orientación sobre un mapa, sobre la tierra, etc.

2) Problemas físicos

Se deben a la marcha de los rayos luminosos a través de medios diversos. Tienen por efecto introducir limitaciones, de orígenes distintos, en la aplicación de las normas geométricas.

3) Problemas fisiológicos

El ojo y la visión binocular juegan un papel muy importante en el examen de las fotografías aéreas. La visión estereoscópica, poco utilizada en la vida corriente, se impone aquí para una lectura completa.

4) Problemas psicológicos

El reconocimiento de los objetos, ya sea directa o indirectamente, las conclusiones sacadas de su presencia o distribución, forman parte de un proceso muy completo que pone a la vez en juego la percepción inmediata, la memoria y la lógica. No es cuestión de profundizar en un campo tan difícil, pero su importancia y existencia no pueden ser omitidas.

Propiedad geométrica fundamental: la fotografía es una perspectiva cónica

Consideremos la Figura 13; la imagen m sobre la superficie sensible de un punto cualquiera M del terreno; la correspondencia geométrica entre m y M es, al menos, en una primera aproximación, una perspectiva central:

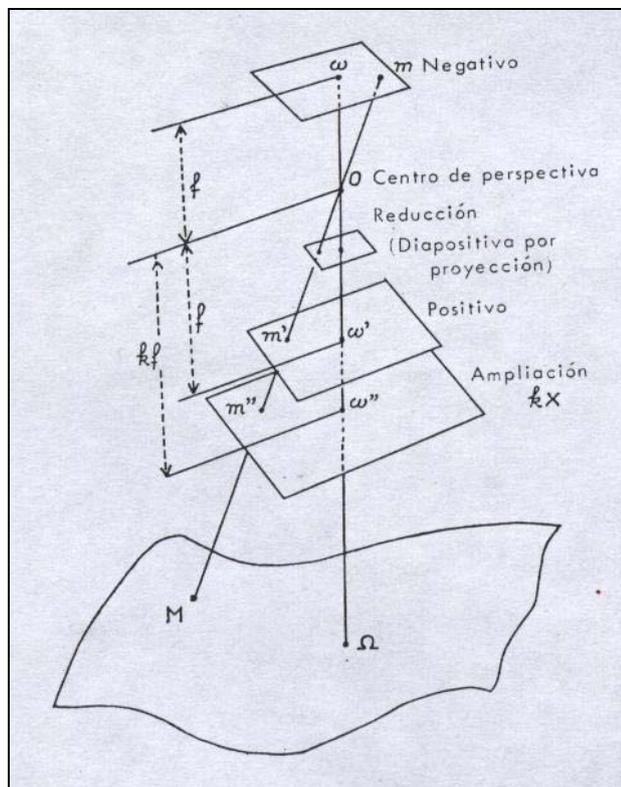


Figura 13

Si se supone, en efecto, como normalmente sucede, que la totalidad del clisé (negativo) se impresiona al mismo tiempo gracias a un obturador central, el haz de rectas que unen en el momento de la toma de la vista el centro del objetivo fotográfico con los diferentes puntos del terreno (haz perspectivo), se transforma en un haz de rectas respectivamente paralelas a las anteriores y que pasan por un mismo punto (punto nodal posterior) encontrando a la superficie sensible en puntos homólogos a los del terreno.

La perspectiva esta definida por elementos internos relativos a la cámara fotográfica solamente, y elementos externos dependientes de su posición respecto a terreno fotografiado.

1) Elementos internos.

La perspectiva esta definida:

1. Por su centro o punto de vista O .
2. Por su plano: el del cuadro sobre el que se adapta la superficie sensible.
3. Por su distancia principal, distancia del punto de vista al plano de perspectiva, sensiblemente igual a la distancia focal f del objeto (ésta última depende de la longitud de onda de la radiación que impresiona a la superficie sensible). El eje óptico del objetivo debe ser perpendicular al plano de la superficie sensible.
4. Finalmente, el marco (o recuadro que limita la imagen fotográfica) que limita la perspectiva a una porción del espacio.

En numerosas aplicaciones se utilizan copias positivas, por contacto, de los negativos obtenidos en la toma de vistas. Esta operación, que se hace aplicando la cara sensible del papel contra la cara sensible del negativo, es un giro, se puede considerar como una simetría del negativo respecto a O .

En todo lo que sigue representaremos sistemáticamente, para sencillez de las figuras, la correspondencia terreno-positivo como una perspectiva central de centro O sobre un plano perpendicular al eje óptico del objetivo, a la distancia f de O hacia abajo

2) Elementos externos (Fig. 14)

Es muy importante para la explotación posterior de una fotografía definir los elementos de la perspectiva en relación a un sistema de referencia cómodo.

Se representan por seis parámetros:

- El *centro de la toma de vista*, definidos por tres coordenadas (*latitud, longitud y altitud*).
- *El eje de levantamiento*, definido por su inclinación i respecto a la vertical y por otro ángulo, como el que forma el plano vertical que contiene a este eje con el plano meridiano de O (acimut).
- Finalmente por la *posición de la cámara* de toma de vistas se completa por el ángulo que forma una dirección-referencia con la dirección de las horizontales de su plano (orientación marginal)

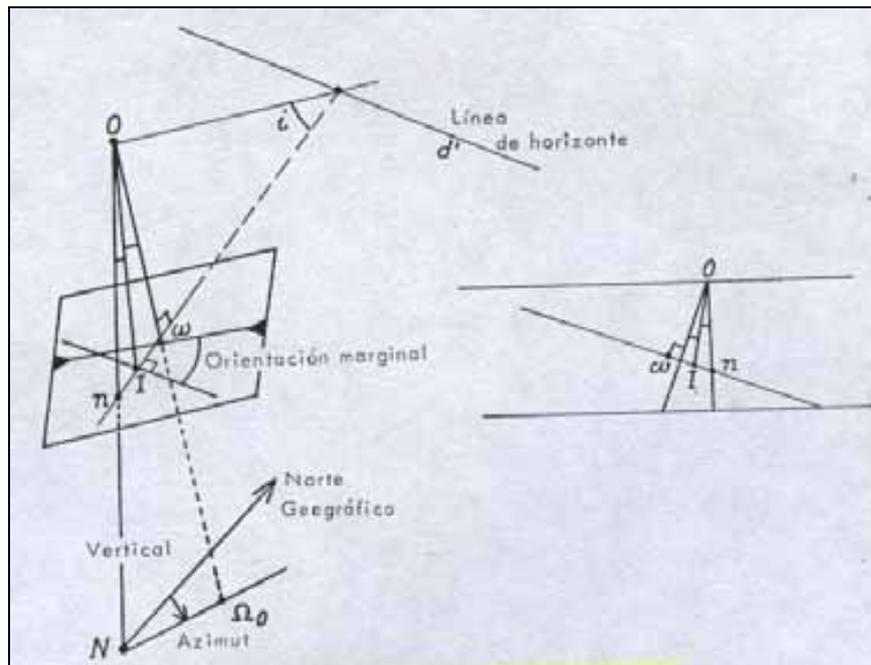


Figura 14: Elementos de orientación externa

Un punto juega un papel esencial: **el nadir n** , (Figura 14) imagen de un punto **N** del terreno situado en la vertical del objetivo **O** ; este punto **n** no coincide con el centro, pie de la perpendicular bajada desde **O** al plano de la perspectiva, salvo en el caso de que el eje de levantamiento sea rigurosamente vertical. En caso contrario, **n** es distinto de **w** , centro de la fotografía.

5.- COMPARACIÓN ENTRE UNA FOTOGRAFÍA Y UN MAPA.

Se tiene la tendencia a creer que la imagen dada del terreno por una fotografía aérea vertical es semejante a un plano. Pero; *en general se puede decir que la fotografía aérea de un terreno no es semejante al mapa del mismo terreno.*

Para presentar la superficie de la Tierra el medio más corriente son los mapas, proyectando verticalmente los diferentes puntos sobre una superficie de

comparación; gracias a un *sistema de proyección*, que después es transformada a un plano, sobre el cual pueden hacerse de forma cómoda las medidas lineales, angulares o superficiales.

Las proyecciones *conformes* son las que mejor se adaptan para las medidas angulares, pues el ángulo formado por dos líneas cualesquiera de la superficie de referencia corresponde al mismo ángulo formado por sus respectivas líneas homólogas en la proyección. De todo ello resulta que la escala en un punto es independiente de la dirección considerada, permitiendo así definir la escala en un punto como la relación de una longitud elemental a su homóloga en el mapa.

La escala varía poco de un punto a otro, sobre todo en los mapas en escalas medias o grandes.

Tomando por referencia un mapa de una región cualquiera, una fotografía será identificada en relación con un cierto número de puntos que aparezcan en mapa de esta región.

Se puede afirmar rigurosamente que todas las fotografías tomadas durante el mismo vuelo no tienen exactamente sus ejes paralelos, sino ligeramente convergentes, debido a la esfericidad de la Tierra.

Existe por otra parte una diferencia muy notable entre una fotografía aérea y un mapa; la primera es una representación objetiva y temporal de la realidad, mientras que el mapa representa detalles menos numerosos, pero escogidos por su autor de una manera artificialmente aumentada o simplificada por medios de signos convencionales.

6.- ELEMENTOS DE UNA FOTOGRAFIA AEREA (7)

- ALTURA: Es la distancia del centro de proyección O (centro de perspectiva) al plano del terreno y se representa con la letra "Z".(Fig.15)

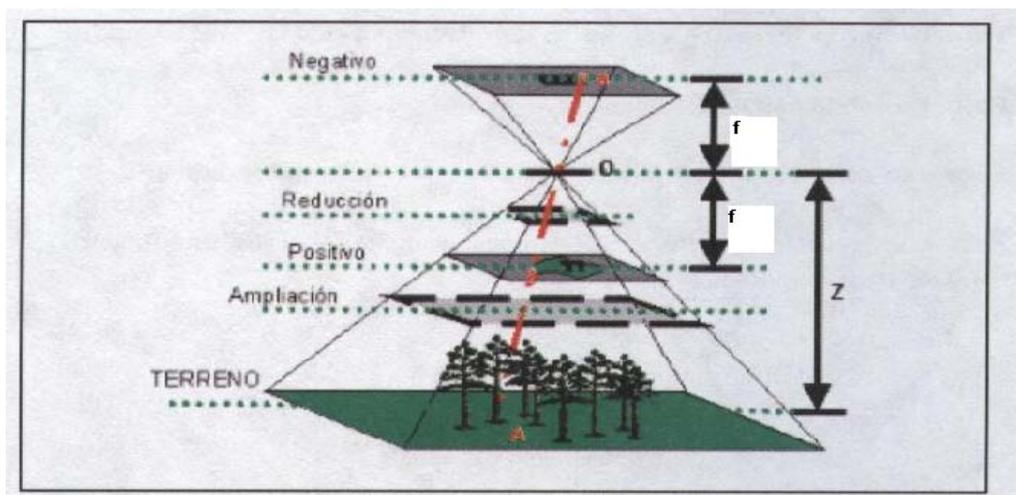


Figura 15

- DISTANCIA PRINCIPAL: Es la distancia del centro de proyección O al plano del negativo y se representa con la letra " f " (Fig. 15).
- BASE O ESTACION DE EXPOSICIÓN: Es la posición que ocupa O en el espacio, en el momento de la exposición fotográfica (Fig. 15).
- DISTANCIA FOCAL: Es la distancia del foco al centro de la lente y se representa con la letra " f_o ". Es necesario destacar en fotogrametría la Distancia Principal NO es igual a la Distancia Focal, ya que el objetivo de una cámara fotogramétrica no es una lente sencilla, sino un conjunto de lentes.

Sin embargo para efectos de un estudio geométrico se considerara en adelante el objetivo como una lente simple, luego:

(7) "Cartografía y fotogrametría forestal"- Carlos Mena Frau, Pags. 20 a 22

- LINEA PRINCIPAL: Es la intersección del plano de la fotografía con el plano principal.(Fig. 16)
- ISOLINEA: Es la línea del plano de la fotografía, perpendicular a la línea principal que pasa por el isocentro (Figura 16). Corresponde en la práctica a la intersección de una foto vertical y una inclinada, tomadas desde un mismo centro de proyección. En dicha línea las dos fotografías poseen la misma escala.
- MARCAS FIDUCIALES: (Figura 17) Corresponde a señales indicativas (generalmente cuatro), que están directamente relacionadas con el lente de la cámara. Si trazamos dos líneas diagonales pasando cada una por dos de estas marcas, estas se cruzarán en el centro de la foto que debe coincidir con el nadir (punto de la superficie terrestre perpendicular al plano focal). Esto sólo es así, si el avión volaba sin inclinación, si esto no ocurre el punto central de la foto se desvía respecto al nadir.



Figura 17

- LINEA DE VUELO: Es la unión de pares sucesivos de puntos principales de cada fotografía, estas definen la línea de vuelo, indicando la dirección del vuelo. Esto se puede lograr, sólo si las fotografías han sido tomadas con un recubrimiento longitudinal superior al 50%, con esa condición, será posible identificar el punto principal de cada foto en las fotografías adyacentes.

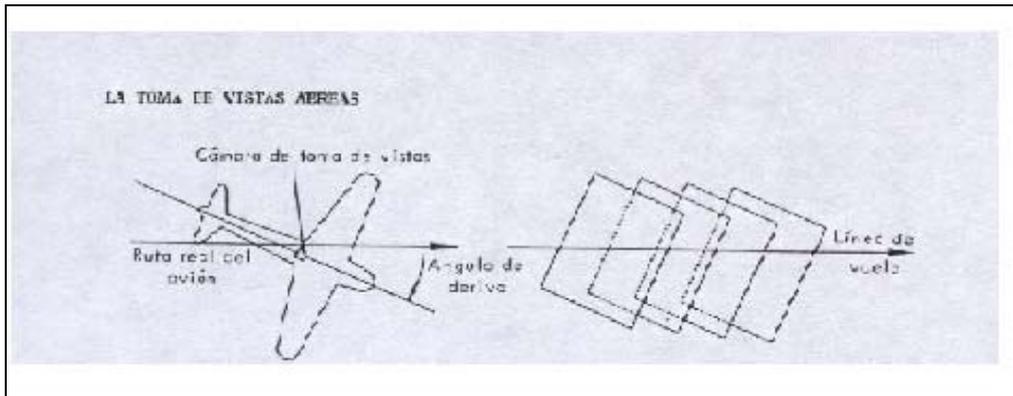


Figura 18

- FORMATO: Es el marco o recuadro que limita la imagen fotográfica. Generalmente este formato es de forma cuadrada (18*18 ó 23*23 cm.)
- CAMPO ANGULAR: Es el ángulo en el vértice del cono de luz que atraviesa el objetivo para formar la imagen.

