



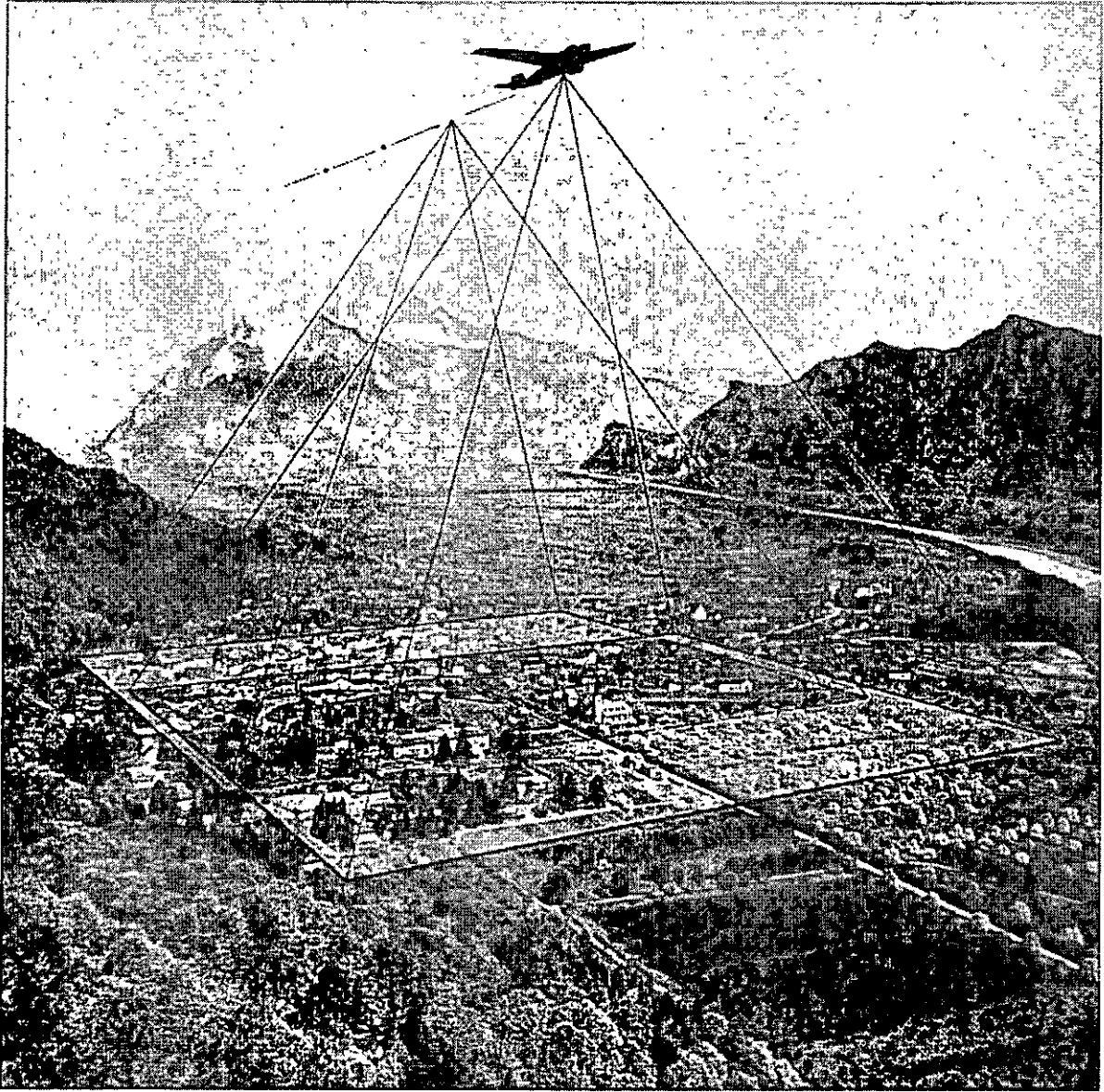
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL I

CI 10

TEMA:
PARTE I
GENERALIDADES

**EXPOSITOR: ING. JUAN MIGUEL LUNA FUENTES
DEL 9 AL 13 DE MARZO DE 2009
INGENIERÍA CIVIL**



Tema 1. Generalidades

- 1.1 Introducción a la Fotointerpretación y Fotogrametría
- 1.2 Evolución en el tiempo
- 1.3 Conceptos básicos
- 1.4 Estado actual y últimas tendencias
- 1.5 Usos y aplicaciones

Tema 2. Química fotográfica

- 2.1 Definición de fotografías analógicas
- 2.2 Equipo, materiales y procesamiento
- 2.3 Definición de fotografías digitales
- 2.4 Procesamiento digital de la imagen

Tema 3. Cámara fotográfica

- 3.1 Cámara fotográfica aérea. Tipos y características
- 3.2 Aviones para fotografías aéreas
- 3.3 Vuelos guiados con Sistema de Posicionamiento Global (GPS aerotransportado)

Tema 4. Visión estereoscópica

- 4.1 la visión estereoscópica natural y artificial
- 4.2 Paralaje absoluto y diferencial
- 4.3 Mediciones paralácticas
- 4.4 Barra de paralaje

Tema 5. Proyecto aerofotogramétrico

- 5.1 Proyecto de vuelo fotogramétrico
- 5.2 Dirección de líneas de vuelo
- 5.3 Recubrimiento longitudinal y lateral
- 5.4 Control terrestre
- 5.5 Condiciones ambientales

Tema I. Generalidades

1.1 Introducción a la Fotogrametría y Fotointerpretación

Existen muchas definiciones en la actualidad de Fotogrametría y Fotointerpretación, solo se mencionaran algunas con el fin de entender y estructurar para nuestros fines y usos, el concepto general de fotogrametría y de ahí partir para deducir el concepto de Fotointerpretación.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas *φωτος* *photos*, que significa luz; y *γραμα*, *gramma*, que significa lo que está dibujado o escrito, y *μετρον*, *metrón*, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa **medir gráficamente por medio de la luz**.

La fotogrametría es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee en forma natural el ser humano. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto.

Introducción a la Fotogrametría

Luis Jáuregui

Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.

**Sociedad Internacional de Fotogrametría y
Sensores Remotos (ISPRS)**

Fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos.

La sociedad americana de fotogrametría y sensores remotos (ASPRS)

Fotogrametría: Se define como el método para determinar forma, tamaño y posición de objetos mediante fotografías tomadas con cámaras métricas, y, por lo tanto, es un método de medición indirecto, ya que utiliza imágenes fotográficas y no los objetos mismos.

**Técnicas Modernas en Topografía
Bannister, Raymond, Baker**

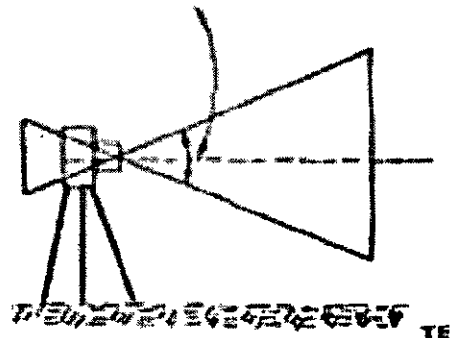
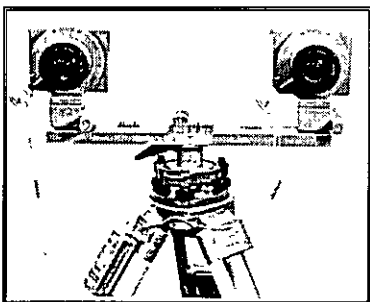
La fotogrametría es el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo; el levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la Topografía. La fotogrametría no es una ciencia nueva, ya que los principios matemáticos en que se basa son conocimientos desde hace más de un siglo, sin embargo sus aplicaciones topográficas son mucho más recientes.

A partir de estas definiciones empezaremos a conceptualizar la fotogrametría digital como el conjunto de elementos (Hardware y Software), empleados para obtener información cualitativa y cuantitativa de fotografías aéreas tomadas a partir de una cámara métrica.

Para su aplicación la Fotogrametría se divide en Fotogrametría Terrestre y Aérea.

Fotogrametría Terrestre.

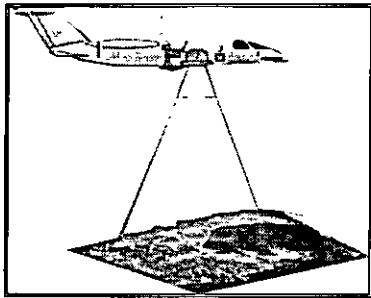
Es aquella que utiliza fotografías tomadas sobre un soporte terrestre; debido a esto, la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. Si bien fue la primera aplicación práctica de la fotogrametría, actualmente se usa principalmente en labores de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos de terrenos muy escarpados. Algunos autores ubican a los usos de la fotogrametría en arquitectura y arqueología en la división de objetos cercanos; sin embargo, cuando los objetos a levantar se vinculan con su posición sobre el terreno, se realiza una actividad de carácter topográfico; por ello, pueden ser ubicadas en esta división.



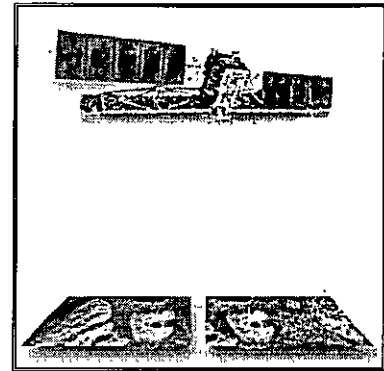
Eje Óptico Horizontal

Fotogrametría Aérea.

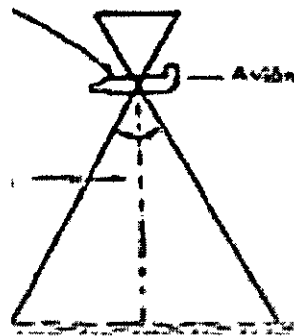
Es aquella que utiliza fotografías tomadas desde una cámara aerotransportada. Este hecho implica que su eje óptico casi siempre es vertical, y que su posición en el espacio no está determinada. Generalmente, las cámaras usadas son de formato 23 x 23 cm, ya que son las más apropiadas para los trabajos cartográficos a los cuales está destinada. Actualmente cobra importancia la fotografía aérea de pequeño formato, debido a sus ventajas de accesibilidad económica. Otra modalidad que gana importancia la constituye la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación de la tierra.



Fotografía aérea



fotografía espacial



Eje Óptico Vertical

Fotointerpretación es una técnica o una ciencia se podría expresar una definición básica de ella diciendo que: Interpretar una fotografía es examinar las imágenes fotográficas de los objetos con el propósito de identificar esos objetos definir su categoría, su naturaleza, sus límites y sus relaciones con el medio. Parece un análisis cualitativo pero al hablar de límites y sus relaciones con el medio nos estamos refiriendo también a superficies y volúmenes en otras palabras también se trata de un análisis cuantitativo.

Como ejemplo didáctico mencionaremos las características de la fotointerpretación mediante un área forestal.

Algunos de los elementos de la fotografía aérea más relevantes de uso común para lograr los propósitos de la fotointerpretación son: tamaño, forma, sombra, tono y color, y textura.

El tamaño es uno de los factores más útiles para la identificación de objetos. El tamaño de un objeto se puede inferir realizando comparaciones del tamaño relativo de un objeto con respecto a

otro conocido, presente en la imagen estereoscópica. Sobre la base del tamaño se pueden diferenciar árboles de arbustos o matorrales. En sitios que presentan similares características, la altura de los árboles es un antecedente de importancia para la clasificación de edad y estado de desarrollo de las masas boscosas.

La forma es el elemento que mejor explica la clasificación de objetos dentro de ciertos parámetros, esto se debe a que las formas observadas en la fotografía aérea se pueden relacionar directamente con las formas de los objetos que estamos acostumbrados a percibir. El problema es que en ciertas situaciones es altamente difícil interpretar objetos vistos de forma vertical; esto debido a la variación que presenta la forma comparada con nuestro habitual punto de vista. Este elemento, junto con otros, es usado para la identificación de especies arbóreas que presentan formas características, o árboles que tengan características particulares dentro de una masa boscosa.

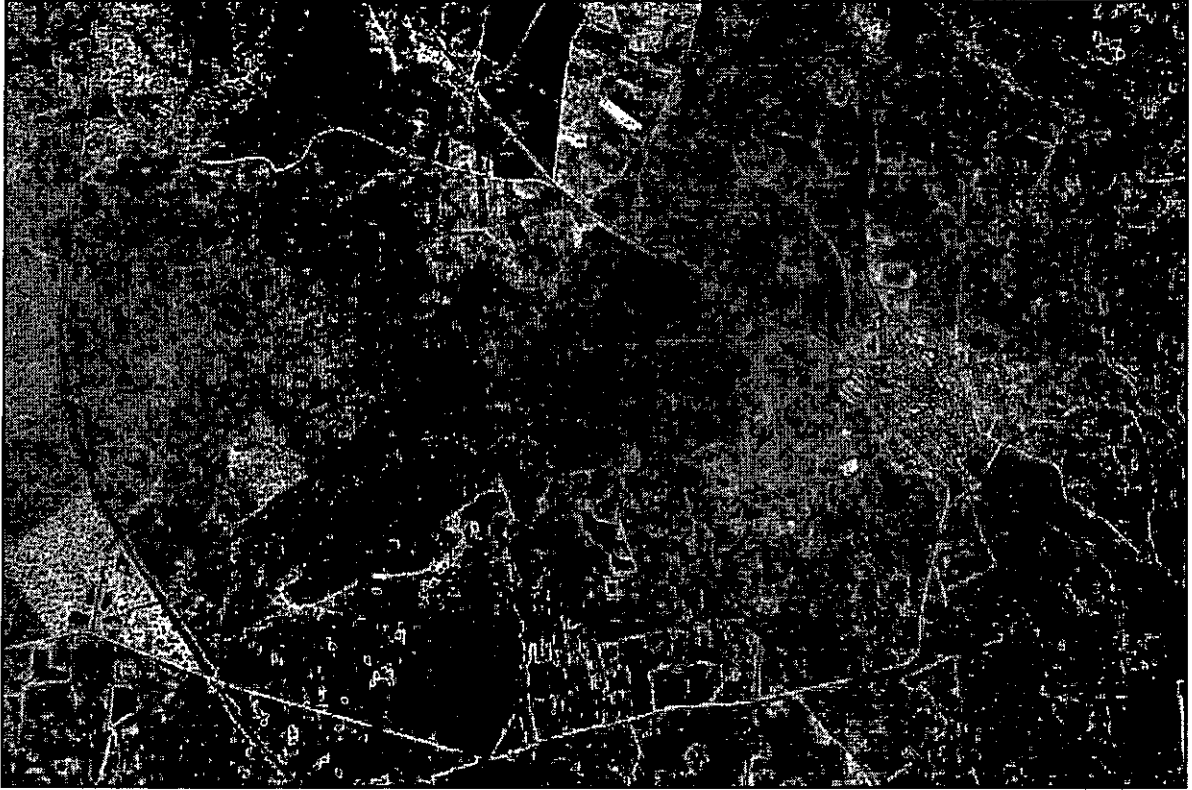
La sombra, como elemento de la fotointerpretación, permite el reconocimiento de objetos que no son fácilmente reconocibles en un plano vertical, dando referencias de la forma en un plano horizontal. Las sombras son particularmente útiles en zonas de bajo contraste tonal, permitiendo diferenciar objetos. La sombra es un elemento complementario a la forma en el proceso fotointerpretativo.

Tono y color son elementos de juicio muy importantes dentro de la fotointerpretación, ya que con la tonalidad se pueden conocer características de la superficie interpretada. Por ejemplo superficies suaves abiertas, tales como campos y suelos minerales expuestos, presentan una tonalidad clara, mientras que las superficies no uniformes, tales como cultivos, praderas y bosques, presentan una tonalidad oscura. Esto permite la identificación de bosques y praderas, además de cursos de agua, los que generalmente adoptan una tonalidad oscura.