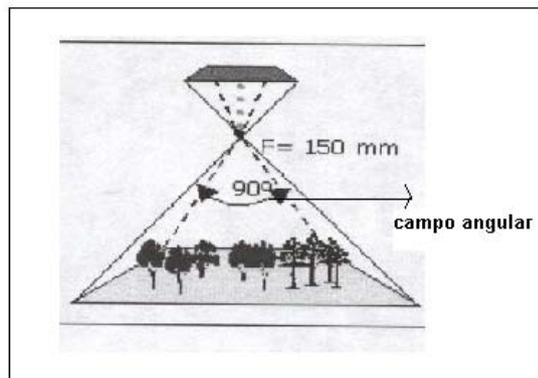


Figura 19

7.- CLASIFICACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.

Las fotografías aéreas se pueden clasificar de varias maneras, según su forma, tamaño o la “respuesta” de los objetos (8):

- 1) La forma de los objetos está sobre todo ligada a la inclinación del eje de levantamiento (Fig. 20); según esto la fotografía se denomina:

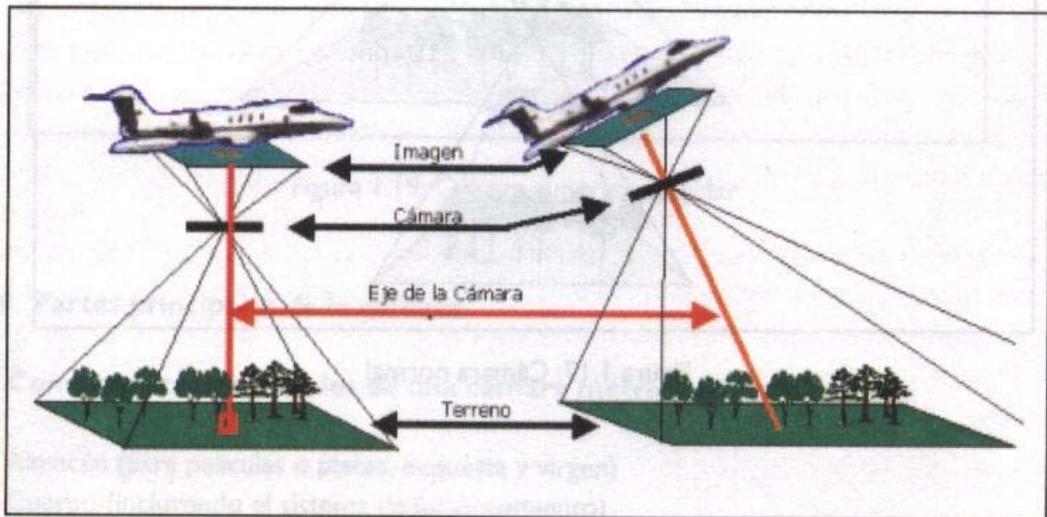


Figura 20: Fotografía aérea vertical y oblicua, respectivamente

- vertical, si esta inclinación no pasa de los 5 grados. En realidad es el eje de la fotografía quien es vertical, pero esta designación no produce en la práctica confusión alguna.
- Oblicua baja, cuando no se registra el horizonte pasando la inclinación del valor de más de 5°, antes fijado.
- Oblicua alta o panorámica si se registra el horizonte. Es preciso para ello que el ángulo de inclinación i , que forma el eje de levantamiento con la vertical, sea superior a 90°.

(8) Lectura de las Fotografías Aéreas-Jean Carré, Pags. 20 a 22

Aunque las fotografías oblicuas presentan ciertas ventajas cuando se les utiliza aisladamente, dando en particular a los objetos un aspecto más normal (Fig. 21), presentan, por el contrario, serios inconvenientes en relación a los pares de fotografías verticales, sobre todo en la explotación fotogramétrica.

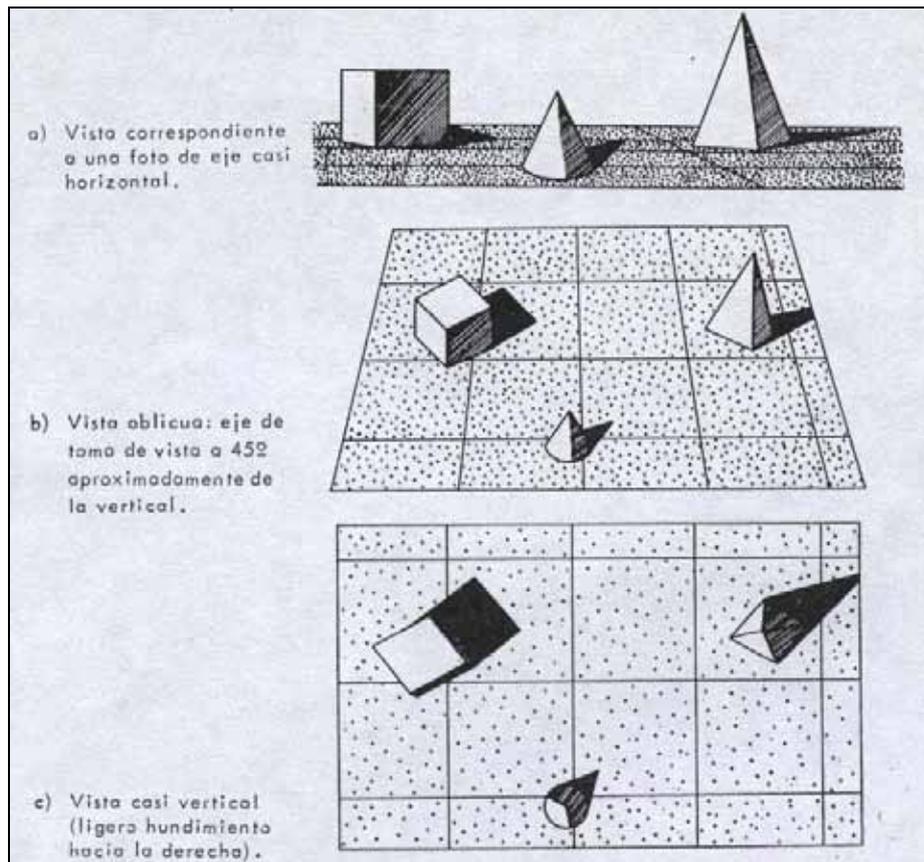


Figura 21

2) El tamaño de los objetos esta ligado a la escala de la fotografía. Esta es fácil de deducirla en el caso de una fotografía de eje vertical cuando la superficie fotografiada es plana y horizontal es la relación de semejanza, $e = f/H$ entre la imagen y el terreno, siendo f la distancia focal y H la altura de vuelo; se expresa en general en la forma $1/E$, siendo E entero.

Si el terreno presenta relieve o el eje de la fotografía no es vertical, la escala no puede deducirse para toda la fotografía.

- 3) La “respuesta” de los objetos depende mucho de naturaleza de las emulsiones utilizadas en la toma de la vista y en la prueba positiva sobre el papel. Podemos diferenciar las fotografías en pancromáticas, infrarrojas, colores, etc.

8.-ESTEREOSCOPIA

La idea básica de las imágenes estereoscópicas (9) es que partiendo de dos imágenes desde el mismo punto de vista, pero con una pequeña diferencia de ángulo entre ellas, el cerebro se encarga de unir esas dos imágenes, formando una sola que es la que nos produce la visión tridimensional.

La Estereoscopia es la facultad que poseen todos los seres dotados de visión binocular, o sea la facultad de ver los objetos tridimensionalmente, pues se tienen dos puntos de vista de un mismo objeto, lo que permite apreciar el largo, el ancho y la profundidad de dicho objeto. Las fotos aéreas se toman en forma sistemática y, como ya se ha dicho, con un traslape de 60%. Así pues, desde dos puntos de vista diferentes se hacen dos exposiciones del mismo objeto y es posible tener una franja o zona estereoscópica similar a la que se presenta a nuestros ojos. Estos tienen una capacidad muy amplia ya que a partir de su eje, cuando se dirigen visuales paralelas presentan movimientos laterales de 45° hacia adentro y 135° hacia fuera y verticalmente tienen un campo de acción de 50° hacia arriba y 70° hacia abajo.

(9) Lectura de las Fotografías Aéreas-Jean Carré, Pags. 156 a 174

La separación promedio de ambos ojos es de 65mm y recibe el nombre de base interpupilar.

Al observar alternadamente con uno y otro ojo un mismo objeto, se produce una pequeña diferencia de la imagen que recibe el nombre de paralaje. Cuando las visuales coinciden en un punto forman un ángulo llamado ángulo de intersección paraláctico.

El campo de la visión no es totalmente estéreo; solo lo es la zona central pues ahí coinciden ambas visuales, y en ambos lados habrá zonas marginales donde la visión es plana, ya que las imágenes serán vistas por el lado del ojo correspondiente. Al acercarse las imágenes el ángulo paraláctico crece y al alejarse disminuye hasta un mínimo de agudeza visual, que es el promedio de unos 20 segundos. Este ángulo representa el paralaje mínimo que permite ver estereoscópicamente un objeto hasta una distancia aproximada de 650 m, que variará en función de la agudeza visual.

Todo esto nos da la estereoscopia natural, pero como ya se dijo, al tomar fotos consecutivas de una serie de objetos, en la zona de traslape se puede tener una zona estérea.

Imágenes estereoscópicas: Para poder observar correctamente una imagen estereoscópica, cada ojo debe ver solamente la imagen que le corresponde. Para ello se han ideado diversos sistemas:

VISIÓN LIBRE PARALELA

Los ojos observan cada uno su imagen correspondiente, manteniendo sus ejes ópticos paralelos, es decir, como si mirásemos al infinito. Sólo puede usarse este método con imágenes no superiores a 65 milímetros entre sus centros. Es el método usado para ver las imágenes de los libros con estereogramas de puntos aleatorios ("ojo mágico").

VISIÓN LIBRE CRUZADA

Las imágenes se observan cruzando los ejes ópticos de los ojos. El par estéreo se presenta invertido, es decir, la imagen derecha está situada a la izquierda y viceversa. Podemos ayudarnos mirando un lápiz situado entre nuestros ojos y las imágenes. Este método debe usarse con imágenes de dimensiones superiores a 65 milímetros entre sus centros, aunque la imagen virtual aparece más pequeña.

ANÁGLIFO



Se utilizan filtros de colores complementarios, como rojo y azul o rojo y verde. La imagen presentada por ejemplo en rojo no es vista por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero sí que ve la otra imagen en azul o verde. Este sistema, por su bajo costo, se emplea sobre todo en publicaciones, así como también en monitores de ordenador y en el cine. Presenta el problema de la alteración de los colores, pérdida de luminosidad y cansancio visual después de un uso prolongado. Normalmente se sitúa el filtro rojo en el ojo izquierdo, y el azul en el ojo derecho.

POLARIZACIÓN

Se utiliza luz polarizada para separar las imágenes izquierda y derecha. El sistema de polarización no altera los colores, aunque hay una cierta pérdida de luminosidad. Se usa tanto en proyección de cine 3D como en monitores de ordenador mediante pantallas de polarización alternativa. Hoy día es el sistema más económico para una calidad de imagen aceptable.



ALTERNATIVO

Con este sistema se presentan en secuencia y alternativamente las imágenes izquierda y derecha, sincronizadamente con unas gafas dotadas con obturadores de cristal líquido (denominadas LCS, Liquid Crystal Shutter glasses o LCD, Liquid Crystal Display glasses), de forma que cada ojo ve solamente su imagen correspondiente. A una frecuencia elevada, el parpadeo es imperceptible. Se utiliza en monitores de ordenador, TV y cines 3D de última generación.

HEAD MOUNTED DISPLAY (HMD)

Un HMD (Figura 22), es un casco estereoscópico que porta dos pantallas y los sistemas ópticos para cada ojo, de forma que la imagen se genera en el propio

dispositivo. Su principal uso hasta ahora ha sido la Realidad Virtual, a un costo prohibitivo y de forma experimental, aunque al bajar de precio aparecen otras aplicaciones lúdicas, como los videojuegos.



Figura 22

MONITORES AUTO-STEREO

Se están desarrollando prototipos de monitores que no precisan gafas especiales para su visualización. Todos ellos emplean variantes del sistema lenticular, es decir, microlentes dispuestas paralela y verticalmente sobre la pantalla del monitor, que generan una cierta desviación a partir de dos o más imágenes (normalmente de 2 a 8).

8.1.-EL MECANISMO DE LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

De manera natural nuestro mecanismo de visión es estéreo, es decir, somos capaces de apreciar, a través de la visión binocular, las diferentes distancias y volúmenes en el entorno que nos rodea. Nuestros ojos, debido a su separación, obtienen dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, a lo que

denominamos disparidad. Nuestro cerebro procesa las diferencias entre ambas imágenes y las interpreta de forma que percibimos la sensación de profundidad, lejanía o cercanía de los objetos que nos rodean. Este proceso se denomina estereopsis. La distancia interpupilar más habitual es de 65 mm, pero puede variar desde los 45 a los 75 mm.

En la estereopsis intervienen diversos mecanismos. Cuando observamos objetos muy lejanos, los ejes ópticos de nuestros ojos son paralelos. Cuando observamos un objeto cercano, nuestros ojos giran para que los ejes ópticos estén alineados sobre él, es decir, convergen. A su vez se produce la acomodación o enfoque para ver nítidamente el objeto. Este proceso conjunto se llama fusión. No todo el mundo tiene la misma capacidad de fusionar un par de imágenes en una sola tridimensional. Alrededor de un 5% de la población tiene problemas de fusión. La agudeza estereoscópica es la capacidad de discernir, mediante la estereopsis, detalles situados en planos diferentes y a una distancia mínima. Hay una distancia límite a partir de la cual no somos capaces de apreciar la separación de planos, y que varía de unas persona a otras. Así, la distancia límite a la que dejamos de percibir la sensación estereoscópica puede variar desde unos 60 metros hasta cientos de metros.

Un factor que interviene directamente en esta capacidad es la separación ínter ocular. A mayor separación entre los ojos, mayor es la distancia a la que apreciamos el efecto de relieve. Esto se aplica por ejemplo en los prismáticos, en los que, mediante prismas, se consigue una separación ínter ocular efectiva mayor que la normal, con lo que se consigue apreciar en relieve objetos distantes

que en condiciones normales no seríamos capaces de separar del entorno. También se aplica en la fotografía aérea, en la que se obtienen pares estereoscópicos con separaciones de cientos de metros y en los que es posible apreciar claramente el relieve del terreno, lo que con la visión normal y desde gran altura sería imposible. El efecto obtenido con una separación ínter ocular mayor que la habitual es el de que los objetos parecen más pequeños de lo normal (liliputismo), y la técnica se denomina hiperestereoscopía.

El efecto contrario se consigue con la hipoestereoscopía, es decir, con la reducción de la distancia ínter ocular, imprescindible para obtener imágenes estereoscópicas de pequeños objetos (macrofotografías), o incluso obtenidas por medio de microscopios.

9.-CÁMARAS FOTOGRAMÉTRICAS

Las cámaras aéreas, son sensores diseñados especialmente para tomar fotografías, desde plataformas aéreas (aviones, globos, etc.), las que se caracterizan por poseer un tiempo de exposición muy corto, debido a que están en movimiento durante la exposición. Estas cámaras presentan obturadores de gran eficiencia y emulsiones de variada velocidad, sensibles a las longitudes de onda comprendidas entre la radiación ultravioleta y el infrarrojo reflejado (0,30 a 0,91 micrones aprox.).

Las cámaras aéreas, son instrumentos que recogen la información básica necesaria, para la Aerofotogrametría y la Fotointerpretación, obteniendo

imágenes que deben ser de óptima calidad, tanto cualitativa como cuantitativamente.

La clasificación de las cámaras aéreas puede ser hecha tomando como criterio de clasificación diferentes elementos, sin embargo, los criterios corrientemente empleados son según: formato, campo angular, uso e inclinación del eje de la cámara.

1. Según el Formato

Se distinguen cámaras con y sin formato. Las primeras son aquellas en que el formato o recuadro, generalmente rectangular o cuadrado, es expuesto a través del objetivo de la cámara (conjunto de lentes), permaneciendo fijo durante el tiempo de exposición. Los recuadros más usados son de 9x12 cm, 12x18 cm, 18x18cm y el más común de 23x23 cm. La exposición es controlada por el tiempo y abertura del diafragma y, desde el punto de vista práctico puede considerarse instantánea.

Las cámaras sin formato, son aquellas en la imagen se registra en forma continua, y se refieren especialmente a las cámaras panorámicas y cámaras continuas.

- Las cámaras panorámicas, se caracterizan porque el terreno es barrido de lado a lado, en dirección perpendicular a la línea de vuelo, obteniéndose una imagen de buena resolución y en la que se ven ambos horizontes.
- Las cámaras continuas, producen la imagen de una faja de terreno exponiendo, a través de un orificio fijo, una película que se mueve constantemente, a una velocidad sincronizada con la velocidad del terreno.

2. Cámaras aéreas según su campo angular

a) *Cámara normal*: Son aquellas que tienen un campo angular reducido, entre 50° y 75° , con una distancia focal de aproximadamente 210 mm. (Fig. 23)

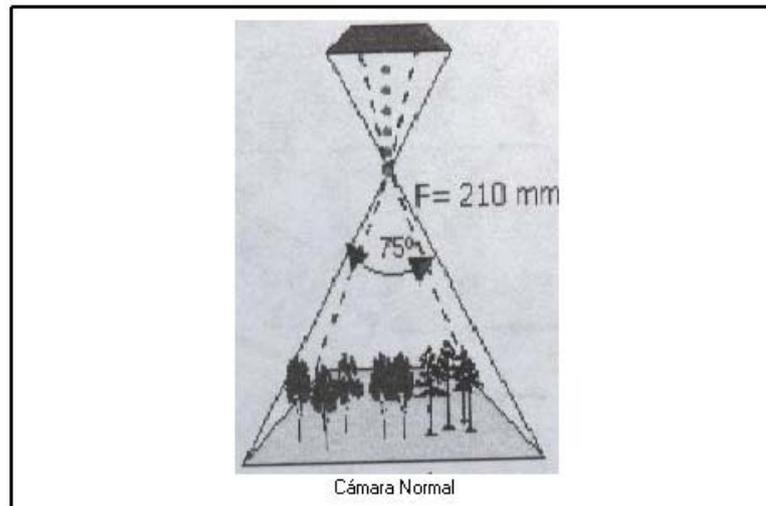


Figura 23

a) *Cámara granangular*: Son aquellas que tienen un campo angular de 75° a 100° , y una distancia focal de aproximadamente 150 mm. (Fig. 24)

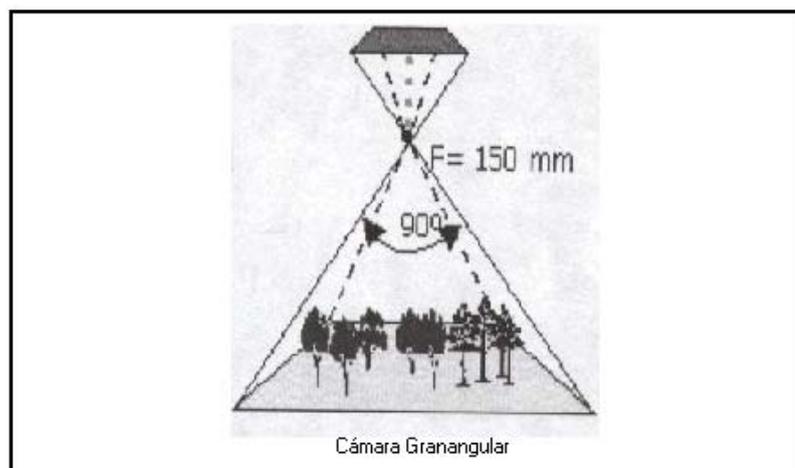


Figura 24

- b) *Cámara supergranangular*. Son aquellas que tienen un campo angular que sobrepasa los 100° y una distancia focal de aproximadamente 90 mm. (Fig. 25)

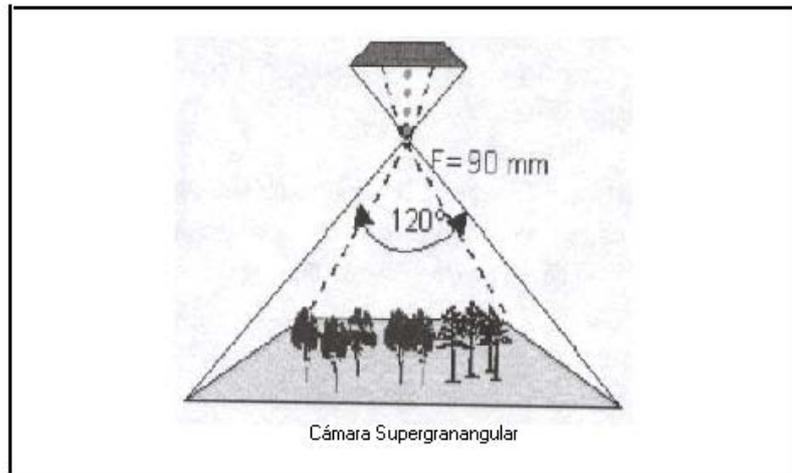


Figura 25

3. Cámaras aéreas según su uso

a) *Cámaras de reconocimiento o no métricas*: Son instrumentos que permiten obtener imágenes para la identificación de objetos, generalmente de pequeña escala. Las fotografías que se obtienen por medio de estas cámaras no son aptas para realizar mediciones confiables.

b) *Cámaras métricas o cartográficas*: Son instrumentos de mucha precisión que tienen por objeto producir fotografías para realizar todo tipo de mediciones. Su orientación interna es estable (calibración de la distancia focal, marcas fiduciales, plano focal, etc.)

4. Según la Inclinación del eje de la cámara

De acuerdo con la inclinación del eje de la cámara con respecto a la vertical, las fotografías pueden ser verticales, inclinadas, muy inclinadas y terrestres, en las primeras, el eje óptico y la vertical forman un ángulo menor a 3° . Las inclinadas y muy inclinadas, forman un ángulo comprendido entre los 3° y 90° . Por último, en las terrestres el ángulo es de 90° .

PARTES PRINCIPALES DE LA CAMARA (10)

Los principales componentes de una cámara métrica son (Figura 26):

- Almacén (para películas o placas)
- Cuerpo (incluyendo el sistema de funcionamiento)
- Cono (objetivo, obturador, filtros, diafragma y cono interno)
- Equipo Accesorio (controles de cámara, instrumentos auxiliares, anteojos de observación, etc.)

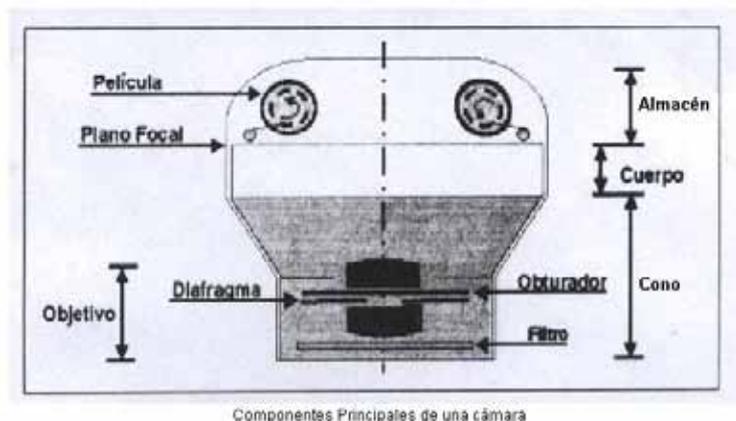


Figura 26

(10) "Cartografía y fotogrametría forestal" –Carlos Mena Frau, Pag. 25

Cámaras Aéreas en el SAF (Servicio Aereofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile)

El Servicio Aerofotogramétrico, cuenta para su labor con cámaras aéreas Wild RC-10, Zeiss RMK y LEICA RC-30.

a) Cámara Wild RC-10. (Fig. 27)

Esta cámara aérea métrica de distancia focal calibrada es de procedencia suiza, obtiene fotogramas de 23 x 23 cm. Los conos objetivos se colocan directamente en el dispositivo de suspensión. Sus Cono Objetivos son:

*88 m/m 120° súper gran angular.

*152 m/m 90° gran angular

*210 m/m 60° normal

*304 m/m 50° teleobjetivo

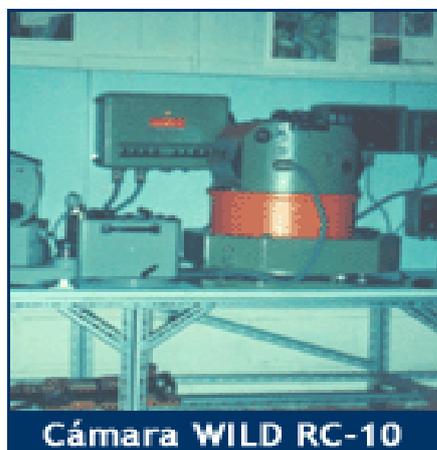


Figura 27

b) Cámara Zeiss RMK. (Fig.28)

Su funcionamiento es enteramente manual que requiere de dos operadores, posee un formato de 23 x 23 cm. El regulador de recubrimiento IRU controla las funciones de enfoque y obturación además de un sistema de compensación de imagen.

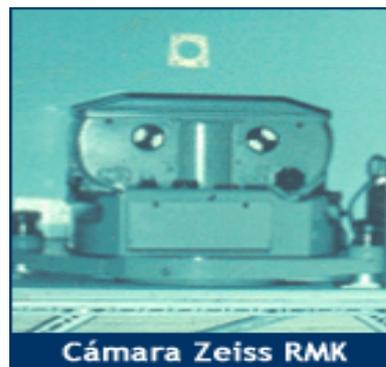


Figura 28

c) Cámara Leica RC-30 (Fig.29)

Cámara recientemente adquirida por el S.A.F Cuenta con grandes avances; un sistema de control totalmente integrados al cuerpo, avances ópticos, sistema de compensación del movimiento de imagen y un sistema computacional que permite la planificación y control del vuelo.



Figura 29

10.-Aviones Fotogramétricos

El Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, cuenta con cámaras aéreas y aviones (Figura 30) especialmente modificados para las labores fotogramétricas. Sus características (Figura 31), permiten cumplir un variado tipo de misiones en las diversas regiones del país.



Figura 30

Tipo	Techo Máximo	Autonomía Vuelo	Velocidad de Crucero	Nº de Pasajeros	Usos Escalas
Lear Jet	45.000 ft	4.30	420 nudos	10	15.000 - 100.000
King Air	31.000 ft	6.00	210 nudos	9	4.000 - 30.000
Twin Otter	27.000 ft	4.30	140 nudos	15	2.000 - 5.000

Figura 31

11.- DATOS QUE APARECEN EN LAS FOTOGRAFÍAS AEREAS (Figura 32)

- Distancia focal: distancia entre el foco de la lente y el negativo de la película, oscilará entre 35 y 325 mm.
- Identificación del vuelo.
- Número de vuelo.
- Número de foto, aparece siempre.
- Escala media de la fotografía.
- Zona geográfica.
- Norte geográfico.
- Empresa y Año.
- N° de serie de la cámara.
- Hora, imprescindible.
- Marcas fiduciales, si se unen nos da el punto central de la foto, si la foto es vertical corresponde al nadir, hay cuatro, y siempre deben aparecer.
- Altimetro, nos da la altura sobre el nivel del mar, ésta no es la altura del vuelo, se mide en pies y se pasa a metros.