La textura en la fotografía está constituida por repeticiones tonales de grupos de objetos, los cuales son muy pequeños para ser reconocidos como objetos individuales. Esta permite diferenciar un bosque adulto de uno joven, ya que el adulto presenta una textura gruesa, mientras que el bosque joven presenta una textura fina.

De lo señalado para los elementos de la fotointerpretación queda de manifiesto que la identificación, reconocimiento y análisis del medio a partir de fotografías aéreas, están sujetos a un factor humano muy importante, ya que quedan supeditados únicamente a la capacidad y experiencia del fotointérprete que desarrolla el proyecto. Se puede decir, que la fotointerpretación no es una ciencia exacta sino un arte, que conjuga la experiencia, conocimiento y capacidad del fotointérprete.

Sin duda que la fotointerpretación forestal presenta un grado de complejidad alto, dado el gran número de situaciones diferentes, causadas por la propia dinámica del bosque y la intervención del hombre. Las principales dificultades pueden estar dadas en la determinación de tamaños y alturas, que se relacionan con el estado de desarrollo, altura y presencia de arbolado, ya que en arbolados o bosques densos es difícil, y casi imposible, ver el suelo; en la interpretación de texturas, que se relacionan con diferentes estados de desarrollo y densidades, dado que el sotobosque se puede confundir con la regeneración y árboles de pequeño tamaño; y en el reconocimiento de especies, en zonas donde las tonalidades y formas son difícilmente reconocibles.



Ortofoto de la zona de trabajo.

El objetivo del proyecto era fotointerpretar el área de estudio. Para optimizar la realización del trabajo, nos inclinamos por dividir el trabajo en dos fases: la primera fase sería la teselación (es una regularidad o patrón de figuras que cubre o pavimenta completamente una superficie plana) y una vez terminada esta se realizaría la fotointerpretación.

Se organizó el trabajo de este modo, pues la teselación es una tarea más sencilla y mecánica, y a la vez que se realizaba la teselación se observaban las especies que había, y se adoptaban criterios para su posterior fotointerpretación.

Lo primero es establecer unos criterios únicos, comunes para todos, para el desarrollo del trabajo; en este caso, estos criterios ya estaban establecidos en el pliego de condiciones del proyecto.

- La escala para teselar es 1/10.000.
- La unidad mínima cartografiable es de 2 (dos) hectáreas.
- Todos los polígonos deberán tener un código de clasificación.
- Nunca podrá quedar un polígono sin código.
- No podrán ser atribuidos dos códigos a un mismo polígono.
- No puede haber dos parcelas adyacentes con el mismo código.
- Una misma área no podrá pertenecer a dos o más polígonos.
- A cada polígono sólo le corresponderá un registro de la tabla de datos (polígono múltiple).
- No habrá espacios vacíos entre polígonos (falsos polígonos).



Teselas realizadas en la ortofoto

En ella observamos como para la realización de las teselas aprovechamos las formas naturales del terreno. Tratamos de realizar teselas lo más homogéneas posibles.

Interpretar una fotografía es examinar las imágenes fotográficas de los objetos con el propósito de identificar esos objetos, definir su categoría, su naturaleza, sus límites y sus relaciones con el medio. La fotointerpretación es el estudio de la imagen de aquellos objetos fotografiados y la deducción de su significado.

Según el pliego de condiciones, el código que se asignará a cada tesela, se definirá por los siguientes códigos:

Nivel I. En cuanto al uso del suelo.

El polígono será clasificado como uso forestal (FL) si la respectiva mancha homogénea posee árboles forestales con un porcentaje mínimo de cobertura del 10% estando también incluidas:

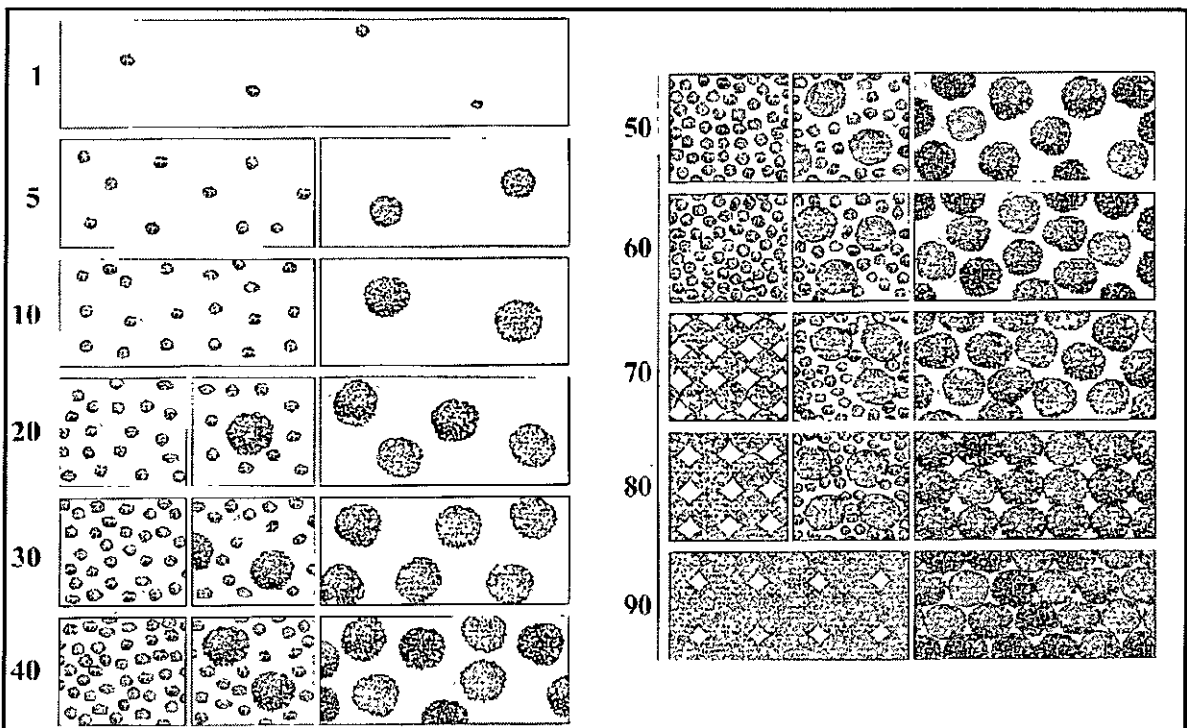
- Nuevas plantaciones que en la fase adulta tengan por lo menos un 10% de cobertura.
- Áreas temporalmente desarborizadas, codificadas como quemadas. Por el contrario, los polígonos localizados en manchas no forestales serán clasificados como uso no forestal (NF). Todos los polígonos deberán tener este nivel de clasificación.

· Nivel II. En cuanto a la ocupación del suelo.

Sólo son clasificados en este nivel los polígonos de uso forestal. El código de este atributo resulta de concatenar el código de la especie dominante y el código de la especie dominada, siempre que una de las especies sea encina o alcornoque. En caso de que no se verifique esta condición el código resultante será "XXXX". Si el punto estuviera localizado en una mancha de área quemada el código será "AQ".

· Nivel III. En cuanto a el grado de cobertura de la masa.

Sólo son clasificadas las zonas con encina o alcornoque. El grado de cobertura se traduce en un porcentaje de terreno (de mancha homogénea) cubierta por copas. Cada polígono es clasificado, de acuerdo a el grado de cobertura de la mancha homogénea, en una de las tres clases existentes: 10-30%; 30-50%; y > 50%.



Porcentajes de cobertura de la vegetación.

· Nivel IV. Forma de condición de la masa.

Sólo son clasificados las masas con encina o alcornoque. Este atributo va a diferenciar las masas por su forma de condición.

· Montado (M): se refiere a masas poco densas con árboles de copas extensas, generalmente de estructura irregular.

· Encinar/Alcornocal (L): se refiere a situaciones en las que la encina o el alcornoque aparecen naturalmente, constituyendo coberturas densas e irregulares con árboles de copas más estrechas y alargadas.

· Alto fuste (A): se refiere a masas conducidas artificialmente, aparecen pies apretados y generalmente regulares, las copas son estrechas y alargadas.

· Plantación reciente (P): se refiere a masas recién plantadas o sembradas (una masa es considerada reciente si tiene menos de 10 años).



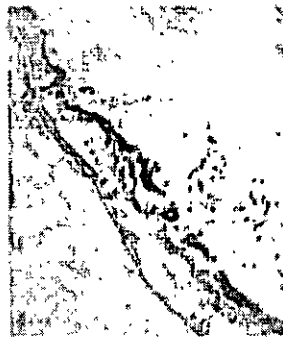
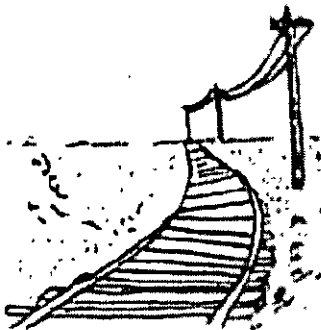
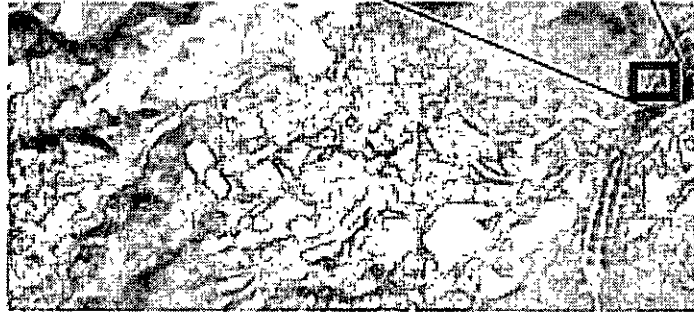
Ortofoto durante el proceso de fotointerpretación

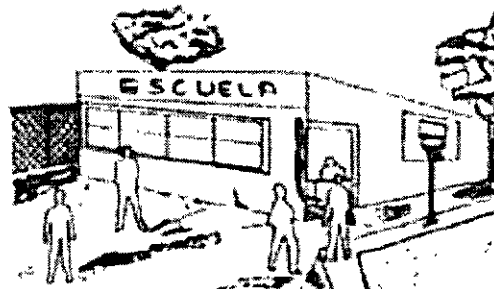
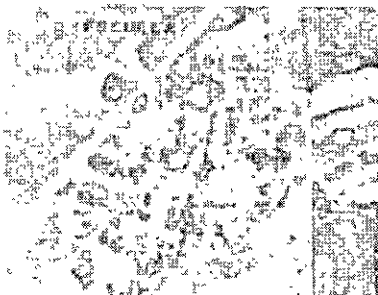
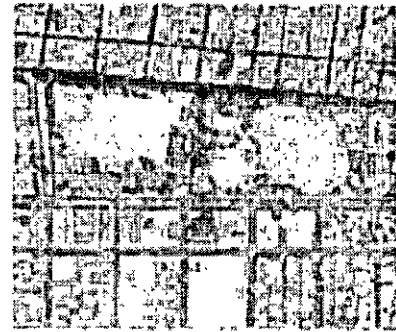
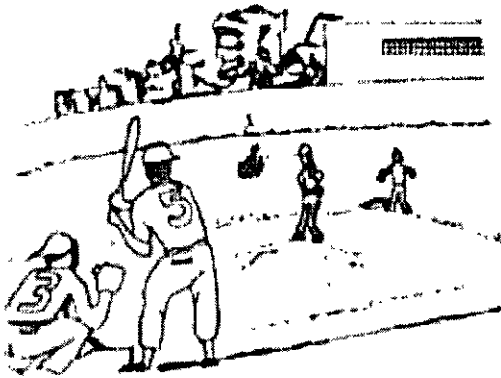
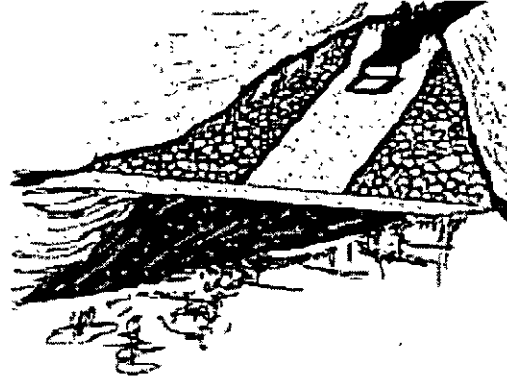
Cada color determinara una zona y un tipo de suelo, vegetación, si es zona rural o urbana y cada característica que nos sirva para el trabajo de campo.

Aplicaciones:

- Agricultura
- Urbanismo
- Control de plagas
- Desastres naturales
- Impacto Ambiental

Ejemplos de Fotoidentificación





1.2 Evolución en el tiempo.

La **fotogrametría analógica**, que surge en la década de los treinta basada en aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías es colocado en un aparato restituidor de tipo óptico o mecánico. El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza también en forma manual, mediante el seguimiento con la marca flotante posada sobre los detalles de la superficie del modelo. Esta información es ploteada en una cartulina colocada sobre la mesa trazadora, relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos.

La **fotogrametría analítica**, que aparece en 1957 como un desarrollo natural de la interrelación entre los aparatos restituidores analógicos y el surgimiento de la computación. En ella, la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas x , y de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema. Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD.

La **fotogrametría digital**, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.

Aparatos de restitución.

En general, un aparato de restitución, es un instrumento que permite definir las intersecciones de los rayos homólogos de dos haces perspectivas reconstruidos a partir de un par estereoscópico.

Son distintos niveles de precisión clasificados por orden en función del factor de precisión C .

$$C = \frac{Hvt}{l}$$

donde Hvt = altura de vuelo sobre el terreno e l = intervalo de curva a discriminar.

APARATOS ANALÓGICOS

CARACTERÍSTICAS GENERALES

En este tipo de instrumentos la reconstrucción de los haces perspectivas se hace por medios "ópticos" o "mecánicos". Son conjuntos con una óptica y mecánica de alta precisión, de altísimo costo de construcción y con algunas limitaciones en producción por ello la tendencia de desarrollo va encaminada a los instrumentos Digitales analíticos.

Un aparato análogo tiene las siguientes características (Algunas son solo privativas de estos instrumentos):

- Sistema óptico que permita la reconstrucción de los haces perspectivas.
- Sistema que permita la reconstrucción de la posición en el espacio de los haces, es decir, el ajuste del modelo (orientación relativa y orientación absoluta).
- Dispositivo de observación estereoscópica.
- Mecanismo de restitución, que permita constantemente materializar la intersección de rayos homólogos.
- Medidor de coordenadas.
- Dispositivo de dibujo.

CLASIFICACIÓN

SEGÚN SEA LA MATERIALIZACIÓN DE LOS RAYOS PERSPECTIVOS

ÓPTICOS

- La reconstrucción es óptica en el espacio imagen
- La reconstrucción es óptica en el espacio objeto

El más representativo es el restituidor C-8 de ZEISS y los sistemas Múltiplex y Balplex

ÓPTICOS-MECÁNICOS.

- La reconstrucción es óptica en el espacio imagen
- La reconstrucción es mecánica en el espacio objeto.

No han sido muy frecuentes. Los más significativos son los de la casa NISTRÍ.

- La reconstrucción es mecánica en el espacio imagen
- La reconstrucción es mecánica en el espacio objeto

Los más utilizados son:

- La gama de los WILD: A-8, A-9, A-10
- La gama de los ZEISS: Planimat, Planicart, Planitop.

SEGÚN LA PRECISIÓN

La clasificación puede hacer tanto cualitativa como cuantitativamente.