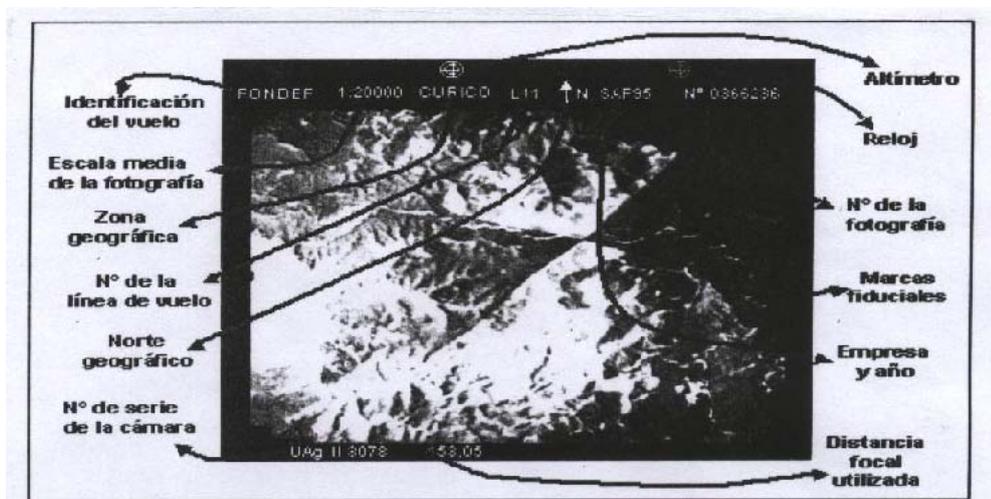


Figura 32

12.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAFIA AEREA (11)

a. *Ventajas:*

- i. Permite la obtención de detalles.
- ii. Obtención rápida y económica de datos en relación a otros recogidos en terreno.
- iii. Permite la recolección de información sobre áreas de difícil acceso.
- iv. Se puede estudiar fácilmente la evolución de un fenómeno en cualquier estado de su fase de desarrollo.

b. *Desventajas:*

- i. Una fotografía o un conjunto de ellas no poseen la misma escala.
- ii. La obtención de fotografías aéreas utilizables requiere de condiciones climáticas especiales.
- iii. Si el uso actual del terreno cambia rápidamente, la fotografía pierde actualidad en muy poco tiempo.

(11) "Cartografía y fotogrametría forestal"-Carlos MENA Frau, Pag. 27

La fotografía aérea es considerada un fotograma, porque ha sido tomada con una cámara métrica, en la cual la distancia entre el plano del negativo y el punto nodal de la imagen del objetivo es conocido exactamente. La cámara esta provista de unas marcas fiduciales que definen el punto principal.

La fotografía aérea tiene una proyección central, lo que produce una aberración (12) en las partes extremas de una fotografía.

(12) **Aberración:** Deficiencia óptica de un objetivo que da lugar a imágenes faltas de nitidez o deformadas. Ningún objetivo es perfecto y la corrección de las aberraciones es uno de los aspectos más importantes del diseño. Por lo general se logra combinando lentes simples de manera que las aberraciones de una sean corregidas por las aberraciones opuestas de otra.

CAPITULO III: “EL VUELO FOTOGRAMETRICO”

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el volar una determinada zona geográfica a altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias o pasadas (que se describen en las Figuras 33 y 34), paralelas entre sí mediante su control de deriva.

Dentro de una pasada, la cámara ira tomando exposiciones de terreno, asegurando un traslape o recubrimiento longitudinal prefijado entre fotogramas adyacentes. Entre dos pasadas consecutivas, generalmente voladas en sentido inverso, existirá otro traslape o recubrimiento transversal, previamente fijado.



Figura 33

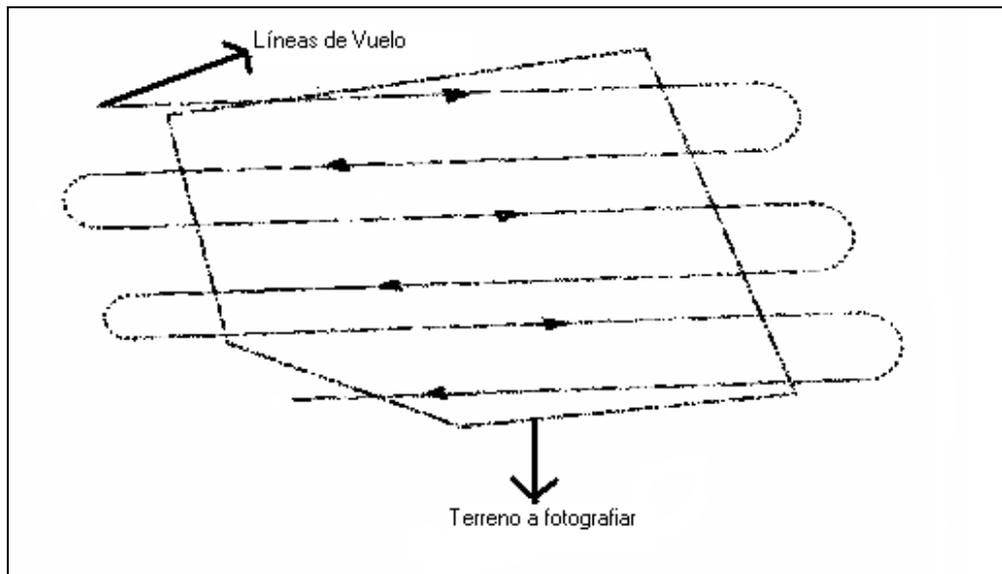


Figura 34

1. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Las especificaciones técnicas se refieren a la recopilación de datos, con los cuales se efectuará el proyecto como por ejemplo.

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Usuario | : Aerotop |
| 2. Zona | : Planta Celulosa Arauco |
| 3. Escala | : 1:5.000 |
| 4. Focal | : 153 mm |
| 5. Película | : Plus x 2402 |
| 6. Cámara | : Wild RC-10 |
| 7. Formato de fotograma | : 23 x 23 cm. |
| 8. Recubrimiento longitudinal | : 60% +- 05% |

- 9. Recubrimiento lateral : 30% +- 2%
- 10. Avión : King Air

2. FACTORES IMPORTANTES

Aparte de las especificaciones técnicas hay que tener en cuenta los siguientes factores o exigencias necesarias para la realización del proyecto:

- 1.- Uso de la fotografía aérea (cuantitativo o cualitativo)
- 2.- Finalidad del producto deseado (mapa, plano, mosaico)
- 3.- Especificaciones de exactitud
- 4.- Formas y tamaño del área que se debe fotografiar
- 5.- relieve que hay en el área
- 6.- Escala necesaria del modelo
- 7.- Latitud de toma de las fotografías (altitud solar)

3. ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA

La escala de la fotografía se determina como una función representativa en la misma forma en que se designa la escala de un mapa. Sin embargo, la escala de la fotografía es solo aproximada, a causa de los tantos cambios de la escala de ésta.

La escala de la fotografía viene dada por la relación:

$$E = \frac{c}{H}$$

c = distancia principal (también f)

H = Altura de vuelo sobre el terreno

En un perfil de terreno no llano (Figura 35), existirán infinitos valores de escala. Por ello, al referirnos a la escala de una fotografía, lo estamos haciendo a un valor medio, respecto a un plano de referencia, elegido con el criterio de que se encuentre equidistante, entre el plano tangente a las mayores elevaciones (H_2), y al de mayores depresiones (H_1), donde:

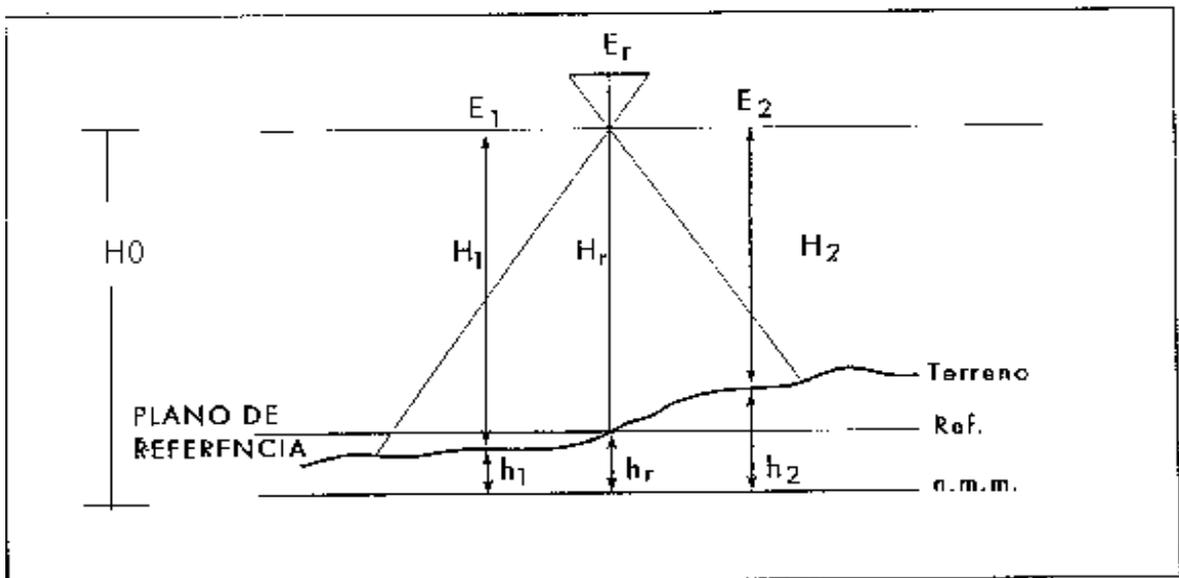


Figura 35

H_0 = altura de vuelo sobre nivel medio del mar

H_1 = altura de vuelo sobre las máximas depresiones del terreno

H_2 = altura de vuelo máximas de elevaciones del terreno

H_r = altura de vuelo sobre el plano de referencia

h_1 , h_2 , h_r = altitudes de los puntos notables del terreno y del plano de referencia.

Las escalas máximas (E2) y mínima (E1) resultantes, deberán ajustarse lo mejor posible para que sus discrepancias con la escala media (Er), no excedan del $\pm 10\%$ de esta última.

La escala aproximada de una fotografía se puede calcular. Por la razón entre las distancias medias en la foto y sus correspondientes sobre el terreno o un plano. O bien, por el conocimiento de la altura de vuelo que registra el altímetro de la cámara, y la distancia principal de esta.

Se debe tener en cuenta que el altímetro está referido al nivel medio del mar por lo que, para conocer la escala de una fotografía con el referido indicador, será preciso restar la altitud del plano de referencia, al valor que indica el contador altimétrico en el fotograma.

La altura de vuelo (H-h) es la elevación en metros sobre el promedio de la altura del terreno (h).

1.- Para determinar la escala de una fotografía aérea (vertical) en forma de fracción representación, se usa la altura de vuelo (H-h) y la distancia focal (f) de la cámara en la fórmula.

$$\text{Escala de la foto} = \frac{f}{H - h}$$

Al usar esta fórmula se debe tener cuidado en expresar tanto la distancia focal (f) como la altura de la cámara (H-h) en la misma unidad de medida lineal.

Ejemplo: Si f es igual a 152,4 mm.

H es igual a 10.668 m.

h es igual a 1.524 m.

Entonces:

$$\text{Escala de la foto} = \frac{f}{H-h} = \frac{152,4\text{mm}}{10.668-1.524\text{mts}} = \frac{0,1524\text{mts}}{9144\text{mts}} = \frac{1}{60.000}$$

2.- Para determinar la distancia en el terreno, del lado de una fotografía vertical, se puede usar la siguiente fórmula:

$$\frac{f}{\text{dist. foto}} = \frac{H-h}{X}$$

Donde: f = distancia focal de la cámara

Lado de la foto = en la misma unidad que f

$H-h$ = altura de vuelo sobre el terreno medio

X = es el resultado (distancia en el terreno) en las mismas unidades que $H-h$

Ejemplo: Si $f = 152.4$ mm.

$H-h = 5000$ mts.

Lado de la foto = 228.6 mm.

X = resultado en metros

$$\frac{152.4\text{mm}}{228.6\text{mm}} = \frac{5000\text{mts}}{X}$$

$$152.4X = 1143000$$

$$X = 7500\text{mts}$$

Usándose esta fórmula se puede determinar la equivalencia de cualquier distancia de la fotografía en el terreno, cuando se distribuye la distancia del lado de la foto por la distancia deseada (en la foto).

Ejemplo: Sí $f = 152.4 \text{ mm}$.

$H-h = 5000 \text{ mts}$.

Dist. en la foto = 7.62 cm .

$X = \text{Dist. en terreno (en metros)}$

Entonces:

$$\frac{152.4\text{mm}}{7.62\text{cm}} = \frac{5000}{X}$$

$$\frac{152.4\text{mm}}{76.20} = \frac{5000\text{mt}}{X}$$

$$152.4 X = 381,000 \text{ mts.}$$

$$X = 2500 \text{ metros}$$

Por lo tanto 7.62 cm en la foto son iguales a 2500 metros en el terreno.

3.- Para determinar la escala de la fotografía usando un mapa de escala conocida se utiliza la siguiente fórmula:

Dist. en el mapa = 127.0 mm.

Escala del mapa = 1:10,000

Dist. en la foto = 50.8 mm.

Escala de la foto = $\frac{\text{Dist. foto} * \text{Escala mapa}}{\text{Dist. Mapa}}$

$$\text{Escala de la Foto} = \frac{50.8}{127.0} * \frac{1}{10,000}$$

$$\text{Escala de la Foto} = \frac{50.8}{1,270,000} = \frac{1}{25,000}$$

$$E = 1:25.000$$

4. PLANIFICACION DE UN VUELO FOTOGRAMETRICO

Una vez obtenidos los datos de las especificaciones técnicas y los factores importantes a considerar se puede empezar a efectuar la planificación de un vuelo, para lo cual se utilizarán en este ejercicio, a modo de ejemplo, los datos mencionados anteriormente.

Escala	= 1:5000
Focal	= 153 mm.
Formato del fotograma	= 23 * 23 cm.
Recubrimiento longitudinal	= 60% ± 05%
Recubrimiento lateral	= 30% ± 20%
Tipo de avión	= King Air

4.1.- Abarcamiento total de cada foto en el terreno (S)

Se multiplica el denominador de la escala por el formato del fotograma (S).

$$S = E * s$$

$$S = 5000 * 0.23 \text{ mts.}$$

$$S = 1,150 \text{ mts.}$$

Donde E: Denominador de la escala (1:5000)

s: formato (23 cm.)

S: abarcamiento total de cada foto en el terreno.