CLASIFICACIÓN CUALITATIVA

- **MAXIMA:** Escalas grandes y aerotriangulación (se les solía llamar 1º orden)
- **MEDIANA:** Escalas medias y pequeñas (se solía llamar 2º orden)
- **TERCER ORDEN:** Para terrenos llanos y vuelos verticales.

CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA.

Definida por el factor de precisión (**C**) dado por la relación.

$$C = \frac{Hvt}{I}$$

Donde (**Hvt**) corresponde a la altura de vuelo con respecto al terreno fotografiado e (**I**) es el intervalo más pequeño entre curvas de nivel que se pueda discriminar con el referido instrumento, para este efecto resulta la siguiente clasificación.

ORDEN	FACTOR	ALGUNAS MARCAS Y MODELOS
I	1500	ZEISS - C8; WILD A10 - A7 GALILEO ESTEREOTERSO
II	1200	WILD B8 - KERN P62
III	600	ESTEREO MULTIPLEX - BALPLEX

SEGÚN SU UNIVERSALIDAD

- **UNIVERSALES:** Aptos para trabajar con cualquier formato de fotograma, distancia focal y condiciones de toma, muy diversas.
- **RESTRINGIDOS:** A una distancia focal, un formato y ejes perspectivo fijo y casi vertical.

Nota importante: todos los equipos análogos existentes en el mercado se encuentran codificados y por lo tanto cuentan con asistencia computacional transformándolos en instrumentos semianálogos.

APARATOS ANALÍTICOS

(No son sistemas digitales puros, corresponden a equipos que hoy los podríamos llamar semianálogos ya que una parte se hace análogamente y otra en firma digital).

CARACTERÍSTICA GENERALES

No hay materialización de los rayos perspectivos, y la correspondencia entre puntos homólogos de las fotos y modelo, se hace por vía analítica a través de transformación de coordenadas en un calculador.

El aparato consta de:

- Un instrumento visualizador que permita la identificación y puntería sobre puntos homólogos, en ambas placas. Supongamos es un estereocomparador.

- Un calculador que calcule las coordenadas de los puntos.
- Un coordinatógrafo o bien un registrador de coordenadas.

El calculador puede o no estar ligado al estereocomparador si lo está, calcula las coordenadas de los puntos instantáneamente después de posado y es posible la restitución por línea continúa, como en los analógicos.

EL ESTEREOCOMPARADOR

Es un instrumento que permite medir simultáneamente las coordenadas de las imágenes homólogas de un mismo punto sobre dos placas, mediante puntería estereoscópica.

Los restituidores analíticos tienen las siguientes denominaciones y pertenecen a las siguientes casas constructoras:

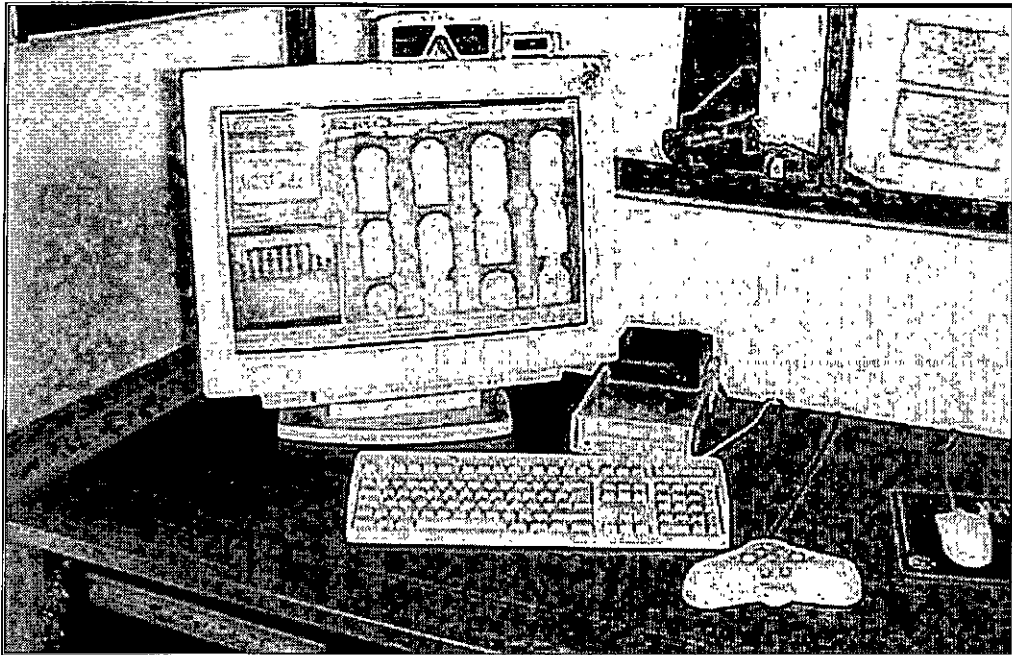
NOMBRE DEL APARATO	CASA CONSTRUCTORA
APPS IV	Automotric, Inc.
US-2	Bendix
Analytical compiler	Keuffel-Esser
Traster	MATRA
APC/4	OMI-Nistri
Autoplot	Systemhouse, Ltd.
C-100	Zeiss-Oberkochen
Digital Stereocartograph	Santoni-Galileo
Aviolyt AC1	Wild Heerbrugg

APARATOS AUTOMÁTICOS

Tanto en los analógicos como en los analíticos, la identificación de puntos homólogos es realizada por el hombre. Los aparatos automáticos se caracterizan porque esta identificación se hace sin intervención del hombre, sino por un dispositivo automático llamado "correlador de imágenes", consistente en hacer un barrido electrónico y comparar las señales eléctricas que provienen de ambas imágenes, comparándolas e identificándolas.

APARATOS DIGITALES

Un sistema fotogramétrico digital incluye todos los elementos necesarios tanto a nivel de software como de hardware, para obtener los productos fotogramétricos a partir de las imágenes digitales, incluyendo también sistemas de captura de imágenes (interfaces de conexión con cámaras digitales o sistemas digitalización de imágenes en formato analógico -escáner-). El elemento fundamental del sistema fotogramétrico digital es la estación fotogramétrica digital -Digital Photogrammetric Workstation- (conocido también como restituidor digital o estación fotogramétrica digital, si bien este nombre no es adecuado puesto que sólo hace referencia a una de las tareas de la estación, el proceso de restitución).



Estación Fotogramétrica DVP

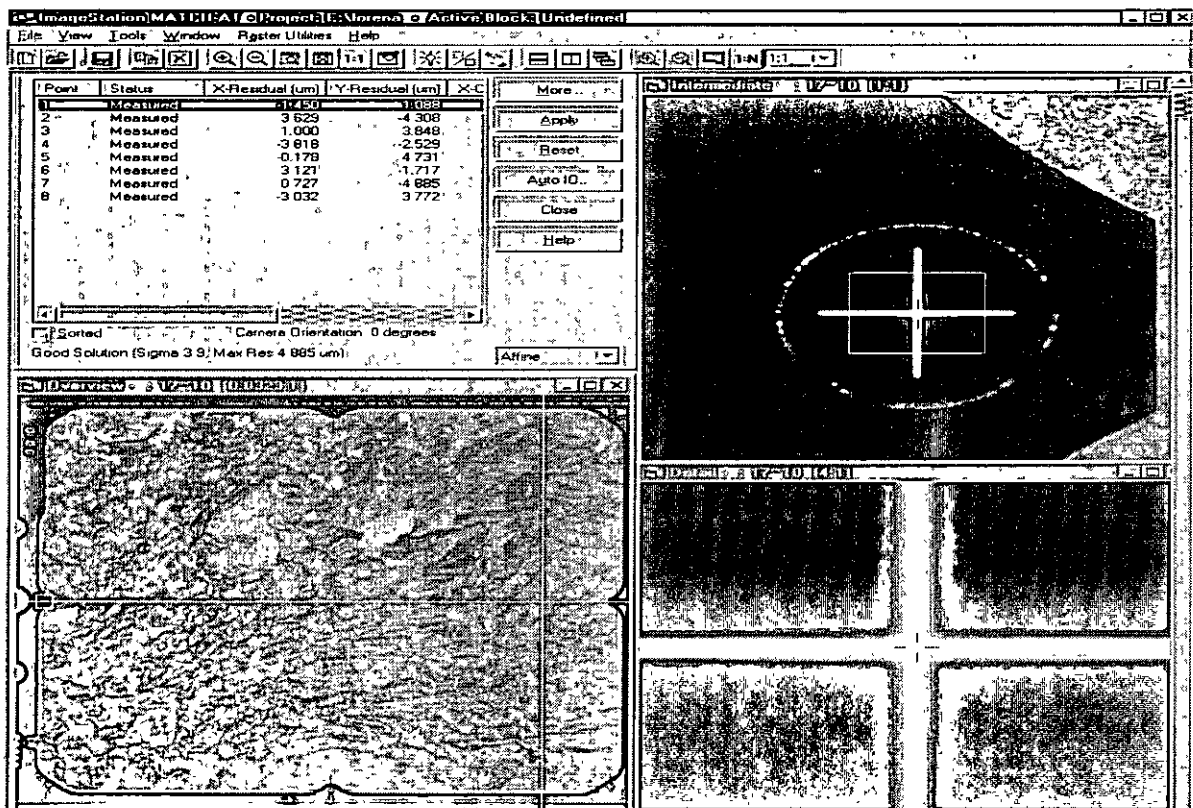
Tipo de fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película fotográfica	Analógico (óptico-mecánico)	Analógica
Analítica	Película fotográfica	Analítico (Computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital	Analítico (Computadora)	Digital

1.3 Conceptos básicos

a) Fotogramas

Un fotograma es una vista aérea en la que además de las señales que permiten determinar su centro, se impresiona en los bordes, mediante signos o abreviaturas convencionales, diversos datos que interesan conocer para su utilización posterior, como son; distancia focal, posición del nivel, altura de vuelo, hora en que se ha tomado la vista, número de orden de la fotografía, etc.; alguno de estos datos sirven para determinar la orientación interior del fotograma.

Marcas fiduciales. Son marcas ubicadas en los bordes de la fotografía, éstas pueden ser cruces y/o cortes en forma de V, que se encuentran en las esquinas o al centro de las orillas de las fotografías y sirven para ubicar el centro de perspectiva o punto principal de las mismas.



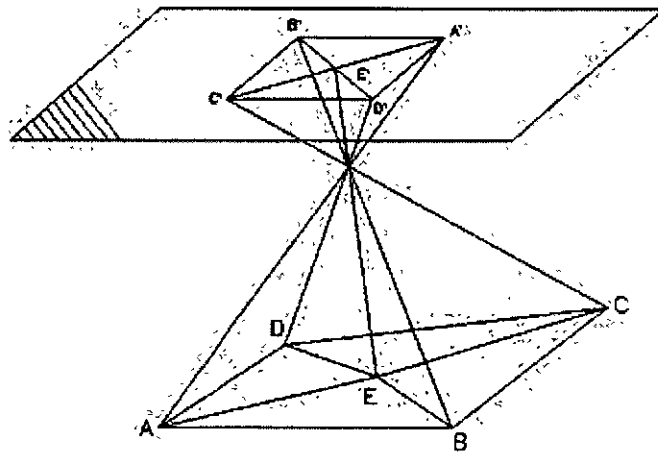
b) Proyección cónica

La proyección de un objeto cualquiera sobre una superficie es la intersección con la misma de una radiación de rectas que pasan por los diferentes puntos. Normalmente, dicha superficie es un plano y entonces la proyección del objeto puede definirse también como la sección por dicho plano del haz de rectas que constituyen la radiación considerada.

Para que el haz de rectas resulte determinado, además de pasar las mismas por los distintos puntos del objeto, tienen que cumplir otra condición, y ésta es la que caracteriza a las distintas proyecciones.

c) Proyección central

El elemento fundamental del trabajo fotogramétrico es la fotografía, su imagen es la expresión real y sincera del objeto en el momento de la toma fotográfica. Antes de tratar sobre las propiedades geométricas de una fotografía, nos referiremos a los principios geométricos sobre los cuales se basa. La fotografía es una proyección central, se forma la imagen fotográfica de un objeto espacial, sobre un plano al atravesar por un "objetivo", los rayos son reflejados por dicho objeto e inciden sobre el plano antes mencionado.



Todos los rayos que provienen del objeto ABCDE atraviesan el objetivo representado por el centro de proyección O e inciden en el otro lado (A'B'C'D'E') sobre el plano de proyección.

La proyección central muestra las siguientes propiedades:

1. A cada punto del objeto corresponde un solo punto de imagen.
2. Contrariamente, a cada punto de la imagen corresponde una infinidad de puntos de objeto (por encontrarse todos en el mismo rayo).
3. Las líneas rectas quedan como tal, sin embargo cambian su orientación. Los ángulos no se conservan en general. Esto trae como consecuencia que las paralelas no pueden figurar como tales.
4. Solamente las líneas rectas que se encuentran en un plano paralelo con el plano de la imagen, se muestran paralelas entre sí.
5. Otros haces de paralelas se cortan en un punto del plano de imagen, en el punto de fuga F.



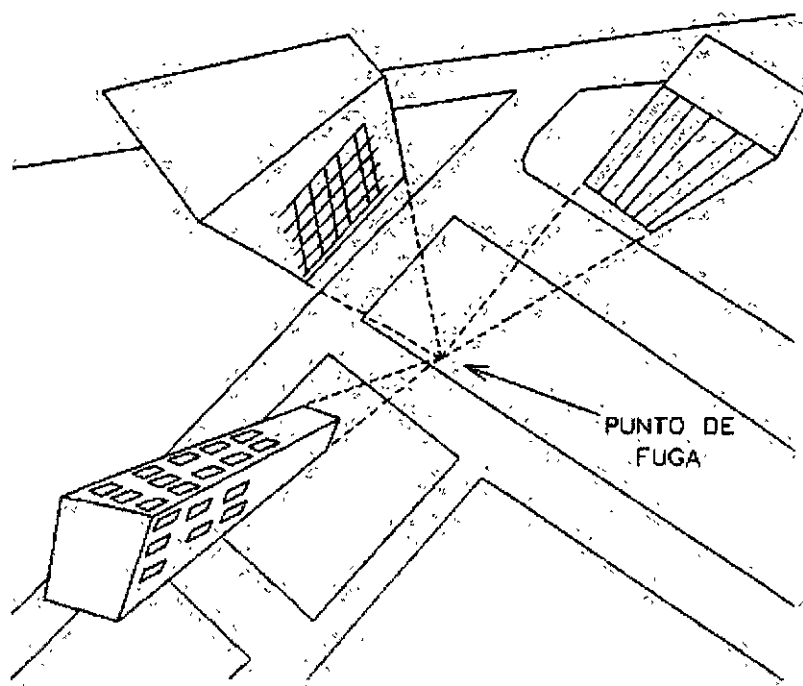
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL I

CI 10

TEMA:
PARTE II A(2)

**EXPOSITOR: ING. JUAN MIGUEL LUNA FUENTES
DEL 9 AL 13 DE MARZO DE 2009
INGENIERÍA CIVIL**



La imagen fotográfica es pues deformada.

De estas propiedades se ve claramente que no se puede, en principio, tomar ninguna medida sobre la fotografía. Sin embargo, se pueden medir distancias o ángulos en un plano o en un mapa.

Una proyección vertical del terreno sobre un plano cumpliría con estas exigencias. En una proyección ortogonal los diferentes puntos del terreno son proyectados sobre un plano por rayos verticales, o sea, también paralelos. Las líneas rectas son proyectadas como tales y conservan su dirección así como su orientación. Sin embargo, las distancias pueden reducirse en su componente horizontal.

Así se forma un plano del objeto. (La relación entre las dimensiones del objeto en el plano y en el espacio es una constante: Escala).

Las direcciones y los ángulos se mantienen. Las distancias pueden transformarse conociendo la diferencia de altitud entre sus extremos a sus valores espaciales (distancia geométrica).

Así, el mapa representa en forma reducida la proyección ortogonal de una parte de la superficie terrestre y es tarea de la Fotogrametría transformar una proyección central en una proyección ortogonal.

d) Calibración de la cámara

La distancia focal de la cámara calibrada se denomina distancia principal, y la podemos definir por la expresión:

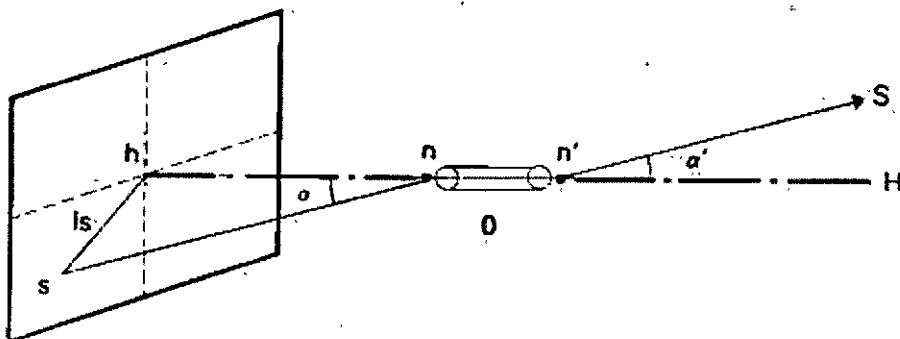
$$C = \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}$$

I = Distancia radial de la imagen de un objeto desde el punto principal.

α = Angulo formado por los rayos correspondientes del punto principal y de la imagen.

Estas condiciones no son estrictamente rigurosas y los puntos nodales n y n' , no son absolutamente fijos, existiendo desplazamientos diferenciales en función de los ángulos (α, α'), siendo, por lo tanto, preciso corregir las distorsiones residuales, en los instrumentos fotogramétricos de precisión.

El punto principal viene determinado por la intersección de las diagonales de las marcas fiduciales.



Relaciones entre los puntos nodales y la geometría de la imagen.

La calibración de una cámara consiste en determinar, exactamente, el valor de sus elementos de orientación interna, y compensar éstos de la mejor manera posible. Esta calibración se puede realizar mediante una serie de mediciones de coordenadas o distancias en el plano de la imagen, y el conocimiento de los ángulos.

El informe de calibración debe contener, como mínimo, la siguiente información:

- Distancia principal calibrada.
- Curvas de distorsión radial para cada una de las cuatro semi diagonales, referidas al centro de simetría.
- Curva promedio de distorsión.
- Ubicación del centro óptico de simetría y el centro de auto colimación, con respecto al punto determinado por las marcas fiduciales.

e) Punto Principal y Distancia Focal

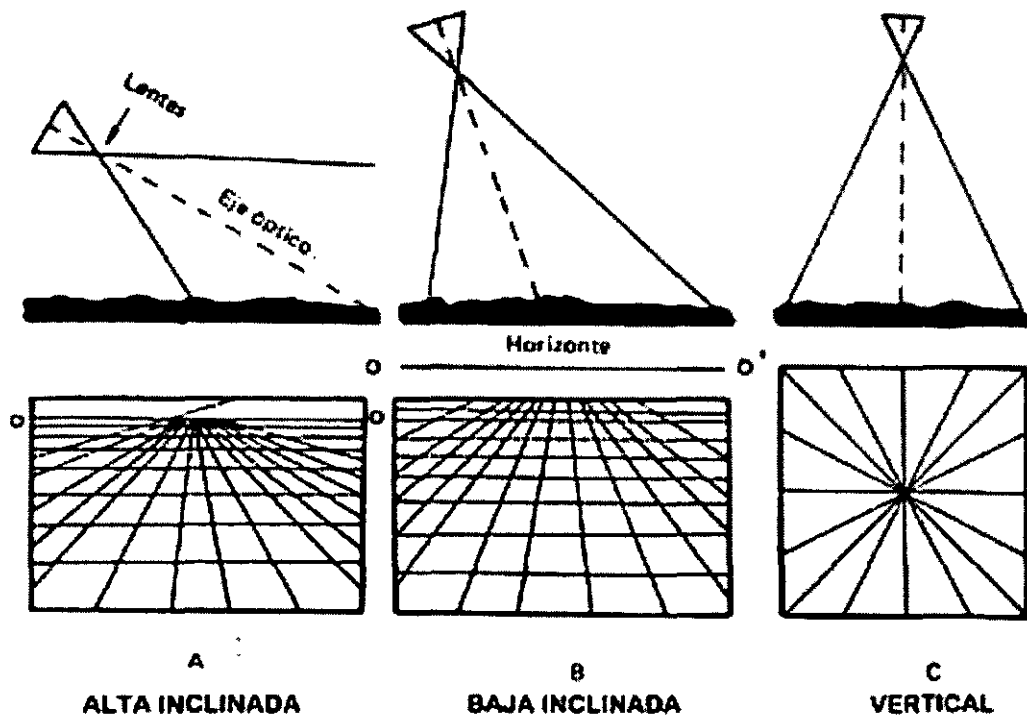
El punto principal está definido matemáticamente como la intersección de la línea perpendicular dirigida desde el centro de proyección hasta el plano de la imagen. La longitud de este punto principal hasta el centro de proyección se conoce como distancia focal.

El plano de la imagen es comúnmente referido como el plano focal. Para cámaras aéreas gran angulares, la distancia focal es aproximadamente de 152 milímetros. Para algunas cámaras digitales, la distancia focal es de 28 milímetros. Antes de realizar un proyecto fotogramétrico, la distancia focal de una cámara métrica es determinada con exactitud en un proceso de calibración que se realiza en un laboratorio.

f) Tipos de Fotografías Aéreas

Hay tres tipos de fotografías aéreas, que se diferencian según el valor del ángulo de inclinación del eje óptico con respecto a la vertical.

- Fotografía vertical: cuando el ángulo de inclinación no excede, normalmente, los 3º
- Fotografías oblicua: Cuando el ángulo de inclinación alcanza valores mayores que 3º, pero no se alcanza a registrar el horizonte.
- Fotografías Panorámicas: En este tipo, aparece registrado el horizonte en la fotografía.



g) Escala de la Fotografía

La escala de una fotografía aérea viene dada por la relación:

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

c = distancia principal

H = altura de vuelo sobre el terreno

En un perfil de terreno no llano existirán infinitos valores de escala. Por ello, al referirnos a la escala de un fotograma, lo estamos haciendo a un valor medio, respecto a un plano de referencia, elegido con criterio de que se encuentre equidistante, entre el plano tangente a las mayores elevaciones del terreno y la de mayores depresiones. Pues bien, recordando que el dato altimétrico está referido al nivel medio del mar (H'), por lo que, para conocer la escala de una fotografía con el referido indicador, será preciso restar la altitud del plano de referencia (NMM) el valor o altura del elemento.

$$E = \frac{c}{(H - h)}$$

H = altura NMM

h = altura del objeto o elemento.

DEFORMACIONES GEOMÉTRICAS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

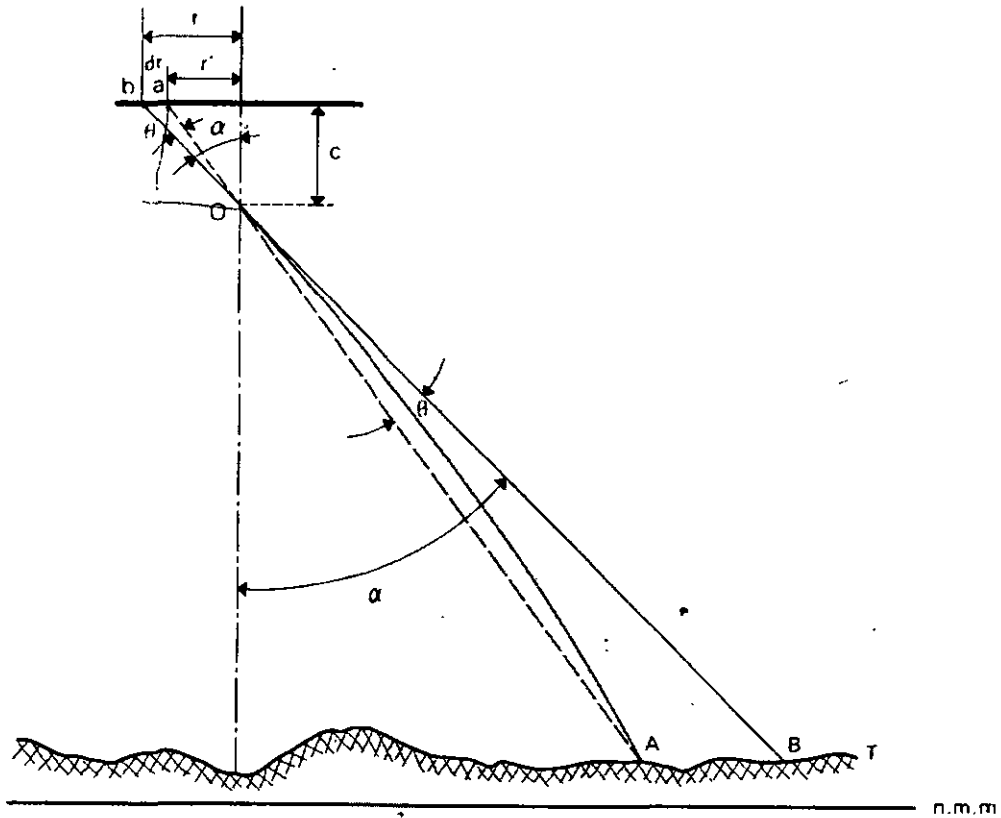
Se denominan deformaciones geométricas de las fotografías aéreas a las imperfecciones que afectan a la calidad de la imagen desde el punto de vista cuantitativo. Por tanto, esto influye en las mediciones que se realizan sobre la fotografía.

Las relaciones geométricas entre elementos objeto y elementos imagen, se basan en los siguientes supuestos:

- Considerar la fotografía como una proyección central del terreno.
- Considerar que las cámaras fotográficas tienen un único centro de proyección.
- Suponer que la proyección de un punto objeto, se impresiona en el negativo como tal punto.

En la formación de la imagen, estos principios se cumplen de forma aproximada, debido a las siguientes causas de errores sistemáticos, en la formación de la imagen fotográfica:

1. los rayos luminosos AO, BO..., no son rectilíneos, por efecto de la refracción atmosférica, debido a que la densidad de la atmósfera decrece al incrementarse la altura, produciendo un efecto de curvatura. La distorsión angular debida a la refracción θ , origina un desplazamiento δr , en el negativo. Los efectos de refracción atmosférica aumentan con la altura de vuelo y con el incremento del ángulo α (creciendo, proporcionalmente, respecto a la distancia nadiral).



Distorsión angular θ , por efecto de la refracción atmosférica, produce un desplazamiento δr en el plano de la imagen.

Las ecuaciones de corrección, de refracción atmosférica son:

$$Ob = c / \cos \alpha$$

$$\delta r = (Ob * \theta) / \cos \alpha$$

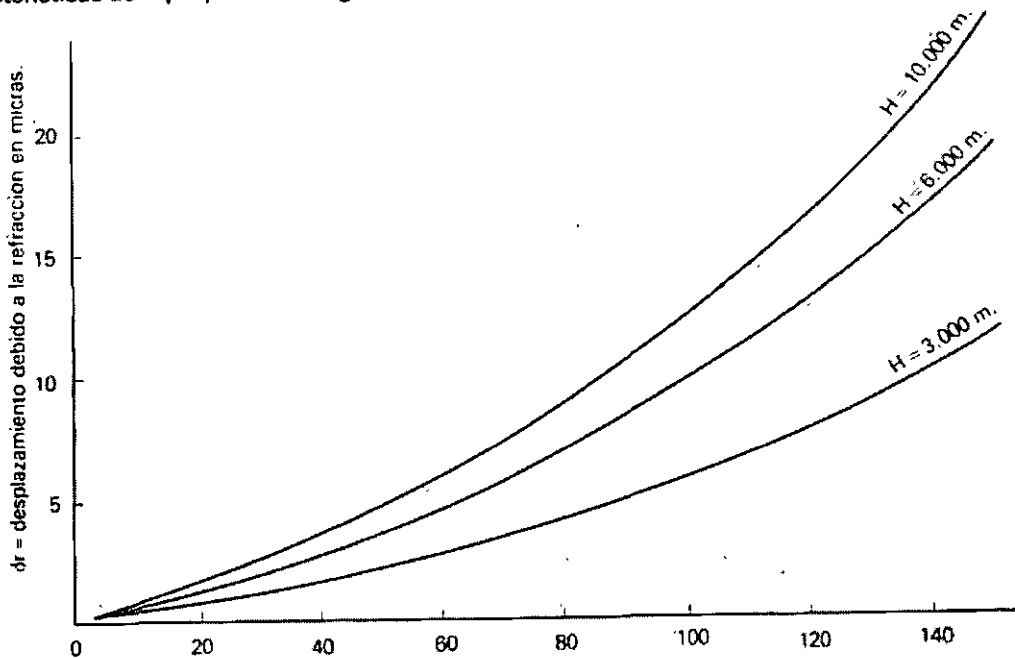
$$\text{luego } \delta r = (c * \theta) / \cos^2 \alpha$$

Donde θ es un valor experimental, función de la altura de vuelo y para unas condiciones atmosféricas determinadas. El valor α se calcula, mediante medición de coordenadas en el fotograma, con ayuda de un comparador y con los datos de calibración de la distancia principal de la cámara, mediante la fórmula:

$$\alpha = \text{tg}^{-1} (r/c)$$

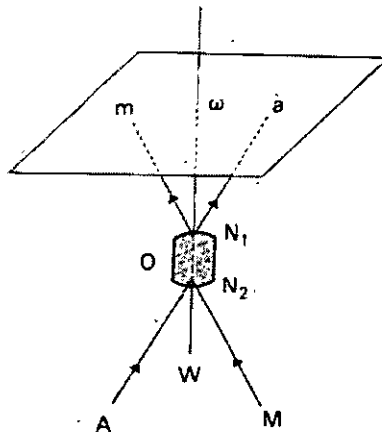
Los desplazamientos debido a la refracción atmosférica, están expresados en el nomograma como se ve a continuación, para distintas alturas de vuelo sobre el terreno, y para tomas de fotografía aérea vertical con cámara gran angular ($c = 150\text{mm}$).

Características de la proyección fotográfica



Desplazamiento en el plano de la imagen, causados por efecto de la refracción atmosférica, según distintas alturas de vuelo sobre el terreno, y distancia radial respecto al principal del punto considerado.

2. El objetivo O es una combinación óptica compleja, que se comporta, como si, en lugar de existir un centro perspectivo único existirán dos, los puntos nodales N_1 (interno) y N_2 (externo). La distancia $N_1 \omega$ es la distancia principal c , exigiéndose una perfecta calibración en su determinación y que se conserven los ángulos homólogos, por lo que las distorsiones de las lentes, deben estar perfectamente corregidas.