4.2.- Distancia entre líneas de vuelo (D)

Se multiplica el abarcamiento total (S) por 0.7 (siempre y cuando el recubrimiento lateral sea 30%)

$$D = S * 0.7$$

$$D = 1,150 \text{ mts.} * 0.7$$

$$D = 805 \text{ mts.}$$

Donde S : Abarcamiento total (1,150 mts.)

0.7 : 70% (diferencia del 30%)

D : x

4.3.- Avance entre foto y foto (a)

Se multiplica el abarcamiento total por 0.40 (siempre y cuando el recubrimiento longitudinal sea 60%)

$$a = S * 0.40$$

$$a = 1,150 \text{ mts.} * 0.4$$

$$a = 460 \text{ mts.}$$

Donde S : Abarcamiento total (1,150 mts.)

0.4 : 40% (diferencia del 60%)

a : x

4.4.- Cantidad de líneas de vuelo

La cantidad de líneas de vuelo esta dada por el cuociente entre el ancho de la zona y la distancia entre líneas.

Se deben trazar en la carta de acuerdo a la distancia entre líneas (D). La orientación de las líneas de vuelo deberá estar de acuerdo a la topografía del terreno, esto para evitar diferencias excesivas en la escala dentro de una misma línea de vuelo.

Ancho de la zona = 2800 mts.

$$\frac{A}{D} = \frac{2800}{805} = 3.478 \approx 4 \text{lineas}$$

En el caso que no sea un entero exacto se debe obligatoriamente aproximar al superior (en caso contrario quedaría una zona sin ser fotografiada), además también es necesario considerar que la primera línea de vuelo debe quedar cubriendo un 30% del abarcamiento total de la foto fuera del límite o borde de la zona de trabajo, por donde se ha planificado comenzar a marcar la carta. Es aconsejable, además alargar cada línea fuera del límite de zona en un 70% del abarcamiento total de la foto.

4.5.- Cantidad de kilómetros lineales

Esta dado por el largo de la zona de vuelo, el cual no tiene porque ser constante en toda el área de vuelo a fotografiar. Se mide en la carta y para este ejemplo vamos a suponer 14.8 kilómetros por línea y luego se suman.

L-1 : 14.8 km.

L-2 : 14.8 km.

L-3 : 14.8 km.

L-4 : 14.8 km.

Total = 59.2 km.

4.6.- Cantidad de fotos

Se dividen los kilómetros lineales obtenidos por el avance (a).

$$\text{Fotos} = \frac{\text{kms. lineales}}{a} = \frac{59.2}{0.46} = 128.69 \approx 129 \text{ fotos}$$

4.7.- Cantidad total de fotos

Al total de fotos se le deben sumar 4 por línea de vuelo planificado.

$$\begin{aligned} \text{Total de fotos} &= \text{fotos} + (4 \times \text{cantidad de línea de vuelo}) \\ &= 129 + (4 \times 4) \\ &= 129 + 16 \\ &= 145 \text{ fotos} \end{aligned}$$

4.8.- Cantidad de metros de película

a.- Para carpeta de ejecución de vuelo

El total de fotos obtenidas se divide por 4 (debido a que de un metro de película se obtienen 4 fotos), y se suman 5 mts. que se ocupan para embobinarla.

$$\begin{aligned} \text{Metros de película} &= \frac{\text{total de fotos} + 5 \text{ mts.}}{4} \\ &= \frac{145 + 5}{4} \\ &= 41.25 \text{ metros de película} \end{aligned}$$

b.- Para presupuesto

Al total de fotogramas se le debe agregar un porcentaje para cubrir la posibilidad de repetir una línea ya sea problemas meteorológicos o de navegación.

4.9.- Cálculo de tiempo de vuelo directo

Es el que se realiza exclusivamente con la cámara operando y tomando fotografías en las líneas de vuelo planificadas más 5 minutos por cada línea de vuelo (entrada y salida). Se tomarán los kilómetros lineales obtenidos y se transformarán en millas náuticas (1 milla náutica equivale aproximadamente a 1,852 metros).

$$\text{Millas náuticas} = \frac{\text{kilómetros lineales}}{1,852} = \frac{59,2}{1,852} = 31,965 \text{ millas}$$

Para este ejercicio se debe considerar que el King Air avanza a 3 mn/min.

$$\text{Horas de vuelo directo} = \frac{\text{mn. lineales}}{3 \text{ mn./min.}} + (5 \text{ min.} \times \text{cant. líneas})$$

$$= (31.965/3) (5 \times 3)$$

$$= 25.655 \text{ min.}$$

4.10.-Cálculo de tiempo de vuelo indirecto

Se medirá en mn(millas náuticas), desde Cerrillos a la zona de vuelo, y se considerará una ida, un regreso y otra ida sin regreso, se procederá de la misma forma todas las veces que sea necesario, tomando en cuenta la autonomía del avión.

Cerrillos – Arauco = 240 MN

$$\begin{aligned}\text{Tiempo de vuelo indirecto} &= \frac{\text{Dist. Cerrillos / Zona de vuelo} \times 3}{3 \text{ mn. / min.}} \\ &= \frac{240 \times 3}{3} \\ &= 240 \text{ min.} = 04:00' \text{ hrs.}\end{aligned}$$

4.11.- Total de tiempo de vuelo

Tiempo directo + tiempo indirecto

$$25.655 \text{ min.} + 240 \text{ min.}$$

$$265.655 \text{ min.}$$

$$04:25'$$

4.12.- Cálculo de la altura de vuelo (H)

Cálculo de la altura de vuelo a que se debe volar respecto al terreno para obtener una escala 1:5.000

$$H = \text{Escala} \times \text{focal (mts.)}$$

$$H = 5.000 \times 0.153$$

$$H = 765 \text{ mts.}$$

$$H = 2.509,2 \text{ pies (para transformar mts. a pies multiplicar por 3.28)}$$

4.13.- Cálculo de la altitud promedio del terreno

Es la suma de las máximas y las mínimas altitudes que presenta el terreno a través de toda la trayectoria que debe cubrir la línea de vuelo planificada.

$$h = \frac{5 \text{ mts.} + 10 \text{ mts.} + 18 \text{ mts.}}{3}$$

$$h = \frac{33}{3}$$

$$h = 11 \text{ metros}$$

$$h = 36 \text{ pies}$$

4.14.- Altura indicada

Es la suma de la altura (H), más la altitud promedio (h) del terreno.

$$\begin{aligned}\text{Altura indicada} &= H + h \\ &= 2.509,2 \text{ pies} + 36 \text{ pies} \\ &= 2.545 \text{ pies}\end{aligned}$$

4.15.- Error máximo de navegación

El máximo permitido en la navegación de una línea de vuelo es de 10% del abarcamiento total a ambos lados del eje de la línea de vuelo, lo que le dará como resultado un mínimo de 10% a un máximo de 50% de recubrimiento lateral. Este margen de error deberá ir marcado en la carta como una línea segmentada a ambos lados de cada línea de vuelo.

4.16.- Rumbo magnético de cada línea de vuelo

Se determina el acimut con respecto al norte geográfico en grado de cada línea de vuelo y, posteriormente, se le resta la variación magnética correspondiente a la zona de vuelo.

4.17.- Hora fotogramétrica

La altitud escogida para fotogrametría va a determinar la altura del sol y las posibles horas fotogramétricas de vuelo. La altura óptima del sol para fotogrametría va a depender de la topografía del terreno. Por esta razón se ha tomado como inclinación mínima de 30° con respecto al horizonte como valor límite ordinario.

4.18.- Hora local fotogramétrica

Para obtener la hora local a volar, a la UTC (Universal Coordinated Time) obtenida anteriormente se le restan 04:00 hrs. en horario de invierno y 03:00 hrs en horario verano

Hora local invierno = UTC – 4 hrs.

Hora local verano = UTC – 3 hrs.

4.19.- Carpeta de vuelo

Una vez realizada la planificación y aprobado el presupuesto, junto con otros conductos internos a seguir (propios de sistema S.A.F.), se procede a la confección de una carpeta con todos los antecedentes, entre los cuales se encuentran:

1.- Formulario con altura de vuelo indicado, de cada faja, rumbo general y coordenadas para el equipo de navegación inicial (tres ejemplares)

2.- Carta de navegación con las líneas de vuelo marcadas en forma clara.

La carta debe ser la más adecuada para la escala de vuelo.

3.- cartas a usar para planificación.

a.- Planes a escala 1:30.000 y denominador menor en cartas a escala 1:50.000.

b.- Planes a escala 1:30.000 y denominador mayor en cartas 1:250.000

4.- Carta a escala 1:250.000 con zona marcada para una ubicación general

5.- Carta escala 1:1.000.000 en caso necesario

Estos antecedentes serán entregados a la sección control de calidad, en donde se revisarán y enviarán a la Escuadrilla de operaciones para su ejecución.

5. FACTORES ADVERSOS

Para los cálculos y el esquema de vuelo, se han supuesto condiciones ideales y se asumen criterios que en la práctica no se aplican, debido a diversos motivos.

Las condiciones que se suponen son:

- 1.- Las fotografías son verticales
- 2.- Las líneas de vuelo son paralelas
- 3.- Los recubrimientos son constantes
- 4.- No existen fallas humanas
- 5.- La cámara se halla perfectamente calibrada y el lente no tiene distorsión.

Estas condiciones ideales se ven afectadas en la práctica, por factores atmosféricos, el viento, las corrientes, las vibraciones de la cámara, fallas en la operación, fallas humanas etc. Por esto las fotografías no salen perfectamente verticales, ni las líneas suelen ser paralelas. Las nubes aparecen en las fotografías en mayor o menor calidad o faltan los sistemas auxiliares de vuelo, etc. Esto hace necesario efectuar una inspección del vuelo ejecutado, comparando el resultado obtenido con lo planificado inicialmente y con las especificaciones o tolerancias admisibles.

6. CONTROL DE CALIDAD

Para asegurarse que la fotografía aérea es adecuada para los requisitos aéreos del proyecto y que todos los trabajos afines que de ellos se deriven,

(como por ejemplo: Copias fotográficas, diapositivas, ampliaciones, etc.) serán de utilidad para el usuario, es imprescindible que sean inspeccionadas por especialistas en calidad aerofotogramétrica antes de ser entregadas al usuario.

El criterio básico para el juicio de control dependerá del propósito específico para el cual se necesite el proyecto.

Las especificaciones de cada servicio definirán los requisitos que aseguren la máxima calidad de cada uno de los trabajos encomendados.

7. INSPECCION DE VUELO

Después de terminado el vuelo fotogramétrico es aconsejable que los negativos sean revelados y copiados a la brevedad, para hacer una evaluación de la misión y observar si las especificaciones establecidas con anterioridad han sido satisfechas.

Análisis del negativo:

Una vez procesada la película aérea debe analizarse el proceso fotográfico, si la emulsión no presenta problemas, si la exposición fue correcta y si el revelado y secado se hicieron en condiciones normales.

Luego se comienza a verificar otras especificaciones, como por ejemplo, información auxiliar, porcentajes de nubes o sombras, ralladuras, raspaduras, marcas de estática, funcionamiento de la bomba de vacío (aplanamiento), etc.

Una vez concluida esta fase se debe medir densitométricamente el negativo, y ver si cumple con los requisitos solicitados por el usuario.

Defectos más comunes

Los problemas que se pueden presentar en un negativo son múltiples, pero en general son motivados por un error en el manejo de la película durante la exposición o en proceso de revelado como falla del operador o laboratorista.

A continuación se detallan algunos de estos efectos y las posibles causas que lo pueden producir.

- Negativo poco denso, sin detalle en las sombras: La exposición fue insuficiente o el revelado fue poco; o bien, se hizo revelador frío o débil. Se puede diferenciar entre una y otra razón analizando el recuadro de la fotografía (que no ha sido expuesta y solo ha sido revelado).
- El negativo es muy denso: Demasiado tiempo de exposición o revelado, se puede diferenciar por un análisis similar al anterior.
- Al observar el negativo, este parece blancuzco: El proceso de fijado ha sido insuficiente; tiempo muy corto o fijador muy débil.
- El negativo después de seco no es completamente plano: El calor ha sido excesivo durante la etapa de secado.
- El negativo presenta líneas negras ramificadas: La electricidad estática generada durante el transporte de la película puede producir descargas que aparecen en forma de líneas negras ramificadas en el negativo.
- El negativo presenta puntos o líneas muy cortas y transparentes: La emulsión estaba cubierta de polvo lo que impidió la acción de la luz.
- Zona del negativo desenfocado: Si es una cámara con sistema de vacío para aplanar la película, este no ha funcionado correctamente. También puede

ser una suciedad en el lente de la cámara. Si es una línea difusa puede haber sido causada por cables sueltos debajo de la cámara.

- Defectos en los registros auxiliares: Si la imagen aparece es por que se ha movido la película antes que las lámparas estuvieran completamente apagadas.

8. CONTROL DE VUELO

En todo vuelo aerofotogramétrico lo óptimo e ideal es que la línea o líneas voladas pasen exactamente sobre la línea planificada y trazada en la carta, pero no siempre es así, por eso es permitido un error máximo de un 10% del abarcamiento total del fotograma.

Para el control de ésta y otras exigencias del vuelo, se hace un copiado en papel del negativo, se arman las líneas (se corchetean) y se procede a evaluar lo siguiente:

a.- Traslape o recubrimiento longitudinal:

Todo vuelo aerofotogramétrico para fines cartográficos no debe tener menos del 53% ni más de 65% en el sentido longitudinal, manteniendo un promedio general de toda la línea de 56%. En áreas donde existen enormes variaciones de elevación de terreno, no debe haber un valor máximo para el traslape a lo largo del borde delantero. Este control se realiza con plantillas de película transparente del tamaño de la foto sectorizada en porcentaje. La Figura 36 grafica el traslape que debe haber entre cada toma fotográfica en el sentido longitudinal.