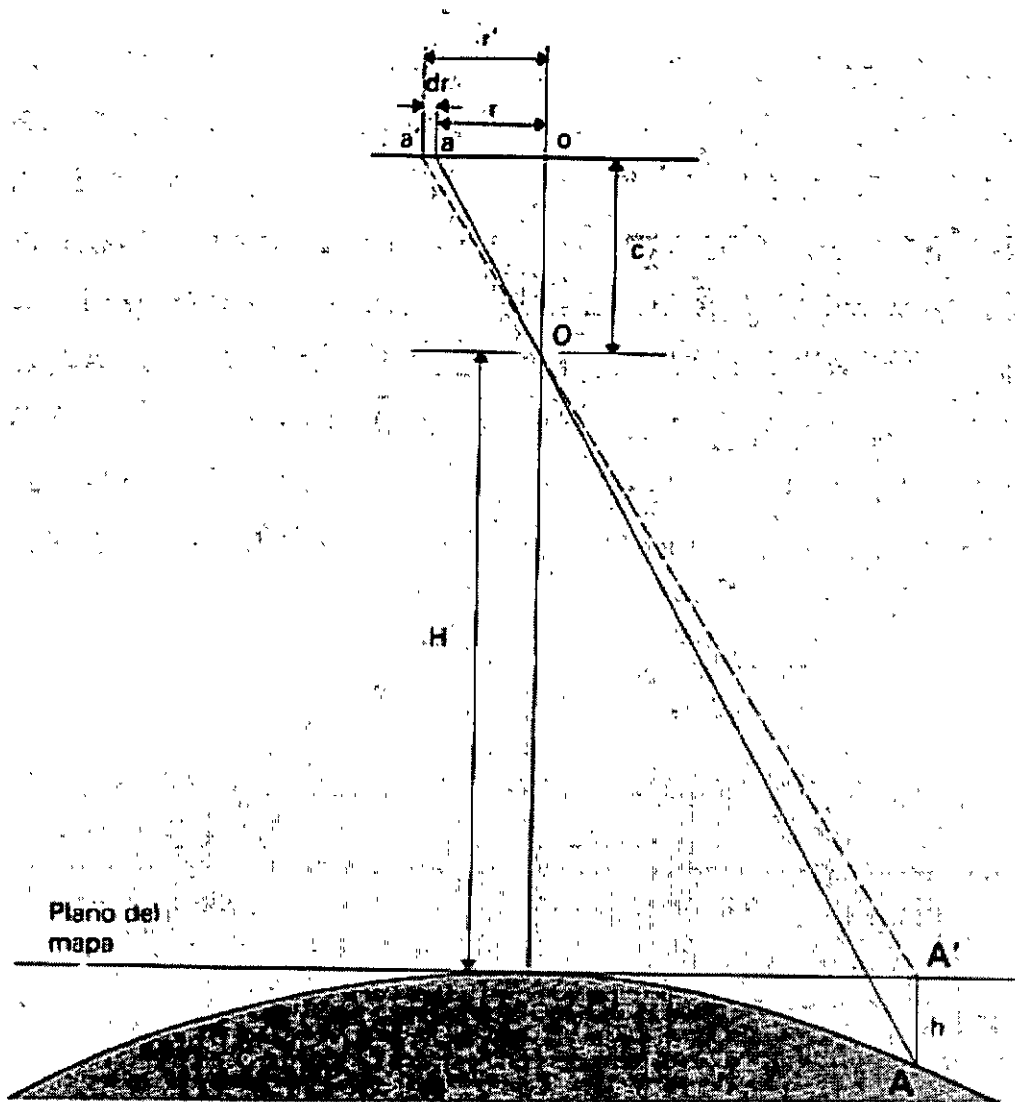
El objetivo como elemento geométrico.

3. El punto principal de una fotografía no coincide necesariamente con el que nos define la intersección de las líneas que unen las marcas fiduciales. Este error de desplazamiento suele ser de poca significación, y es uno de los aspectos de mayor interés en la calibración de una cámara.

4. La curvatura terrestre produce un error de desplazamiento en la imagen fotográfica, según se representa en la figura. El desplazamiento dr , nos vendrá dado por la formula:

$$dr = Hr^3 / 2Rc^2$$

Donde H es la altura de vuelo sobre el terreno y R es el radio de la Tierra.

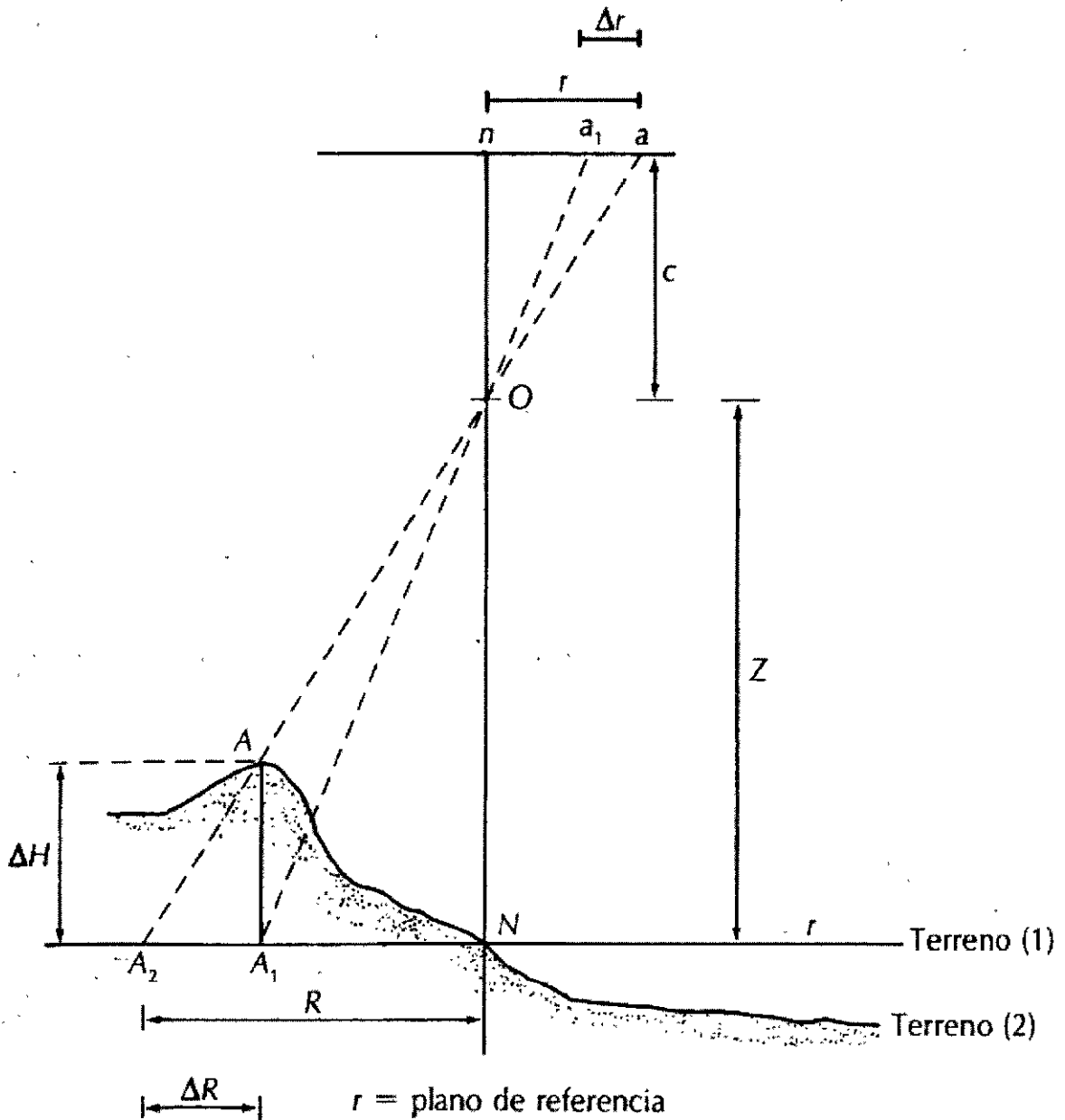


Desplazamiento en el plano imagen, por efecto de curvatura de la superficie terrestre.

Desplazamiento debido al relieve

Suponiendo que desde un punto "O" en el espacio de ha tomado una fotografía exactamente vertical, como en la figura, de un terreno plano horizontal (perfil de terreno 1) un punto A1 de

dicho plano tendrá su correspondiente en el punto a_1 de la fotografía. Si el terreno no es plano, sino que presenta diferencia de relieve, como aparece en el perfil de terreno 2 y el punto A_1 no se encuentra sobre el plano de referencia sino en la posición A , a dicho punto A le corresponderá como imagen en la fotografía.



La distancia a_1 , es decir la distancia entre la imagen (a) de un punto del terreno y la imagen que tendrá el mismo punto si se encontrara sobre el mismo plano de referencia (a_1) se define como desplazamiento radial debido al relieve (Δr) del punto A con respecto al plano de referencia r .

Aplicando el teorema de Tales (paralelas cortadas por un haz de rectas determinan segmentos proporcionales) se obtiene la relación:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta R}{R}$$

Por semejanza de los triángulos A2 A1 A y A2 NO se deduce la relación:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta H}{Z}$$

y finalmente de las igualdades se deduce que:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta H}{Z}$$

Fórmula de desplazamiento debido al relieve de una foto queda determinado como:

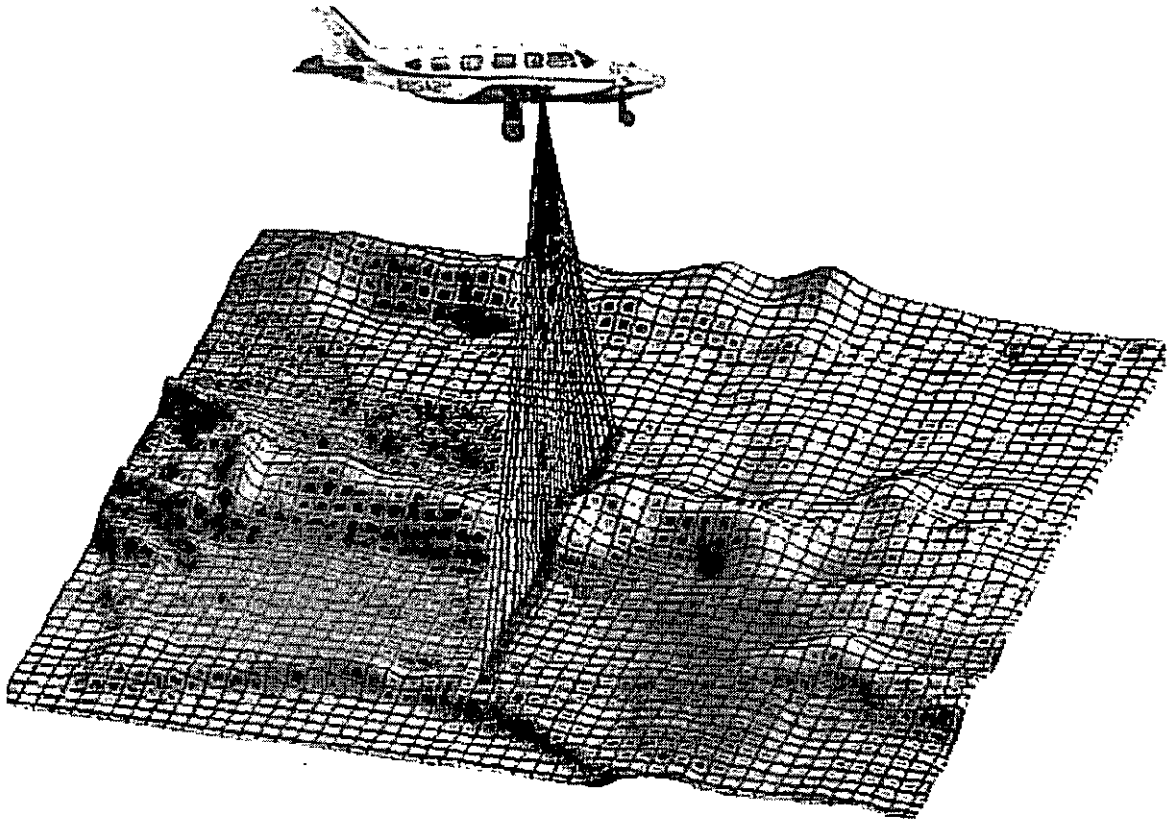
$$\Delta r = \left(\frac{\Delta H}{Z}\right) * r$$

de la fórmula anterior puede deducirse que el desplazamiento debido al relieve Δr : k Crece radialmente a partir del punto nadir y proporcionalmente al valor r. k Es directamente proporcional a la diferencia de altura ΔH con respecto al plano de referencia. k Inversamente proporcional a la altura de vuelo Z sobre el plano de referencia.

1.4 Estado actual y últimas tendencias

La fotogrametría va avanzando conforme avanza la tecnología, los últimos avances y tendencias van completamente a lo digital, a la captura y procesamiento mediante software poderos que van

ahorrando mucho tiempo, tiempo que antes complicaba muchos de los procesos fotogramétricos como lo eran las orientaciones interna y externa, la aerotriangulación, la elaboración de ortofotos e incluso la toma de fotografías. Una tendencia que ya se ve en nuestros días es el sistema LIDAR, que aunque por el momento es de costo elevado poco a poco va tomando fuerza en el mercado.



Sistema LIDAR, para la generación de Modelos Digitales de Terreno

El sistema láser escáner aerotransportado (*ALS*) es un método directo y activo de captura de datos. Esencialmente consiste en un sensor láser instalado en una plataforma móvil que barre las superficies que se encuentran entre el sensor y el terreno obteniendo una nube de puntos de coordenadas precisas. El equipo *ALS* está compuesto por un sensor láser, un sistema inercial de navegación (*INS*) y un receptor *GPS* en una plataforma. En tierra se dispone una red *GPS* para trabajar de forma conjunta con el receptor *GPS* de la plataforma. La disposición de estos elementos se muestra en la figura 2.3 donde además se incluyen el número mínimo de satélites *GPS* para el levantamiento (cuatro).

1.5 Usos y aplicaciones

La fotogrametría es uno de los principales medios para la Cartografía, auxiliado de otras disciplinas como la Topografía, la Geodesia y la Geografía.

La primera utilización de la fotogrametría consistió en la realización de mapas y plano topográficos. De hecho, los mapas base de la cartografía de cualquier país, son obtenidos mediante ella. Actualmente, además de la realización de estos mapas base, se realizan muchos otros tipos de mapas de carácter especial, los cuales pueden presentar gran variedad de escalas, y se utilizan en el proyecto y diseño de obras tales como autopistas, carreteras, vías de ferrocarril, puentes, tuberías, oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, presas hidroeléctricas, estudios urbanos, etc. Además de estos mapas, orientados principalmente al desarrollo de obras de ingeniería civil, podemos mencionar mapas realizados para uso catastral, mapas geológicos, mapas de suelos, mapas forestales, etc.

Dentro de las disciplinas que se benefician de la fotogrametría no topográfica podemos mencionar a la arquitectura, en el levantamiento de monumentos y de sitios; la arqueología, en aplicaciones similares a las usadas en arquitectura; la bioestereometría, en el estudio de formas de seres vivos; la construcción naval, la automotriz y la de maquinaria pesada hacen también uso de esta disciplina. Una importante cantidad de la información cartográfica producida mediante el empleo de la fotogrametría, es utilizada como referencia espacial en bases de datos digitales. Estos, se integran con otros datos obtenidos por diferentes medios, generalmente de carácter cualitativo y descriptivo para conformar sistemas de información geográfica (SIG).

La fotogrametría es una disciplina basada en la reconstrucción 3D de la realidad a partir de imágenes bidimensionales; es por ello que sus ventajas y desventajas están estrechamente ligadas a las formas de registro (generalmente fotografías aéreas), y a los métodos y equipos de restitución.

Ventajas de la fotogrametría.

- Reducción de costos. Está relacionado con el tamaño del área a restituir. A partir de las 200 ha. de superficie, el método fotogramétrico se torna competitivo frente al método topográfico, aumentando esta competitividad a medida que el área se hace más extensa.
- Reducción del trabajo de campo. El trabajo de campo es un componente oneroso de todo trabajo topográfico, cuyo costo aumenta con la accesibilidad y las condiciones de clima adverso. La reducida cantidad de puntos e control necesarios en la fotogrametría, reduce la estadía en el campo.
- Velocidad de compilación. El tiempo requerido para realizar un mapa fotogramétrico es mínimo comparado con el que requiere el levantamiento topográfico y su posterior trabajo de gabinete.
- Dado el poco tiempo necesario para el levantamiento fotogramétrico con el que se obtiene una reproducción fiel del terreno, en un periodo determinado, nos facilita datos muy valiosos en los casos de cambios súbitos, como por ejemplo: durante o después de catástrofes naturales.

- **Flexibilidad.** El método fotogramétrico puede ser realizado en un variado rango de escalas, dependiendo de la escala de las fotografías y del tipo de aparato compilador utilizado, dependiendo también de la disponibilidad de recursos económicos y técnicos. Por ello, suministrar mapas o sustitutos con diferentes tiempos de producción, costos y precisión.
- **Registro multitemporal.** Es muy útil para verificar mapas fotogramétricos. Las fotos aéreas proveen un registro preciso de las características del terreno en la fecha en que fueron tomadas, lo cual permite realizar comparaciones entre fotos de otras fechas para evaluar cambios en el terreno. Las fotos aéreas también pueden ser empleadas para otros usos diferentes al del proyecto original, ya que además de información métrica, las fotografías aéreas proporcionan información de carácter cuantitativo y cualitativo.
- **La Fotogrametría se puede aplicar en regiones donde no pueden utilizarse los métodos clásicos, como, por ejemplo: en regiones intransitables, tales como: ciénagas, desiertos, selvas vírgenes, territorios azotados por alguna epidemia u ocupados por fuerzas enemigas, etc., debido a la característica intrínseca de la fotogrametría, de que los objetos pueden ser medidos sin necesidad de estar cerca de ellos.**
- **La aerofotogrametría aporta además una serie de ventajas, tales como, la fotografía en sí, la cual es un documento que permite efectuar cualquier control en un momento dado. También se pueden obtener de ella datos jurídicos, geológicos, históricos y geogénicos de suma importancia.**

Desventajas de la fotogrametría.

- **Visión de la superficie del terreno cuando existe densa cobertura vegetal.** En este caso es imposible ubicar la marca flotante sobre el terreno, por lo que se debe presumir una altura promedio de la vegetación con respecto al suelo. Sin embargo, como la cubierta vegetal tiende a suavizar los accidentes topográficos del terreno, siempre existirán errores en la ubicación de las curvas de nivel, aunque se pueda verificar la cota en los claros que existan en la vegetación.
- **Ubicación de curvas de nivel sobre superficies planas.** El determinar la trayectoria de una curva de nivel en un terreno plano tiene un alto grado de dificultad, debido a la imprecisión en la colocación de la marca flotante. En consecuencia, se colocan puntos acotados en la restitución o se complementa con trabajo de campo.
- **El lugar debe ser inspeccionado para determinar aquellos elementos que no son visibles en forma satisfactoria, o que no cuya naturaleza exacta no puede ser determinada en el estereomodelo.**
- **Siempre es necesario realizar un control de campo.**
- **La aplicación de la fotogrametría requiere una inversión considerable de equipo y de personal especializado, por lo que su costo es elevado.**

- Para realizar nuevos levantamientos se requiere la obtención de nuevas fotografías.

La fotogrametría también encuentra su aplicación en las siguientes aéreas:

Geología.- En esta rama de la ciencia se emplea en la investigación de recursos Hidrológicos, estudios estructurales, elaboración de cartas Geológicas, estudios Geomorfológicos.

Agricultura.- Aquí juega un papel muy importante en el control de plagas, estudios del tipo del suelo y conservación del mismo.

Diseño y Construcción.- Su aplicación principal es en diseño y construcción de casas y carreteras.

Tenencia de la Tierra.- En este aspecto la Fotogrametría es indispensable para la elaboración de planos catastrales, tanto urbanos como rurales.

Planeación.- En este renglón tan descuidado en México, es un auxiliar valiosísimo para planear el crecimiento urbano de las ciudades, proyectar mejoramientos urbanos, como son centros comerciales, áreas verdes, parques deportivos, agua potable, circulación de vehículos, etc.

Arquitectura.- Para la arquitectura la Fotogrametría es un valioso auxiliar cuando se tiene que restaurar o reconstruir edificios o para trasladar un edificio de un lugar a otro, así como para elaborar maquetas a escala de fechadas de edificios existentes.

Arqueología - En México hay muchas zonas Arqueológicas que pueden ser estudiadas y reconstruidas con la ayuda de la Fotogrametría.

Productos fotogramétricos.

La fotogrametría genera productos finales, gráficos, fotográficos y/o digitales, en función de la aplicación que tendrán los mismos. Discriminando estos productos según el proceso y su forma final, se pueden agrupar según los tipos que se describen brevemente a continuación.

Mapa de líneas. Es el producto por excelencia de la fotogrametría. Actualmente existen dos modalidades de medios de presentación de los mapas: los tradicionales, los cuales son plotteados sobre una mesa de dibujo por el aparato restituidor, y los numéricos los cuales son realizados mediante una interface que conecta los movimientos del aparato restituidor para que puedan ser realizados mediante un programa CAD (Computer Assisted Design). En estos programas, los elementos que conforman la información que se extrae del modelo, se registran mediante puntos, líneas y polígonos, en diferentes capas según su contenido temático. Esta información puede editarse y completarse una vez hecha la restitución, por lo que se obtiene un plano digital del terreno, que por su naturaleza, se presta especialmente para su utilización en los Sistemas de Información Geográficos.

Puntos de control. Por medios fotogramétricos se pueden determinar las coordenadas espaciales (X, Y, Z) de puntos sobre el terreno, para densificar los puntos que ya se conocen, y los cuales son obtenidos por medios topográficos.

Fotomosaico. Es un ensamblaje de dos o más fotografías que presentan entre ellas un área común. Se clasifican en:

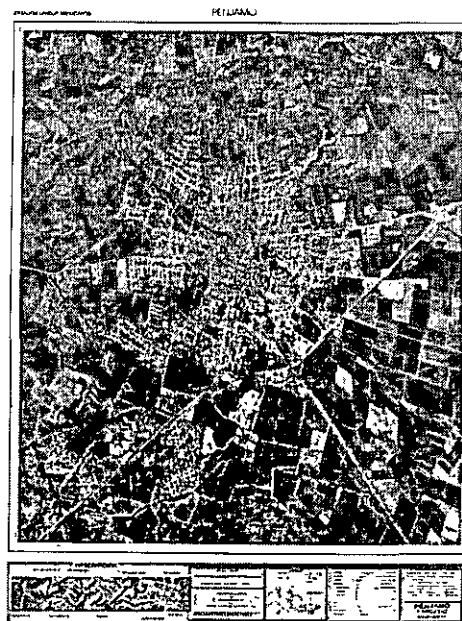
- Controlados: fotos rectificadas y trianguladas.
- Semicontrolados: fotos rectificadas o trianguladas.
- No controlados: fotos sin rectificar ni triangular.

Ortofoto. Es una fotografía o un conjunto de fotografías cuyas imágenes de los objetos se encuentran en su verdadera posición planimétrica. Esto se logra mediante un proceso denominado rectificación diferencial, en el cual se eliminan los efectos de la inclinación y del desplazamiento por relieve, propios a las fotografías. Por ello, las ortofotos son equivalentes a los mapas de líneas en lo referente a su precisión geométrica. Para la realización de la ortofoto es necesario crear el modelo estereoscópico del terreno, para de esta forma, proyectar en forma ortogonal, mediante el uso de la rectificación diferencial, la fotografía izquierda del modelo sobre película fotográfica, la cual, una vez revelada, es la ortofoto.

Ortofoto estereoscópica.

Está conformada por dos imágenes, donde la imagen izquierda es una ortofoto de la fotografía izquierda y la imagen derecha es una ortofoto de la fotografía derecha, la cual contiene la suma de los paralajes en x obtenidos de las variaciones de altura de los puntos correspondientes del terreno. Esta última ortofoto es denominada *estereomate*, la cual puede ser considerada como una proyección paralela oblicua del terreno, sobre el plano de proyección.

Ortofotomapa. Es una ortofoto hecha a una escala determinada, sobre la cual se añade la información convencional que posee un mapa.





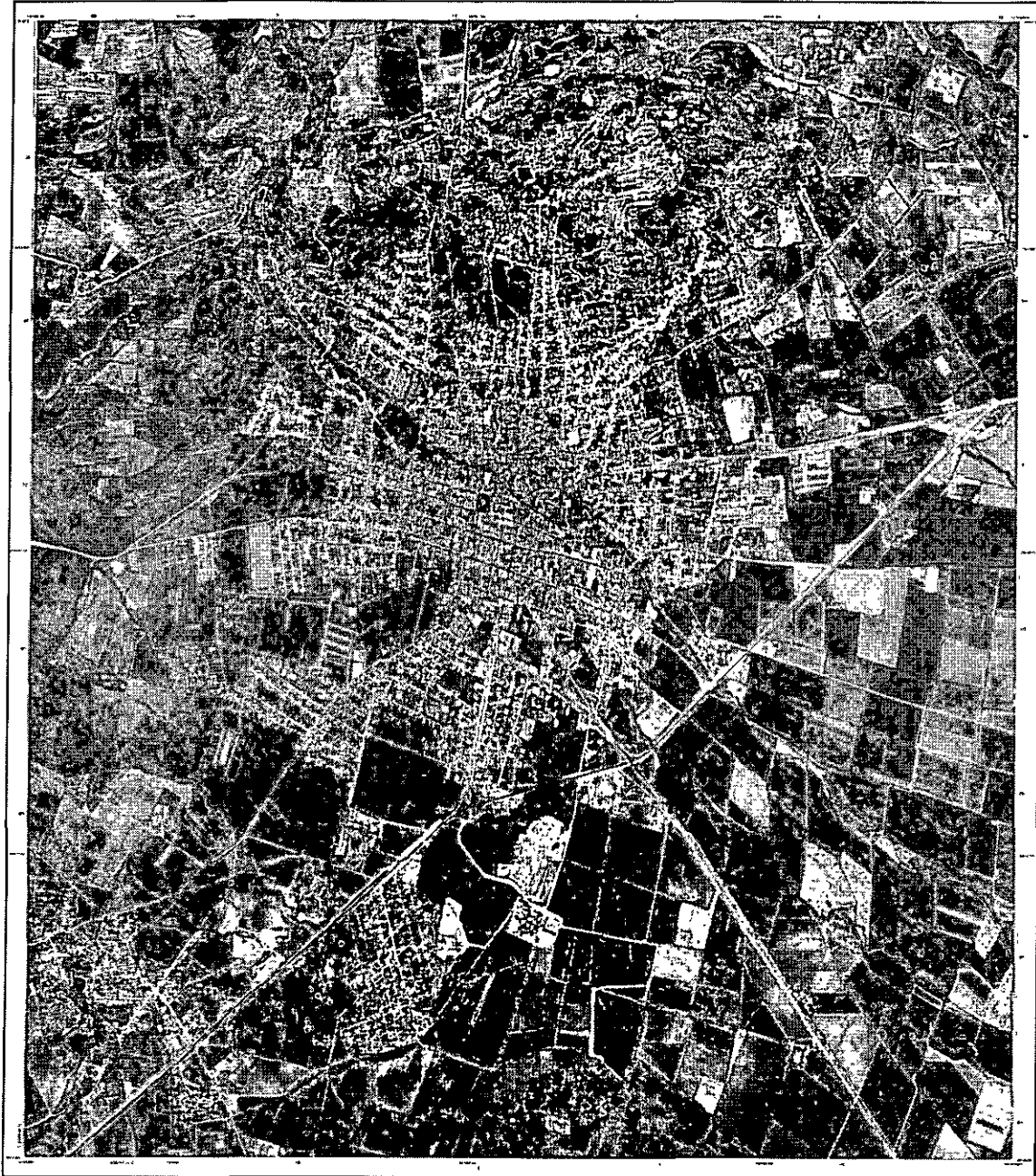
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

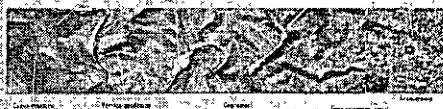
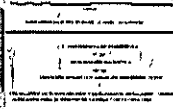


FOTOGRAMETRÍA DIGITAL I

CI 10

TEMA:
PARTE II B
QUÍMICA FOTOGRAFICA

**EXPOSITOR: ING. JUAN MIGUEL LUNA FUENTES
DEL 9 AL 13 DE MARZO DE 2009
INGENIERÍA CIVIL**



DESCRIPCIÓN			
Características físicas	Características humanas	Características económicas	Características culturales
			
<p>Características físicas: Relieve: Montañoso. Clima: Templado. Vegetación: Bosque seco.</p>	<p>Características humanas: Población: 110,000 habitantes. Densidad: 120 hab/km².</p>	<p>Características económicas: Actividad principal: Comercio. Industria: Textil.</p>	<p>Características culturales: Patrimonio: Monumento Nacional. Fiestas: Semana Santa.</p>
<p>PÉNJAMO F14C71-C GUANAJUATO</p>			<p>Escala: 1:50,000 Fecha: 1970 Autor: US Army Corps of Engineers</p>

2. Química fotográfica

2.1 Definición de fotografías analógicas

Una imagen natural capturada con una cámara, un telescopio, un microscopio o cualquier otro tipo de instrumento óptico presenta una variación de sombras y tonos continuos. Las imágenes de este tipo se llaman imágenes analógicas y al momento de ser capturadas se les denomina **Fotografías Analógicas**.

Para que una imagen analógica en escala de grises (las llamadas comúnmente, imágenes en blanco y negro) o a color, pueda ser "manipulada" usando un ordenador, primero deben convertirse a un formato adecuado. Este formato es la imagen digital o **Fotografía Digital**.



Imagen "analógica" en escala de grises



Imagen "analógica" en color

El material fotográfico está constituido de dos elementos, una emulsión fotográfica (superficie sensible a la luz), y el soporte o base de ésta (cristal o film). La emulsión no es un material homogéneo, sino que está constituida por granos de diámetros y formas muy variadas. En las películas muy sensibles, el diámetro del grano suele ser de unos 3μ , y el grosor de la capa sensible está comprendido entre valores de 20 y 40μ . Por ello, el concepto matemático de punto no se puede mantener, aunque realmente los errores sistemáticos del material fotográfico, vienen mucho más afectados por los problemas de contracción y expansión de los soportes. Los errores debidos a estos efectos combinados, se estiman por la fórmula empírica:

$$M (\text{mm}) = \pm 0.006 s$$

Siendo s la longitud del lado del fotograma, expresado en decímetros.



2.2 Equipo, materiales y procesamiento

Antes de comenzar el revelado de una película, hay que comprobar si tenemos todos los útiles necesarios para el proceso y que son:

- Abridor de chasis (puede valer un abrebotellas).
- Tijeras (a ser posible de punta redonda).
- Tanque completo con espirales, eje y tapa.
- Termómetro.
- Botellas de revelador, paro y fijador.
- Pinzas para colgar los negativos (puede valer las de la ropa).
- Reloj con segundero.

Una vez rebobinado el carrete y extraído el chasis de la cámara, debemos introducir la película en un recipiente estanco a la luz donde se realizará todo el proceso. Aunque existen varios métodos de revelado y cada formato de negativo tiene un sistema de carga, sólo vamos a explicar el proceso con negativos de paso universal revelados en tanques pequeños de un par de espirales, por ser estos los más sencillos y accesibles.