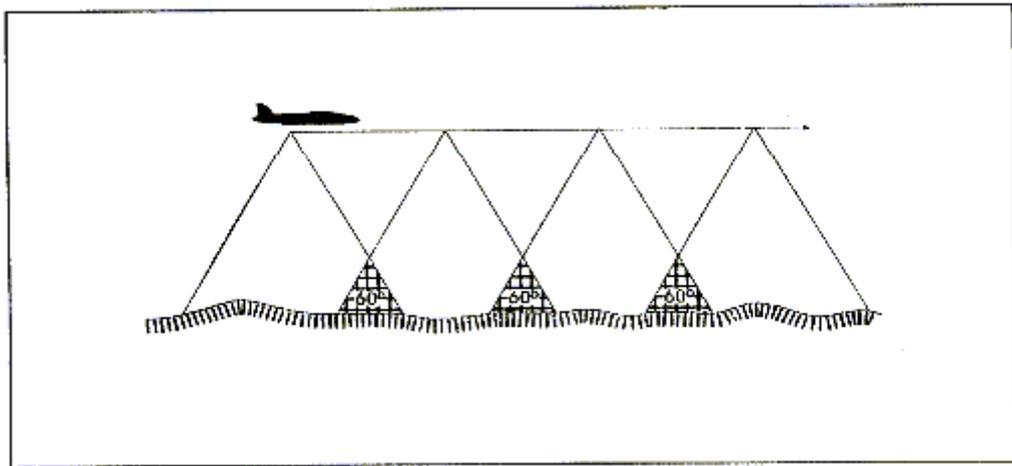


Figura 36

b.- Traslape o recubrimiento lateral:

Para cubrir un área en la cual se necesitan dos o más líneas de vuelo, estas deben cubrirse lateralmente en un 30%, permitiendo en algunos casos específicos un mayor traslape lateral, no pudiendo aceptar menos de un 10%. Esto se puede apreciar en la figura 37.

El traslape lateral se determinará después de efectuar el control de la deriva, inclinación del avión, relieve y otros factores solicitados por el usuario.

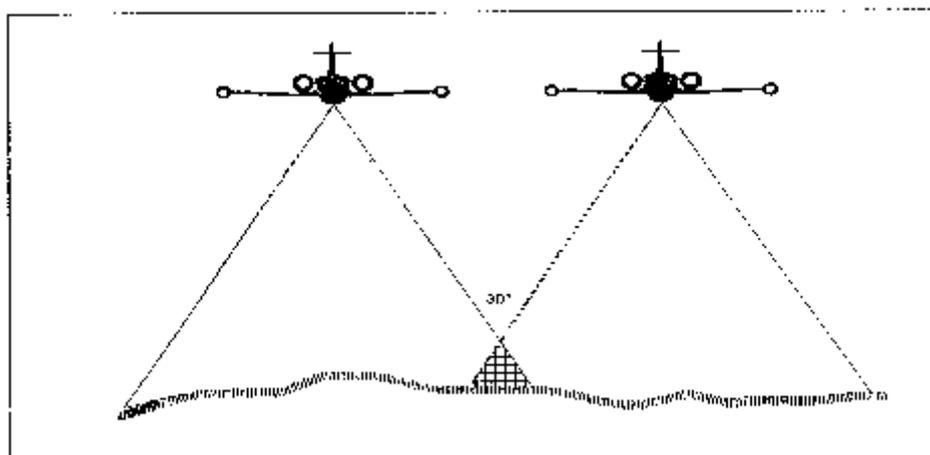


Figura 37

c.- Deriva:

La deriva no debe exceder más allá de los 10° , se aprecia en la Figura

38.

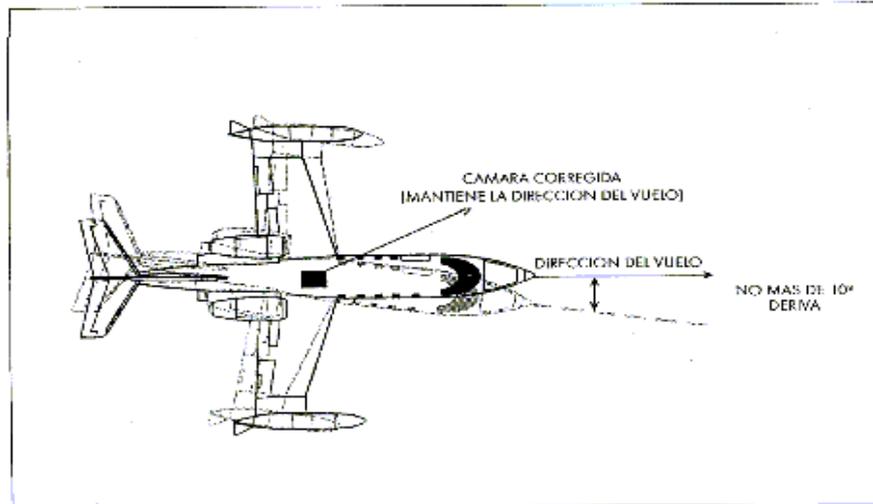


Figura 38

d.- Inclinación:

Esta no debe exceder de 4° para ninguna exposición (fotograma) en la línea de vuelo y de $1,5^\circ$ como promedio para todo el proyecto. (Figura 39)

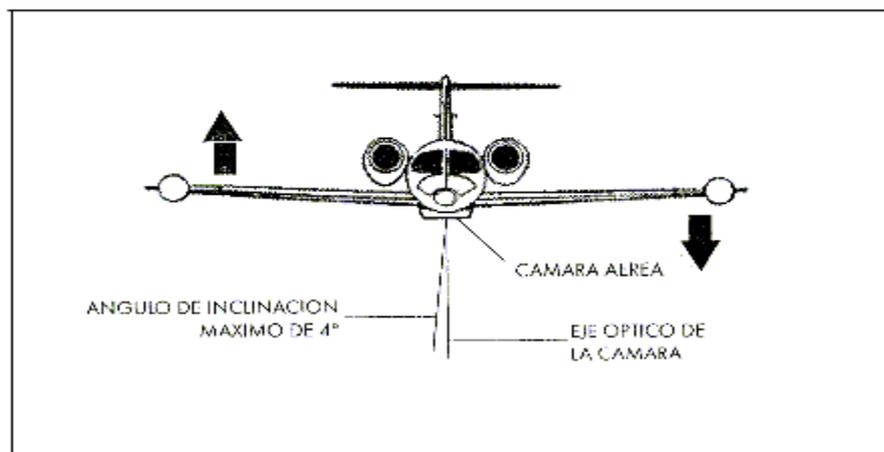


Figura 39

Para este control se utiliza la misma plantilla utilizada para el recubrimiento longitudinal.

Para una mayor precisión de este control se hacen un par de diapositivas, las cuales se colocan en el aparato de restitución y así se tiene una información exacta.

e.- Evaluación:

El promedio de evaluación es el análisis obtenido a través de la investigación de los puntos anteriores. Este análisis conduce la decisión de aceptar o rechazar la fotografía.

9. PRODUCTO FOTOGRAFICO

Todos los productos fotográficos que deriven de los vuelos aerofotogramétricos deben cumplir ciertas exigencias con respecto a la calidad.

Estos productos, después de salir del laboratorio, deben ser entregados a la sección control de calidad, donde se registra y controla lo siguiente: Tonalidad conforme a especificaciones y uso ópticos y mecánicos nítidos, información auxiliar clara y legible, presentación en general libre de impurezas y manchas.

Defectos más comunes:

La mayoría de los defectos que se detallan a continuación aparecerán en copias y ampliaciones sobre papel o película y son más comunes en el trabajo de laboratorio.

a.- Falta de nitidez:

Producida por mal contacto entre el negativo y la copia.

b.- Puntos blancos

Negativo con impurezas, polvo, etc.

c.- Manchas negras:

Papel salpicado por líquido revelador, o bien, se tocó el papel con las manos sucias.

d.- Rayas irregulares, líneas o ángulos con velo gris:

Los positivos estuvieron pegados durante el revelado y el revelador no pudo actuar uniformemente sobre toda la emulsión.

e.- Huellas digitales:

El papel seco ha sido tocado con las manos húmedas

f.- Color amarillento y reducción de contraste:

Aparecen al tiempo de haber realizado la copia y se deben a la falta de fijado o fijador muy débil.

10. INDICE DE VUELO

Para permitir una visualización rápida de un sector en la carta, se confecciona un índice de vuelo lineal, para el cual se utiliza un material poliéster transparente cuyo formato es de 61 x 77 cm.

Este índice de vuelo lineal consiste en una sobre posición del área que contiene líneas, mostrando la ubicación de las líneas de vuelo; a cada extremo de estas se colocará el número del centro en la foto que corresponda.

Cada índice de vuelo lineal deberá llevar en el extremo inferior izquierdo la siguiente información: zona, escala aproximada del vuelo, fecha de toma, focal de

la cámara, escala y nombre de la carta base, latitud y longitud en cada borde del índice con la carta.

Debido al avance en la fotogrametría apoyada por computadores es posible entregar los índices de vuelo en formato digital y si el cliente los quiere en papel, estos se pueden plotear.

CAPITULO IV: “SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA Y FOTOGRAMETRIA DIGITAL”

1.- SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

En Chile y en todo el Mundo, antes de 1985 las diferentes funciones de los profesionales de la cartografía topográfica estaban claras. Los geodestas realizaban lecturas detalladas con instrumentos y computaban los elementos que definían la forma básica del paisaje. A partir de esta información, los topógrafos completaban los detalles en el terreno y los operadores de fotogrametría proporcionaban un mapa previo utilizando la fotografía aérea. Los cartógrafos reconducían sus esfuerzos y presentaban todos estos datos de manera atractiva, al tiempo que comunicaban la información de forma efectiva evitando cualquier tipo de ambigüedad. Otros especialistas, como los geólogos, utilizaban estos mapas como base sobre la cual volcaban aquellos detalles que tenían interés para ellos.

Sin embargo, en la última década esta estructura se ha visto trastocada por la utilización de las nuevas tecnologías; la mayor parte del trabajo que exigía un cierto nivel de destreza ha ido desapareciendo debido a la información proporcionada por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y debido a los nuevos equipos de medición geodésica. Se han construido bases de datos en los programas de las computadoras que les permiten producir mapas con una calidad, legibilidad y rapidez superiores a las que se obtenían con antiguas técnicas.

El uso generalizado de las computadoras ha dado paso al desarrollo de un nuevo grupo de instrumentos denominados Sistemas de Información Geográfica cuya sigla es SIG. El primero se creó en Canadá en 1965 con el fin de realizar un inventario sobre la flora y fauna de todo el país. Actualmente, existen muchos miles en funcionamiento en el mundo y su número está creciendo aproximadamente a un 20% anual.

Pero la verdadera ventaja de los SIG es que son los únicos instrumentos que pueden juntar la información geográfica que se han recogido de forma independiente por diferentes instrumentos (digitalizando, con bases de datos, o con escáner) y desde diferentes organizaciones, que tradicionalmente elaboraban esa información sólo para sus propios fines.

Los SIG superponen capas con un tipo de información determinada en cada una de ellas, registrando las características de áreas comunes. Si existen dos grupos de datos de un país, como por ejemplo suelos o productividad de los cultivos, tenemos una combinación. Sin embargo, si existen 20 grupos de datos diferentes tendríamos 120 pares de combinaciones y más de un millón de combinaciones en total. Gracias a estos sistemas podemos fusionar todas las capas en una sola y, así, utilizarse para muchos más fines que si estuvieran recogidos en bases de datos independientes.

Pero, ¿qué supone esto para la cartografía? En primer lugar constituye un verdadero desarrollo para las organizaciones cartográficas estatales, ya que asegura que sus datos se utilizarán con mayor amplitud. Pero los efectos del SIG van mucho más allá. Por ejemplo, el mapa tradicional, aunque contiene grandes cantidades de información y es más apto para la utilización sobre el terreno,

presenta dificultades a la hora de extraer de él diferentes tipos de información y de combinar ésta para darle un sentido y adaptarse a las necesidades individuales.

Por otro lado, el mapa sigue siendo el mejor método de representar las variaciones geográficas de un modo que pueda ser comprendido con rapidez por diferentes personas. La combinación de un SIG, "instrumento para explorar, seleccionar y analizar la información", con la cartografía automatizada está asegurando la rápida expansión de los mapas, aunque la mayoría de éstos ni los realizan los cartógrafos ni se realizan ya sobre papel.

NUEVAS TECNOLOGIAS

En lo concerniente a sistemas cartográficos y topográficos vía satélite, el SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha proporcionado grandes avances en el área de la Ingeniería Civil, ya que agilizan los levantamientos para la construcción de carreteras y puentes; además de que ayudan a planificar las mejores rutas para las carreteras.

Gracias a la utilización del GPS en labores de orientación, los barcos navegan por los océanos con mayor precisión, los aviones pueden volar sobre las nubes, se puede rastrear a las flotillas de camiones. Se dice que la tecnología GPS será la próxima ola en servicios de información comercial. Los teléfonos celulares y el correo electrónico actualmente le permiten a cualquier persona contactarse con otra.

Los fabricantes de tecnología GPS ahora han encontrado otro potencial y lucrativo mercado: los teléfonos celulares; gracias a una iniciativa lanzada por la FCC (Federal Communications Commission), que involucra: estaciones base -

torres y antenas – en conjunto con la red de operadora, se puede determinar la posición exacta del teléfono, y así poder ir en ayuda del solicitante en el menor tiempo posible. Este programa es llamado E911 (Enhanced 911).

Con GPS será posible, en un futuro no muy lejano, que automóviles puedan circular por carreteras sin la ayuda de un piloto; mediante carreteras provistas con sensores para controlar el tráfico

En Japón existe un sistema llamado TGS, que es un sistema de navegación y controlador del tráfico que consta de sensores localizados en toda la ciudad y de aparatos receptores basados en GPS instalados en automóviles dotados de mapas gráficos de toda la ciudad a nivel de calles. Este sistema te da continuamente la información del tráfico además de realizar cálculos sobre la ruta más corta y rápida al destino que se desea llegar.

Una parte muy importante de los receptores son los chips GPS. Las compañías fabricantes de estos chips son Siemens AG de Alemania, Sirf Technology Inc. de California, ST Microelectronics NV de Francia, Mitel Corp. de Canadá, Phillips Electronics de Holanda, Motorola de Estados Unidos, entre otras. Se dice que los chips GPS costarán entre \$20 y \$25 dólares a altos volúmenes. Entre las principales compañías fabricantes de receptores y otros dispositivos basados en GPS usados en automóviles, botes, aeroplanos, equipos de construcción, agricultura, computadoras portátiles, etc. se encuentran: Conexant Systems Inc., Magellan Corp. y Trimble Navigation Ltd., las tres localizadas en California.