Un tanque consiste en un recipiente cilíndrico en el que se pueden introducir líquidos sin que penetre la luz. Suelen ser de plástico negro con una tapa a rosca provista de una entrada para líquidos en forma de embudo. Dentro se encuentran una o varias espirales desmontables por la mitad, que permiten conservar la película enrollada sin que entren en contacto sus vueltas al tiempo que facilitan el acceso del revelador a toda su superficie. Las espirales se insertan en un eje que puede accionarse desde fuera para agitar las espirales. Con este tipo de tanque sólo es necesario apagar la luz durante la carga de las espirales y, una vez cerrado el tanque, el resto del proceso puede hacerse con luz normal. La oscuridad que se precisa en la habitación tiene que ser total, y debemos ser tanto más cuidadosos cuanto más rápida sea la película.

Antes de apagar la luz, conviene recordar bien donde dejamos los objetos necesario para la carga del tanque, porque una vez abierto el chasis ya no podremos encender la luz hasta que está a salvo dentro del tanque. Los fotógrafos que revelan sus propios negativos, suelen dejar al rebobinar la lengüeta de la película fuera del chasis para poder cortarla antes de apagar la luz. Cuando se corta la lengüeta conviene hacerlo entre dos perforaciones porque así entra mejor en la espiral. Si se nos ha metido al rebobinar, habrá que hacer esto a oscuras.

Una vez apagada la luz y en total oscuridad, se abre el chasis y se corta la lengüeta según hemos dicho. La película se introduce un par de centímetros en la espiral por el extremo cortado y se hacen girar sus dos mitades; de esta forma la película penetra sola hasta el final. Este paso es el más complicado. Cuando notemos que va a penetrar el extremo final unido al eje del chasis, cortamos la película lo más cerca posible del mismo y seguimos accionando las espirales hasta que

penetre por completo. Si durante la carga notamos cualquier resistencia en las espirales, conviene sacar la película, separando las dos mitades, y volver a empezar.

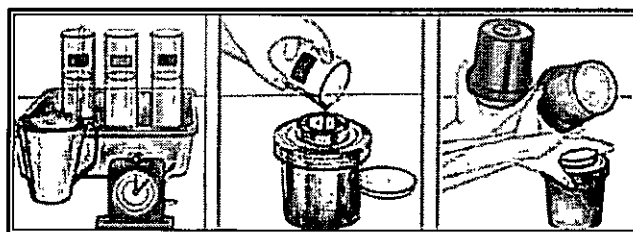
Durante todo el proceso hay que evitar tocar el negativo. Si las espirales no están totalmente secas, resulta casi imposible introducir la película. Una vez introducidas las espirales y cerrada la tapa puede encenderse la luz.

Aunque no resulta imprescindible, antes del revelado se suele realizar una fase de REMOJO INICIAL que consiste en llenar un par de minutos el tanque con agua a la misma temperatura a que se utilizará el revelador. La etapa de remojo inicial aporta las siguientes ventajas:

1. Evita o atenúa la formación de burbujas al introducir el revelador, con lo que se evitan los lunares que producen estas en el negativo.
2. Empapa e hincha la gelatina, lo que favorece la absorción del revelador y consigue que el revelado sea más uniforme.
3. Elimina la capa antihaló. Con ello evitamos que sus colorantes pasen al revelador y así alargamos su vida útil.
4. Acomoda el tanque y la película a la temperatura de revelado y evita que éstos modifiquen la temperatura del revelador.

El remojo resulta muy aconsejable especialmente cuando la temperatura de ambiente está por encima de los 25°C o por debajo de los 19°C, o cuando el tiempo de revelado es inferior a 5 minutos. El tiempo de revelado varía con el tipo de película, la marca y dilución del revelador y la temperatura a que se efectúe el proceso.

Por lo general en todos los envases de revelador figuran los tiempos y temperaturas de revelado de las principales películas.



Una vez remojado el film, se tira el agua y se introduce el revelador a la temperatura recomendada por el fabricante (por lo general 20° o 24°) y se acciona el cronómetro. Nada más llenar el tanque, damos un par de golpes contra la superficie de trabajo para eliminar las burbujas de aire que hayan podido adherirse a la película y comenzamos la agitación que ha de ser homogénea y suave.

El tanque, durante todas las etapas del revelado, debe agitarse para renovar la capa de reactivos en contacto con la superficie de la película, esta agitación puede realizarse de dos formas en función del diseño y modelo de tanque:

- En la agitación por inversión: se cierra el tanque con una tapa hermética y se invierte cada cierto tiempo.
- En la agitación por rotación: se hacen girar las espirales por medio de un eje.

En ambos casos se realiza una agitación inicial constante durante los 30 primeros segundos de revelado y luego se agita cinco segundos cada 30 segundos, hasta finalizar el proceso.

Los factores que intensifican el revelado son: temperaturas altas, revelador concentrado y agitación intensa. La intensidad del revelado aumenta el contraste de la imagen y el efecto de grano.

5.- EL BAÑO DE PARO. Cuando faltan unos 5 segundos para terminar el revelado vaciamos rápidamente el tanque e introducimos el baño de paro golpeando y agitando el tanque al igual que hicimos con el revelador. El baño de paro realiza su función en 5 ó 10 segundos, por lo que este paso resulta el más corto (15 ó 30 segundos). El baño de paro más utilizado es un dilución de un ácido débil en agua (por lo general acético al 3%).

Resulta conveniente que todos los líquidos del proceso se encuentren a la misma temperatura. La acción del baño de paro es doble: por un lado detiene automáticamente el revelado debido al cambio brusco de pH que se produce al pasar de un medio básico (revelador) a uno ácido (baño de paro), y por otro, evita la contaminación y el agotamiento prematuro del fijador (también ácido).

Cuando el revelado es superior a los 10 minutos y por tanto ya no es tan importante una detención brusca del proceso, puede sustituirse el baño de paro por un simple lavado con agua.

6.- EL FIJADO. Al llegar a esta etapa la película tiene una imagen negativa de plata metálica negra, junto a sales de plata blancas que ocupan las zonas complementarias. Si no realizásemos el fijado, las zonas blancas opacas impedirían el positivado y además estas zonas acabarían por ennegrecerse estropeando el negativo. Se conocen muchas sustancias con propiedades fijadoras, pero la mejor de todas en cuanto a estabilidad, rendimiento y precio, es el tiosulfato sódico, conocido también como hiposulfito o simplemente "hipo".

El tiempo de fijado varía con el tipo de emulsión, la temperatura, la composición química del fijador, etc. Aunque por lo general el fabricante lo indica en el envase, y oscila entre los 3 y los 5 minutos, una regla muy antigua para calcularlo es fijar el doble del tiempo que tarda la película en perder su tono lechoso. A los 15 ó 30 segundos de comenzar el fijado la película puede observarse ya con luz blanca. Aunque el tiempo de fijado no es tan crítico como el de revelado, no conviene superar los 20 minutos por que comenzarían a debilitarse las imágenes.

7.- EL LAVADO. Este paso resulta fundamental para asegurar la conservación de la película con el tiempo. En él se eliminan todos los compuestos solubles originados durante el revelado, así como los restos de hiposulfito del fijador, que a la larga oscurecerían la película. El lavado se realiza haciendo discurrir agua corriente por el interior del tanque durante un periodo que oscila entre los 15 y los 60 minutos. Las temperaturas inferiores a 15º disminuyen considerablemente la eficacia del lavado, por lo que en invierno se aconseja prolongar el tiempo.

El lavado ideal dura a 20º al menos 30 minutos y puede completarse con un aclarado final en agua destilada si el agua es muy calcárea, y finalmente con un HUMECTADO. Este paso consiste en llenar el tanque con un líquido humectante para disminuir la tensión superficial de la película. Con ello se consigue que el agua del lavado escurra más fácilmente y las gotas no formen manchas al secarse.

Un humectador es simplemente un detergente con algún aditivo endurecedor de la película. Hay que gente que echa un par de gotas de lavavajillas en un litro de agua y lo utiliza como humectador.

8.- EL SECADO. Una vez lavada la película se abre el tanque y se extraen con cuidado las espirales abriéndolas por la mitad para poder sacar fácilmente el film asíéndolo por su extremo velado.

Cuando la película está mojada y la gelatina hinchada, se vuelve extremadamente blanda, por lo que cualquier roce o huella dactilar producirá en el film un daño irreparable. El negativo, cogido por el extremo, se sujeta con dos pinzas (la de abajo más pesada para evitar que se enrolle el film) y se pone a secar en un lugar libre de polvo a una temperatura no superior a los 50º (lo mejor, si no se tiene prisa, es hacerlo a temperatura de ambiente). Algunas personas escurren la película para acelerar el secado pasándola entre los dedos o entre unas pinzas de goma, pero con este sistema se aumenta la probabilidad de arañarla. A temperatura de ambiente, un negativo de celuloide tarda en secarse unos 20 o 30 minutos, este tiempo se puede acortar introduciendo la película, después del lavado, en una solución de alcohol metílico o isopropílico en agua, pero no suele realizarse más que en casos de extrema urgencia (reporteros, etc.). Una vez seco hay que cortar el negativo cuanto antes e introducirlo en fundas protectoras a salvo del polvo.

Cuando la película está completamente seca, es el momento para evaluar los negativos y descubrir los defectos de la toma o del revelado.

9.- DEFECTOS DEL NEGATIVO. Para examinar un negativo lo ideal es hacerlo con una lupa sobre un fondo blanco iluminado. Son muchos los aspectos bajo los que se puede juzgar un negativo, así que, aunque pueden darse varios simultáneamente, vamos a verlos cada uno según el momento en que se producen y las posibilidades, si las hay, de ser corregidos. Conviene aclarar de antemano que cuando nos referimos a luces o a sombras lo hacemos con respecto a las existentes en la escena o en la copia y no en el negativo.

CARACTERÍSTICAS DE UN BUEN NEGATIVO: La calidad de un negativo se evalúa en términos de densidad (transparencia y contraste) y éstos dependen del nivel de exposición y de la intensidad del revelado.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL I

CI 10

TEMA:
PARTE III

**EXPOSITOR: ING. JUAN MIGUEL LUNA FUENTES
DEL 9 AL 13 DE MARZO DE 2009
INGENIERÍA CIVIL**

2.3 Definición de fotografías digitales

En las imágenes digitales las diferencias en luminancia del objeto captado se registran por medios físicos, mediante voltajes convertidos en valores digitales, y almacenados en discos magnéticos o en chips de memoria que permiten la recuperación inmediata de la información (la imagen), a diferencia de las imágenes fotográficas, donde las diferentes luminancias provenientes del objeto se registran a través de cambios químicos en una película fotográfica.

Estas diferentes formas de registro pictórico hacen necesaria la diferenciación entre imagen y fotografía. Puesto que el término imagen se refiere a un producto de carácter pictórico, todas las fotografías son imágenes. Sin embargo, no todas las imágenes son fotografías, ya que éstas son producidas mediante un procedimiento específico, inherente a su naturaleza.

La imagen digital es un arreglo de números enteros (denominados comúnmente como píxeles) cuya posición dentro del arreglo está asociada a una posición geométrica del escenario representado, ordenados en forma matricial. El origen de coordenadas (filas y columnas) se encuentra en la parte superior izquierda.

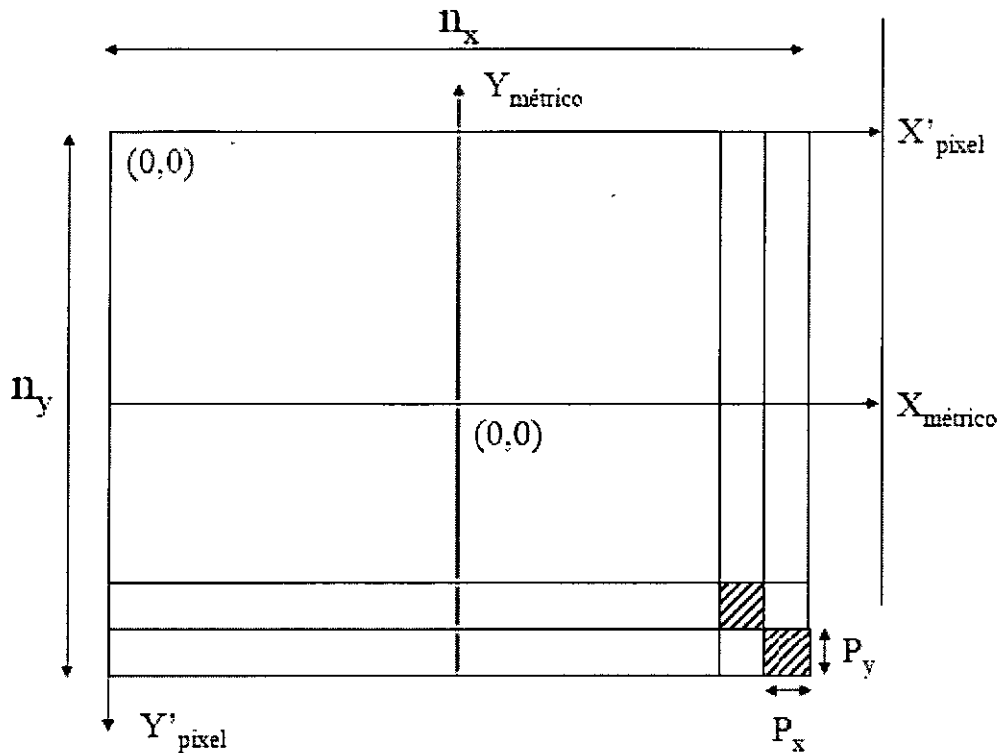
A cada valor del arreglo, es decir, a cada píxel, se le asocia un tono de gris correspondiente al nivel de intensidad promedio reflejada por el escenario original.

$$\begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & p(1,3) & p(1,n) \\ p(2,1) & p(2,2) & p(2,3) & p(2,n) \\ p(3,1) & p(3,2) & p(3,3) & p(3,n) \\ p(m,1) & p(m,2) & p(m,3) & p(m,n) \end{bmatrix}$$

Por ser una imagen numérica, su análisis puede hacerse en forma rigurosa por tratamientos matemáticos mediante el uso de computadoras. (Wolf, 2000). Esta característica le otorga una gran ventaja respecto a la imagen fotográfica, ya que puede ser manipulada radiométricamente y geométricamente mediante programas, los cuales son mucho más económicos que los dispositivos ópticos y químicos usados en la fotografía.

Como ventajas de la fotografía digital con respecto a la analógica, se puede mencionar su capacidad de ser visualizadas inmediatamente, así como su capacidad de ser editada por programas adecuados. Como desventajas, se tiene su baja resolución geométrica respecto a la fotografía analógica y su exigencia de gran cantidad de memoria para ser almacenadas.

Sin embargo, estas desventajas se reducen cada día más, a medida que la tecnología mejora sus capacidades.



Coordenadas de la Imagen Digital.

El sistema de coordenadas de la imagen digital difiere del sistema cartesiano en que su origen se ubica en el primer píxel del sensor, por lo que se encuentra a la izquierda y en la parte superior. Esta diferencia entre ambos sistemas se debe al propio carácter numérico de la imagen, lo que hace que el primer píxel sea el primer elemento $(p(1, 1))$ de la matriz p .

Las imágenes digitales son producidas mediante muestreo discreto. En este proceso, una pequeña área en el plano focal es tomada para determinar la cantidad de energía electromagnética que es recibida por la correspondiente superficie del objeto. El muestreo discreto posee dos características fundamentales: la resolución espacial y la resolución radiométrica. La resolución espacial se refiere al tamaño físico que un píxel de la imagen representa en el terreno; cuanto mayor sea la cantidad de píxeles que cubren un área determinada, mayor resolución geométrica de la imagen, ya que el píxel representará una menor superficie del objeto.

La resolución radiométrica implica la conversión de la amplitud de la energía electromagnética original en un número de niveles discretos. Mayores niveles de cuantización resultan en mejores representaciones de la señal analógica, y por lo tanto mayor resolución radiométrica, por cuanto se discriminan diferencias más pequeñas de la energía que llega al sensor.