En lo que corresponde al segmento espacial, ya esta en funcionamiento los satélites del bloque IIR que sustituyen al proyecto inicial de satélites bloque II-A.

El bloque IIR fue desarrollado por General Electric y vienen marcados con los números de satélite que se hallan comprendidos entre el nº 41 y el nº 66 (esta numeración es de acuerdo al número de satélites puesto en órbita por los EE.UU). Estos satélites proporcionan servicio de posicionamiento durante un mínimo de 180 días sin contacto con el Segmento de Control cuando operan en el modo de navegación autónomo (*Autonav mode*).

La nueva constelación de satélites refinará en gran medida la precisión en la localización además de mantener una mejor integridad en el monitoreo y lo más importante, será totalmente compatible con los receptores actuales. Estos nuevos satélites tienen una nueva capacidad que no estaban disponibles en la constelación del bloque II-A: cada subsistema de satélites será capaz de recibir reprogramación de software en órbita, lo que permitirá constantes actualizaciones al sistema.

El futuro de la localización por satélite es impresionante, existen muchas compañías involucradas en la fabricación de dispositivos electrónicos, la competencia dará como resultado que se abaraten aún más los equipos receptores GPS.

2.- SISTEMA GLOBAL DE POSICION



2.1 - Historia del GPS

Al principio de los 60's los Departamentos de Defensa, Departamento de Transporte y la Agencia Espacial Norteamericana(NASA), tomaron interés en desarrollar un sistema para determinar la posición de un punto terrestre y para la localización para su armamento, especialmente el nuclear, utilizando para ello satélites artificiales. El sistema debía cumplir los requisitos de *globalidad*: abarcando toda la superficie del globo; *continuidad*: funcionamiento continuo sin afectarles las condiciones atmosféricas; *altamente dinámico*: para posibilitar su uso en aviación y *ser preciso* en sus cálculos.

Tras realizar inversiones multimillonarias (14.000 millones de dólares hasta 1994), investigar diversos proyectos previos y diseñar los satélites que integrarían el sistema, en 1989 se lanzaron los primeros satélites que formaban el sistema

NAVSTAR. El lanzamiento de los satélites originales prosiguió hasta 1994, cuando se lanzó el satélite nº 24 del sistema. Estos primeros satélites fueron fabricados por la empresa norteamericana Rockwell.

Como sistema diseñado para la guerra, no fue hasta la Guerra del Golfo Pérsico, en 1991 cuando el sistema se sometió a situación de combate. El GPS cumplió su papel a la perfección. De hecho, en alguna ocasión algún general llegó a comentar que, junto con la visión nocturna, el GPS fue otro elemento de equipamiento relevante en esta guerra.

Afortunadamente, el uso del GPS no es exclusivo del ejército norteamericano. En 1983, el entonces presidente de los EE.UU., Ronald Reagan, anunció que el GPS también estaría disponible para la comunidad civil internacional, si bien el sistema tendría una precisión inferior a la que gozaba el ejército norteamericano. En el año 2000, Bill Clinton eliminó esta restricción y actualmente se logran precisiones de hasta 15 metros en usos civiles. A pesar de ello, y dado que el sistema está bajo el control, entre otros, del Departamento de Defensa norteamericano, los receptores no pueden ser capaces de funcionar a más de 18.000 metros de altitud ni a más de 900 nudos (1.667 km/hora) de velocidad. Además, el servicio puede verse sometido a restricciones temporales si el gobierno de los EE.UU así lo determina.

Otro sistema emisor-receptor que se ocupa es el TRANSIT, éste sistema nació gracias a un diseño de la Universidad John Hopkins para la US Navy en 1958 sirviendo de ayuda a la navegación de navíos y submarinos atómicos.

Empezó a ser operacional para las fuerzas de la OTAN en 1964 y en 1967 se desclasificó para el uso del sector civil. El sistema funciona midiendo desplazamiento o corrimiento Doppler que es la variación aparente en el valor de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento o alejamiento de la fuente emisora. La cuenta Doppler entre dos posiciones concretas del satélite permite calcular una diferencia de distancias entre ambas posiciones de satélite y receptor. TRANSIT está constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1074 Km. Tal configuración consigue una cobertura mundial pero no constante. La posibilidad de posicionarse es intermitente, ya que una estación terrestre puede recibir señales de un satélite cada hora y tres cuartos durante 15 min. TRANSIT trabajaba con dos señales en dos frecuencias, para evitar los errores debidos a la perturbación de la Ionosfera. La situación de un punto aislado pueden tener un error de orden decamétrico, pero si el posicionamiento se hace en dos puntos a la vez la situación de ambos tendrá errores métricos pero el posicionamiento relativo entre los dos receptores será de aproximadamente un metro. Esta técnica se llama translocación.

Este sistema ha sido crucial para el desarrollo de la Geodesia mundial y aún no ha sido totalmente relevado por el sistema de posicionamiento global NAVSTAR. El sistema Doppler permitió una nueva y más precisa determinación de la forma de la Tierra. También la entonces URSS tenía un sistema igual que el TRANSIT, de nombre TSICADA.

Entonces, el receptor GPS es un instrumento electrónico que recibe señales de radio provenientes de la constelación NAVSTAR compuesta por 24 satélites que orbitan la Tierra.

Existe, además, otro sistema llamado GLONASS, que corresponde a la red satelital de la Federación de Rusia, que es la contrapartida rusa al NAVSTAR norteamericano, lleva el nombre de Global Navigation Satellite System (GLONASS) y es operacional desde el 18 de Enero de 1996, día en el que los 24 satélites estaban operativos y en comunicación al mismo tiempo. Actualmente, tras varios esfuerzos se ha conseguido construir receptores que puedan recibir señales pertenecientes a los dos grupos de satélites GLONASS y GPS. Existe por supuesto un gran interés en incorporar los satélites GLONASS al sistema, por el incremento potencial del número de satélites, ya que, cuanto mayor es la cantidad de satélites disponibles al mismo tiempo, más rápida, mejor y más fiables son las técnicas de posicionamiento. Hoy en día las expectativas se centran en crear un nuevo sistema, pero de naturaleza civil: el GNSS (Global Navigation Satellite System) integrado por los dos grandes sistemas.



2.2 - El GPS Hoy

Hoy en día el GPS supone un éxito para la administración y economía americana, no interesando a nadie que se reduzca la inversión en el sistema, sino todo lo contrario. La política de la administración de EE.UU. es mantener costo cero para el usuario el sistema GPS, así potenciar sus aplicaciones civiles a la vez que se mantiene el carácter militar.

Las aplicaciones disponibles se orientan a principalmente a sistemas de navegación y aplicaciones cartográficas: Topografía, Cartografía, Geodesia, Sistema de Información Geográfica (SIG), Mercado de Recreo (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, etc.), patrones de tiempo y sistemas de sincronización, además de las aplicaciones militares y espaciales.

En cuanto al reparto del mercado, los más importantes son la navegación marítima, la aérea y la terrestre. Con una flota de 46 millones embarcaciones en todo el mundo, de los que el 98% son de Recreo, la navegación marítima supone un mercado nada despreciable para el GPS. El volumen de venta de equipos

GPS en está en torno a los 300 millones de dólares anuales.

En cuanto a la navegación aérea con unos 300.000 aviones en todo el mundo. El equipamiento de GPS para navegación intercontinental o entre aeropuertos tiene una penetración anual del 5% (aproximadamente unas 15.000 unidades).

Pero el auténtico mercado del GPS en el mundo es la navegación terrestre. De hecho el crecimiento de equipamiento de GPS mundial es en torno a los 2.000 millones de dólares anuales, lo que lleva a una penetración del 4% en el año 2001. Entre las aplicaciones con más desarrollo contamos con sistemas de navegación independiente, sistemas de seguimiento automático, control de flotas, administración de servicios, etc. Solo en los EE.UU existen 25.000 autobuses equipados con GPS y en Japón hay ya un millón y medio de vehículos privados que cuentan con sistema GPS en su equipamiento.

2.3 - Descripción del Sistema GPS

El Sistema Global de Posicionamiento (GPS por sus siglas en inglés), es un sistema satelital basado en señales de radio emitidas por la constelación NAVSTAR con 24 satélites activos en órbita alrededor de la Tierra a una altura de aproximadamente 20.000 km., las 24 horas del día, desplazándose a una velocidad de 14.500 Km/h., y existen a su vez cinco estaciones terrestres, además del receptor del usuario. Estos satélites, a partir de la información incluida en ellos y la que reciben de las estaciones, generan una señal que transmiten a los receptores. Una vez que los receptores reciben esta señal, calculan la posición.

Las órbitas de los satélites artificiales son casi circulares y este describe siempre el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la Tierra rota a su vez sobre sí misma) de esta forma en prácticamente un día (24 horas menos 4 minutos) un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la Tierra. Los satélites están situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno), como se aprecia en la Figura 40, espaciados equidistantemente a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al Plano Ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.

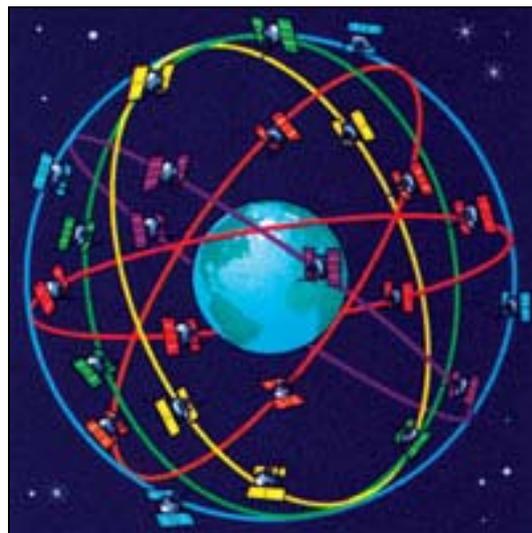


Figura 40

Normalmente hay más número de satélites ya que se ponen en órbita unidades nuevas para reponer satélites antiguos, que tienen una vida media aproximada de siete años y medio.

El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o, mediante el uso de métodos adecuados, para

determinar mediciones de precisión, con receptores que capten las señales emitida por los satélites.

La base para determinar la posición de un receptor GPS es la trilateración a partir de la referencia proporcionada por los satélites en el espacio. Para llevar a cabo el proceso de trilateración, el receptor GPS calcula la distancia hasta el satélite midiendo el tiempo que tarda la señal en llegar hasta él. Para ello, el GPS necesita un sistema muy preciso para medir el tiempo. Además, es preciso conocer la posición exacta del satélite. Finalmente, la señal recibida debe corregirse para eliminar los retardos ocasionados.

Una vez que el receptor GPS recibe la posición de al menos cuatro satélites y conoce su distancia hasta cada uno de ellos, se puede determinar la posición superponiendo las esferas imaginarias que generan estos cuatro satélites.

La estación maestra de control (MCS) está situada en Falcon AFB en Colorado Spring. Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Los modelos calculan datos de ajuste de órbita (efemérides) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de GPS mediante señales de radio.

Evidentemente se necesita proveer al sistema de un mecanismo de medida de tiempo. Tanto los satélites como los receptores son provistos de relojes para tal efecto. Debido a que no se puede tener un reloj perfecto, tanto los relojes en el

receptor y satélite poseen un error que afectará la distancia medida, más si se considera la magnitud de las distancias involucradas. Debido a que el intervalo de tiempo es calculado a partir de dos relojes distintos, con errores diferentes, se usa el término de pseudo-distancias para hacer referencia a las distancias medidas.

La determinación de coordenadas en forma absoluta presenta varios problemas. Además de los errores de reloj, se debe considerar que en la medición de pseudo-distancias la señal proveniente del satélite cambiará su velocidad de propagación al atravesar capas atmosféricas de distinta densidad, lo que introduce otro error en la posición. También, debe recordarse que la posición de observación es determinada a partir de las coordenadas de los satélites, la distancia medida, por lo tanto, también se encuentra afectada por las distintas perturbaciones orbitales, que sacan a los satélites de las órbitas teóricas.

3.- FOTOGRAMETRIA DIGITAL



3.1.- Desarrollo de la Fotogrametría

La evolución de la Fotogrametría está en relación directa con el avance tecnológico en los instrumentos de restitución. Los restituidores analógicos de la primera etapa tenían un funcionamiento óptico mecánico de gran precisión pero de baja eficiencia y productividad. Se trabajaba directamente con las imágenes fotográficas positivas o negativas y con las coordenadas planimétricas y altimétricas se obtenían de escalas y contadores conectados a los husillos. Para operaciones que implicaban frecuentes lecturas de coordenadas se podía realizar una conexión a un sistema de adquisición de datos consistente en un dispositivo electrónico compuesto de tres codificadores incrementales acoplados a los husillos X, Y, Z. Esto era muy útil para la determinación de los puntos de paso para la aerotriangulación, en el registro de los mojones límites (bien identificados) de parcelas, en el catastro, en la restitución de perfiles altimétricos, etc. La eficiencia se evaluaba en función de la cantidad de cartas topográficas que era capaz de dibujar la mesa trazadora puesto que las funciones de operador y dibujante pueden acumularse en una sola persona.

Debido al aumento de la exigencia de los usuarios y a una transformación lógica y previsible de la tecnología los instrumentos de restitución evolucionaron hacia los estereorrestituidores analíticos, tales instrumentos alcanzaron tal grado de desarrollo que se hace muy difícil establecer hoy una separación con la fotogrametría absolutamente digital. Algunos de los puntos a destacar de estos instrumentos analíticos son su técnica constructiva de vanguardia (hardware), su arquitectura modular, sus prestaciones elevadas, su precisión y su software adecuado. Fueron diseñados para la Cartografía en Línea, con una alta precisión cartográfica, algunos elementos a destacar son los siguientes:

- Soportes de imagen: película (film) negativos – diapositivas
- Salida grafica a la pantalla: revisión del mapa digital, pantalla interactiva
- Trazadoras de tambor
- Superposición de imágenes raster
- Orientación semiautomática del Modelo
- Medición automática de altitudes: modelos altimétricos digitales (sistema de Correlador)
- Ortofotos digitales
- Orientación del Modelo para imágenes de satélite SPOT
- Aerotriangulación: ajuste de bloques (PATH-M)

3.2.- Estaciones Fotogramétricas Digitales

Las estaciones fotogramétricas digitales principalmente están compuestas por una computadora tipo PC y una serie de dispositivos especiales, que permiten

realizar las mismas funciones de un restituidor analítico pero en forma totalmente digital. Los principios geométricos de coplanaridad de rayos siguen estando vigentes para las orientaciones pero ahora a través de algoritmos de imagen epipolar (13). Se reemplazan las imágenes sobre film (negativo o positivo) por archivos digitales de imágenes raster, para lo cual es necesario disponer de un escáner fotogramétrico de alta resolución. Generalmente los sistemas de visión estereoscópica se basan en el método de anaglifos o de gafas activas LCD. La orientación del Modelo ahora es prácticamente automática y la gran cantidad de software disponible permite una actualización continua a bajo costo.

Los componentes básicos del hardware de un equipo de fotogrametría digital pueden apreciarse en las Figura 41. Los periféricos de entrada generalmente son un escáner fotogramétrico, CD ROM o cinta magnética que contienen datos imagen digitales y una cámara digital de buenas condiciones métricas que entrega directamente datos imagen digital. Los periféricos envían datos imagen a la Unidad Central de Proceso (CPU) que actúa como una estación de trabajo, la CPU puede contar con un procesador Pentium y algún sistema Windows NT, además debe poseer un disco rígido de gran capacidad de almacenamiento y memoria RAM suficiente como para mover sin inconvenientes la gran cantidad de datos bits que genera una imagen digital.

(13) **Imagen Epipolar:** Imagen que posee la misma orientación de la imagen de referencia del par estéreo, con el propósito de eliminar el paralaje en uno de los sentidos cartesianos, en este es el sentido de las ordenadas eje: "Y". La obtención de la imagen epipolar es necesaria para permitir la observación estereoscópica

Conjuntamente con esto el equipo debe ser capaz de emular las capacidades de un estereorrestituidor analítico, por tanto tiene que disponer de un sistema de visión estereoscópico así como manivelas **X**, **Y**, y pedal **Z** para efectuar fácilmente la restitución, además de las aplicaciones Zoom, Move, estilóptico con control de tamaño variable, etc. Los periféricos de salida generalmente son un Plotter o impresora, pantalla video y capas de archivos digitales (Layers) que son las vituallas de un sistema de información geográfico (SIG).

Un sistema como este, en general está compuesto por:

- **Monitor(es) de vídeo**
- **Dispositivo de visión estereoscópica** – Anteojos con control infrarrojo, monitores especiales de alta velocidad de refresco, etc.
- **CPU gráfica, o placa de vídeo especial, placa aceleradora**
- **CPU general**
- **Periféricos de Entrada/Salida** – Teclado, *Mouse*, *scanner*, mesa digitalizadora, *plotter* y/o impresora.
- **Dispositivo de medición estereoscópica** – *Trackball*, *topo-mouse*, etc.
- **Módulos de software dedicado las operaciones fotogramétricas, tales como:** Orientación interior, orientación relativa y orientación absoluta, u orientación exterior (relativa + absoluta simultáneamente), aerotriangulación

(medición y cálculo), restitución, rectificación y remuestreo de imágenes (geometría epipolar), extracción de modelos digitales (DTM) del terreno, generación de orto-imagen, integración con sistemas de información geográfica, etc.

El patrón actual de monitores de vídeo para este tipo de aplicación se encuentra entre 19 e 21 pulgadas.



Figura 41

Productos que se obtienen con una Estación Fotogramétrica Digital:

- Procesamiento de imágenes
- Ortofotos (esta compuesta por imágenes continuas de todos los elementos existentes sobre la superficie representada y así se puede medir en ellos)

directamente distancias, ángulos y áreas, mediciones que no se pueden realizar con rigor y métrica en una fotografía)

- Mosaicos de ortofotos y de ortofotomapas
- Vistas en perspectiva
- Vuelos simulados 2D/3D (Realidad Virtual)
- Procesamiento sensores remotos
- Ortofotos Reales = EDIFICIOS VERTICALES
- Interpolación de Curvas de Nivel
- Curvas + Ortofotos ORTOFOTOMAPAS

3.3.- APLICACIONES FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

- Almacenamiento de datos de elevación para mapas topográficos digitales en base de datos nacionales.
- Problemas de cortes y rellenos en diseño de vías.
- Análisis de visibilidad en planeamiento urbano.
- Planeamiento de vías, canales de riego o drenajes, localización de presas.
- Análisis estadístico y comparación de diferentes tipos de terreno.
- Análisis y cálculo de pendientes del terreno, mapas de aspectos y perfiles de pendientes que puedan ser utilizados para preparar estudios geomorfológicos, estimar pérdidas por erosión.
- Mostrar información temática o por combinación de datos del relieve con datos temáticos como suelos, uso del suelo o vegetación.

- Proporcionar datos sobre modelos de simulación de deslizamientos o procesos de deslizamientos.

3.4.- Consideraciones sobre cámaras fotogramétricas aéreas digitales

En el campo de las cámaras aéreas para fotogrametría se está en los comienzos de una nueva era y es la utilización de cámaras digitales de alta resolución y precisión. Se indicaran algunas características básicas para dar una idea de las posibilidades de estas cámaras y la necesidad de relacionarlas con sistemas de navegación.

Las cámaras digitales permiten una mayor eficiencia en el proceso de producción de imágenes digitales pero por el momento es discutible si van, en poco tiempo, a reemplazar totalmente a la cámara fotogramétrica analógica. La razón es que la mejor resolución que se obtiene por ahora es de un píxel de aproximadamente unos 20 micrones.

El problema del desplazamiento de la imagen de los puntos debido al movimiento del avión mientras se encuentra abierto el obturador en el proceso de registro de la imagen, se soluciona de una manera similar a las cámaras analógicas. Se utiliza un sistema FMC (Forward Motion Compensation) consistente en un proceso electrónico de retardo o demora en el tiempo de integración de la imagen.

Características particulares de las cámaras digitales:

- En general tienen las mismas condiciones métricas que las de gran formato
- Permiten la utilización de aviones pequeños y ubicarla en lugares menos accesibles del avión debido a que se manejan por control remoto.
- Son mucho menos costosas.
- Necesitan más corridas para cubrir la misma superficie, pero los costos del vuelo son pequeños respecto al costo del producto final.
- Se presentan con distintas cabezas y sensores: una cabeza con sensor pancromático, una cabeza con sensor RGB, dos cabezas pancromáticas y dos cabezas RGB, equipadas con distintos filtros, también tienen la posibilidad de registrar energía electromagnética en el infrarrojo cercano.
- En este caso a estas cámaras es imprescindible agregarles un soporte giro estabilizado, dado el pequeño formato de la imagen el eje de la cámara debe estar absolutamente vertical siempre.
- Necesitan de un sistema de navegación y obturación por coordenadas asistida por GPS
- Es necesario la determinación de coordenadas de toma por GPS, puesto que el pequeño formato de la foto hace imposible utilizar apoyo terrestre.

3.5.- Estéreo correlación Automática

Para determinar las coordenadas de un punto de una foto aérea basta con encontrar su homólogo en la otra foto del par estereoscópico. Cuando un

operador de restitución realiza la búsqueda e identificación de puntos homólogos sobre el modelo estereoscópico, lo hace en forma automática pero precisamente esta tarea que puede llegar a ser muy repetitiva generalmente consume la mayor parte del tiempo de restitución, consecuentemente si se espera obtener un mayor rendimiento en los tiempos de restitución, esta operación debería lograrse automatizar.

Para comenzar a analizar este tema, hay que comenzar primero por considerar los algoritmos de correlación automática. Estos algoritmos realizan la comparación de una pequeña ventana de píxeles correspondiente a los alrededores de un punto considerado en la imagen izquierda con las distintas ventanas posibles del punto homólogo de la imagen derecha. Esta comparación es bidimensional para el caso de la posición de los píxeles dentro de la matriz imagen y también puede considerarse como tridimensional si consideramos como un atributo espacial a la respuesta radiométrica del píxel (nivel de gris). Aquí se plantea un problema de cálculo bastante importante ya que el número de operaciones requeridas para encontrar un determinado píxel de una imagen de referencia en su imagen conjugada puede ser muy grande, además cuando las imágenes digitales no han pasado por un buen proceso de ajuste radiométrico previo se presenta mucha incertidumbre en la determinación del píxel homólogo puesto que puede haber muchos píxeles con las características del píxel de referencia.

3.6.- Imagen Fotográfica y sus Productos

Generalmente a la restitución usual de un Modelo le sigue un proceso Cartográfico que da como resultado la obtención de una Carta Topográfica convencional, las dificultades que presentan estas cartas obtenidas con esta metodología de trabajo está en la actualización. Los productos digitales (Figura 42) permiten realizar una actualización continua no siendo necesario volver a efectuar una restitución. Por otra parte la posibilidad de manejar la información directamente en capas (Layers), facilita mucho la carga de datos en Sistemas de Información Geográficos (SIG), agilizando de esta manera la toma de decisiones que en el campo de los accidentes ambientales por ejemplo puede ser crucial. Pero sin lugar a dudas este sistema automático y digital es un gran desarrollo para obtener información geográfica de una forma más rápida y muy confiable.

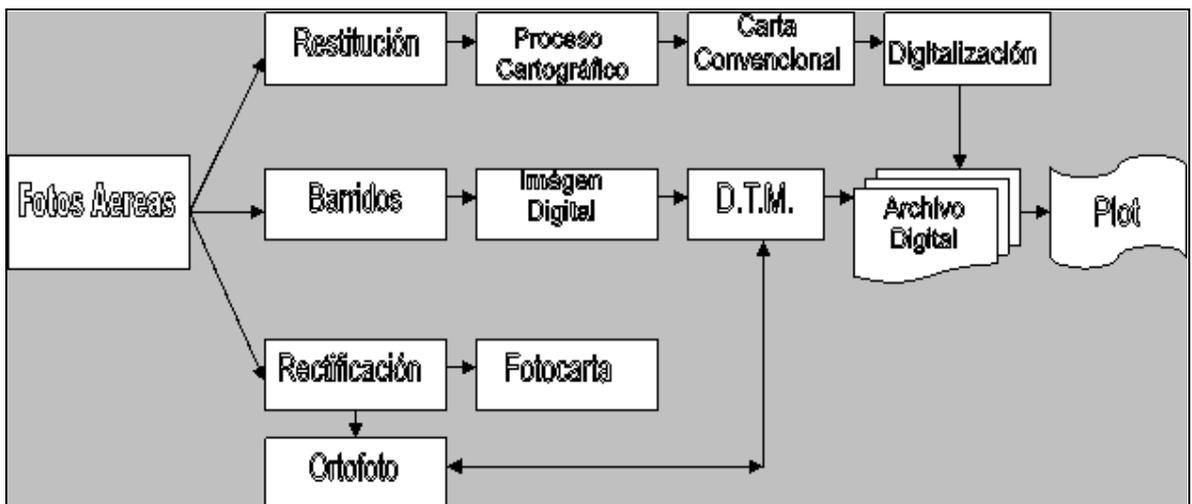


Figura 42

CONCLUSIONES

Como se ha expuesto, la Fotografía Aérea es una herramienta muy interesante para aplicar en el ámbito de la ingeniería y construcción, ya que al complementarse con la Topografía, nos entregan la información completa y digital de un terreno en particular; y al tener la mayor cantidad de información en relación a un proyecto podemos tomar la decisión más correcta en torno a éste.

El estudio de la superficie terrestre, siempre ha sido un área de interés y estudio muy importante para la humanidad, a través de muchas civilizaciones se ha estudiado el entorno que nos rodea, con el fin de describirlo y delimitarlo. Con el paso del tiempo y la invención de instrumentos y métodos, como la brújula, el astrolabio, la imprenta, el vuelo fotogramétrico y la informática que ayudaron y colaboran hoy con ese fin, el hombre ha perfeccionado el arte de la Cartografía y la confección de Mapas y Planos.

Hoy en día, una de la más interesantes y completas herramientas para apoyar el vuelo Fotogramétrico es el GPS, un sistema de posicionamiento, que juega un papel muy importante al entregarnos una guía muy precisa de los rumbos a seguir, pero no solo es utilizado por los sistemas de navegación aérea, además se aplica a sistemas de navegación marítimo y terrestre; al igual que en: Topografía, Cartografía, Geodesia y fines militares.

La Aerofotogrametría esta siendo ocupada en estos momentos por las comunas de Chile, que están elaborando su nuevo Plan Regulador Comunal (PRC), y con el uso de la digitalización es posible crear una base de datos con los nombres de calles, avenidas y numeración que rigen la comuna y tener así, un

registro digital, con la ventaja de encontrar la ubicación de una calle y número en el plano en forma automática.

Así podemos concluir que, el uso de estos métodos nos permite tener una cantidad importante de información territorial (en formato digital), que con el avance de la ciencia y tecnología, es cada vez mayor en su información y precisión; y cada vez menor el tiempo en el cual podemos disponer de ellas.

BIBLIOGRAFIA

1.- "LA CARTOGRAFÍA ", Joly, F

Editorial ARIEL, 1979. Barcelona-España.

2.- "CARTOGRAFIA Y FOTOGRAMETRIA FORESTAL", Carlos Mena Frau

Universidad de Talca 2002, Talca-Chile.

3.-"LA HISTORIA DE LA CARTOGRAFIA Y LA PROFESIÓN DEL
CARTOGRAFO", Robinson, A.H.

Editorial Omega 1987.

4.- "FOTOGRAFÍAS AÉREAS: LECTURA Y EXPLOTACIÓN", Jean Carré.

Traducido por José Antonio Puerta Navarro

Editorial Paraninfo, 1974. Madrid-España

5.- "FORMA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA", Mario Ruiz Morales.

Ediciones del Serbal, 2000

Sitios Web:

<http://www.cartesia.org/>

<http://www.mgar.net/indice.htm>

<http://www.uco.es/servicios/scit/>

<http://www.mundogps.com/>

http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/Fisica_interactiva.htm

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>

<http://members.tripod.com/MGRassociates/Carto1.htm>

<http://clio.rediris.es/fichas/cartografia.htm>

<http://club.telepolis.com/geografo/general/topografico.htm>

<http://www.mgar.net/var/cartogra.htm>

<http://www.dearqueologia.com/cartografia.htm>