La imagen digital es de carácter binario, es decir, está constituida por bits, los cuales sólo pueden tener dos estados: alto o bajo, representados respectivamente como 1 ó 0. El número de bits disponibles para registrar la imagen determina su resolución radiométrica.

2.4 Procesamiento digital de la imagen

La característica fundamental de la fotogrametría digital es la utilización de imágenes en formato digital. Para realizar la adquisición de imágenes digitales fotogramétricas son empleados dos procedimientos básicos:

- Utilización de sensores digitales, o bien sensores analógicos dotados de un conversor analógico-digital.
- Digitalización de imágenes analógicas adquiridas con cámaras fotográficas convencionales.
- La captura de imágenes mediante técnicas fotográficas es un proceso que ha alcanzado en los últimos años unos niveles de calidad muy elevados, tanto en rendimiento como en producción. Así, en el período de 1960 a 1994 se ha reducido la distorsión radial de las cámaras en más de 3 veces, pasando de valores en torno a 10 micras a cifras inferiores a 3 micras, mientras que la resolución espacial ponderada en función del área (AWAR) casi se ha duplicado, pasando de 63 a valores superiores a 94 lp/mm.
- En la actualidad, las cámaras métricas analógicas utilizadas suelen tener una distancia local de 152 mm y un formato de 230 x 230 mm, registrándose la imagen de forma instantánea en la película.
- fotográfica. La película fotográfica puede ser considerada como una matriz prácticamente infinita de elementos sensibles a la luz, motivo por el cual se puede considerar que son los elementos de captación de imágenes remotas con mayor resolución. Sin embargo, la resolución efectiva de una cámara es función de la calidad de la lente, la definición de la película, los desplazamientos en la imagen debido al desplazamiento del avión, el desplazamiento angular y la calidad de la película empleada para la copia, junto con otros factores independientes del diseño de la cámara como, por ejemplo, el estado de la atmósfera en el momento de la toma y el nivel de contraste del terreno a fotografiar, que reducen la
- calidad del fotograma real a una cifra en torno a 40 lp/mm.

Escáner

El sistema más empleado para la captación de imágenes digitales en fotogrametría digital es la digitalización de las imágenes obtenidas mediante una cámara analógica convencional ya que se requiere que el intervalo de digitalización (tamaño del pixel) sea igual a la resolución de la fotografía, con objeto de evitar pérdidas de información y que además se conserve la precisión.

La configuración de un escáner depende del tipo de fotodetector utilizado. Los tipos de fotodetectores empleados son fotomultiplicador y CCD (Charge Couple Devices). Los primeros solo pueden utilizarse como elemento simple (lineal) mientras que los CCD se agrupan formando matrices lineales o rectangulares.

3. Cámara fotográfica

3.1 Cámara fotográfica aérea. Tipos y características

Cuando los rayos luminosos que parten de un objeto P, penetran a través de un pequeño orificio en una caja cerrada (cámara oscura) forman una imagen real e invertida del objeto P, conservando las proporciones del mismo. La cámara oscura puede considerarse como un antecedente de la cámara fotográfica, en la que el orificio es sustituido por un objetivo, que es una lente o un conjunto de lentes, y la imagen se forma sobre un plano A' B', en el que hay una emulación sensible a la luz, sobre la que impresiona la imagen formada.

En fotogrametría terrestre se opera con cámaras fotográficas montadas sobre un teodolito o taquímetro, con lo que obtiene el fototeodolito, fototaquímetro o el fotogrametro, puede tener también anteojo estadimétrico. Al igual que los teodolitos, estos aparatos van provistos de los correspondientes tornillos de presión y de coincidencia, para lograr una perfecta puntería al punto visado, y como el anteojo es solidario a la cámara fotográfica con ambos se visa el mismo punto. El anteojo del teodolito tiene un aumento de 28 veces y un objetivo de gran abertura y enfoque interno, que se realiza haciendo girar el manguito de enfoque situado alrededor del tubo del anteojo.

La cámara fotográfica tiene una distancia focal de 165 mm; el tamaño de las placas de cristal que utiliza es de 100 x 150 mm.

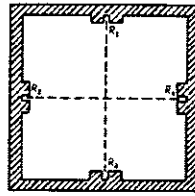
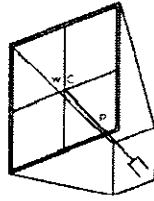
Las cámaras fotogramétricas que se emplean para tomar fotografías desde los aviones son pocas parecidas a las ordinarias, estando todos sus elementos adaptados al trabajo especial que realizan.

Se dividen en dos grandes grupos: cámaras de mano y cámaras automáticas; las primeras se emplean cuando solo se necesitan vistas aisladas o muy poco seguidas y las segundas cuando hay que hacer un gran número de fotografías seguidas. Las cámaras automáticas, llamadas cinematográficas o toposeriografos, son las verdaderas cámaras fotogramétricas aéreas, van situada sobre el piso del avión por intermedio de una suspensión antivibrante y llevan una serie de dispositivos para que las operaciones propias de obtención de fotografía se realicen de un modo automático. Las cámaras fotogramétricas aéreas están constituidas por las cámaras propiamente dichas, un almacén de negativos y un dispositivo de mando.

Las fotografías que se utilizan en Fotogrametría, son tomadas con una cámara métrica; es una condición esencial el conocer la posición exacta del centro de proyección. Una fotografía para la cual se conoce la posición exacta del centro de proyección O se llama fotograma.

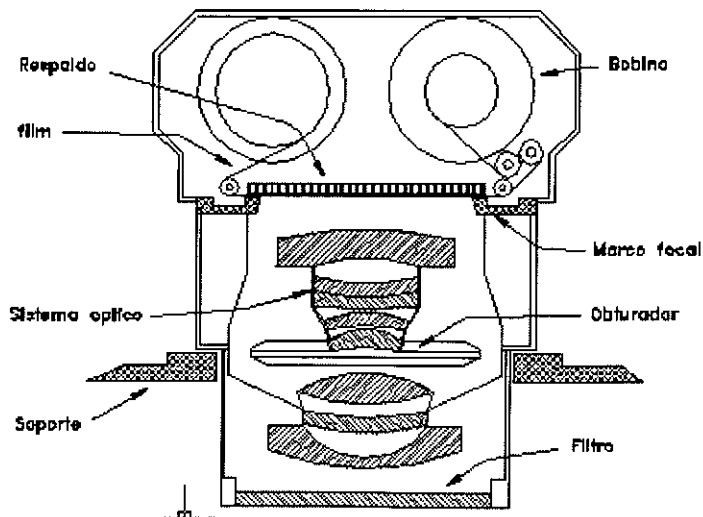
A la proyección del centro perspectiva sobre la imagen se le llama punto principal (W de la imagen).

La distancia entre el punto principal y el centro de proyección se llama constante de la cámara (C distancia principal o distancia focal).



A fin que la constante de la cámara sea verdaderamente una constante, esta tiene que presentar un dispositivo que mantenga la película siempre en el mismo lugar en el momento de la toma, la cámara métrica dispone de un marco-soporte extremadamente estable sobre el cual se pone la película. en este marco están contenidas las marcas fiduciales, estas se encuentran en los lados y esquinas de dichos marcos. El cruce de las marcas fiduciales nos define el centro de la imagen.

ESQUEMA DE UNA CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA



Sistema de lentes: Formado por dos o más elementos acoplados de tal forma que permiten el paso de los rayos de luz que llegan a la película para formar las imágenes de los objetos fotografiados.

Diafragma: Este elemento regula el paso de los rayos de luz y esta formado por hojillas metálicas superpuestas y con movimiento giratorio.

Obturador: Este elemento es el que controla el intervalo de tiempo en que los rayos de la luz penetran al plano focal o a través del diafragma y debido a la velocidad que el avión lleva, el obturador está construido de tal forma que sus movimientos son de fracción de segundos hasta de un milésimo.

Filtro: este elemento selecciona el tipo de luz que penetra en la cámara, eliminando particularmente la luz azul y violeta para película blanco y negro, estableciéndose entonces que el color del filtro puede variar de acuerdo a la película usada desde el amarillo hasta el rojo oscuro.

Los filtros de uso más común en la obtención de fotografías aéreas son los siguientes:

Neutros: para compensar el espesor de otros filtros y el efecto que produce el azul del cielo.

Amarillo: limita la influencia de la niebla atmosférica y absorbe las radiaciones ultravioletas y azules.

Rojo-Naranja: absorbe la radiación azul-verde y limita el efecto de la niebla atmosférica en fotos aéreas infrarrojas.

Monocromática: son filtros especiales que cortan o transmiten únicamente las radiaciones correspondientes a una sola banda (Color) del espectro electromagnético, si se utiliza en combinación con emulsiones infrarrojas o pancromáticas, producen imágenes multispectrales.

Cuerpo de la cámara

Se llama así a la parte física de la cámara que de acuerdo con el diseño en particular de cada modelo, incluye al cono de la misma y al plano focal. Dentro del cuerpo de la cámara se presenta un elemento básico de la misma que define la geometría de las fotografías llamándosele distancia focal. Otro elemento importante en el cuerpo de la cámara es el referente al formato de la cámara el cual depende de las marcas fiduciales (están en el marco que define al formato, y son señales indicativas opuestas que definen los ejes x, y de la fotografía y cuya intersección define el punto principal).

Cono

La finalidad del cono de la lente, llamado también cono de la cámara, es de servir de soporte al objetivo y permitir que solo la luz que pase a través del objetivo llegue a la película. El cono y el cuerpo de la cámara se emplea también para mantener el objetivo a una distancia fija (distancia principal f) del plano focal definido por el marco superior del cuerpo de la cámara.

Cono interno

En realidad, en las cámaras métricas el cono interno es el que contiene el objetivo y las marcas fiduciales, y está construido de un material con un coeficiente de dilatación térmica muy baja, para mantener el objetivo, el eje óptico y el marco con las marcas fiduciales en posición rígida en las condiciones normales de funcionamiento de la cámara.

Magacín

Este elemento es que guarda la película virgen y sensibilizada utilizada para la toma de fotografías y esta diseñada de tal manera que permita la carga y descarga de la película de una forma sencilla y tiene una capacidad para llevar desde 50 hasta 120m de película.

Mecanismo de avance y vacío.

Este mecanismo que se incluye en los componentes de la cámara, tiene dos finalidades:

- Avanzar la película entre exposición y exposición.
- Mantener completamente plana la película en el momento de la exposición, creando para ello un vacío mediante una succión de aire contenido en la cámara.

Ambas operaciones están perfectamente sincronizadas.

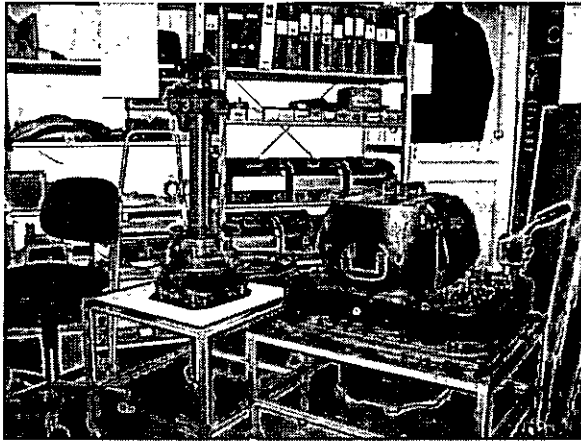
LAS CAMARAS AÉREAS SE COMPONEN DE 3 TIPOS

Cámara con objetivo	Ángulo	Constante de la cámara "f" en mm	Formato en mm
Ángulo normal	60°	300	230 x 230
Gran angular	90°	150	230 x 230
Súper gran angular	120°	88	230 x 230

Tipo normal. Trabajos donde la planimetría requiere de gran precisión, por ejemplo en proyecto de catastro, sin embargo, en los proyectos fotogramétricos realizados con esta cámara, los costos son mayores debido al área poco cubierta de terreno por cada fotografía.

Tipo gran angular. La cámara gran angular ha desplazado a la de ángulo normal por su mayor rendimiento económico, y representa una situación intermedia entre la cámara normal y súper gran angular.

Tipo súper gran angular. Cubre casi el doble del área que cubre la cámara gran angular se usa en trabajos altimétricos en regiones de topografía relativamente plana o no muy accidentada. Esto es así porque las distorsiones provocadas en la imagen son mayores y para dar la posibilidad de observar estereoscópicamente los desniveles del terreno más leves, su uso principal es para la fotointerpretación.



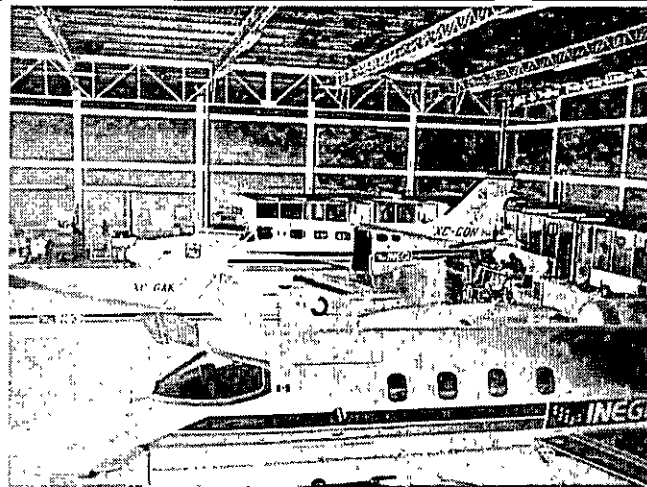
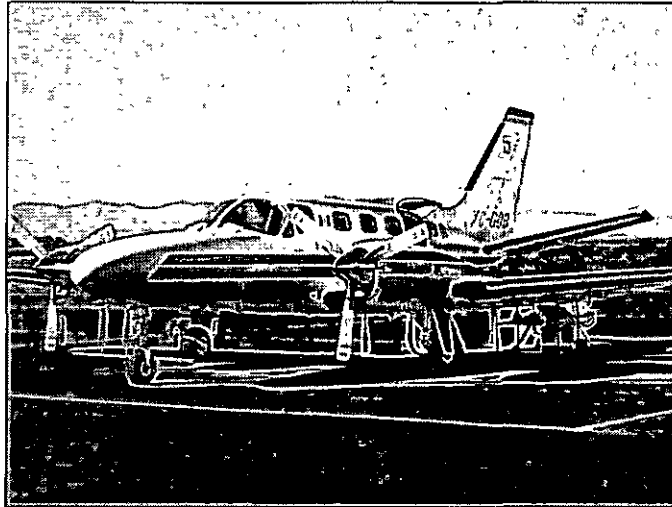
3.2 Aviones para fotografías aéreas

Al utilizar un avión para levantamientos aerofotogrametricos se deben de considerar ciertas características para que su empleo sea de lo más óptimo. Los requerimientos indispensables que deben de tomarse en cuenta son:

- Potencia suficiente en sus motores para el recorrido del levantamiento aerofotogrametrico y sobre todo para alcanzar la altura de vuelo de proyecto y mantener la velocidad de crucero de aprox. 161 km/hr.
- Autonomía del avión, es decir lo relativo a la capacidad de carga en sus tanques de combustible.
- Espacio suficiente para el equipo y que la tripulación a bordo pueda maniobrar bien.
- La posición del motor deberá ser tal que los humos contaminantes que arroja por el escape no pasen por el lente de la cámara.
- Buena visibilidad en todas las direcciones para la navegación.

Ejemplos

- Cessna 310Q
Motor de pistón, velocidad de crucero 160 knts., techo de vuelo 15,000 ft sin oxígeno y hasta 30,000 ft con oxígeno, autonomía 6.0 hrs. Utilizado para vuelos bajos, escalas 1:4,000 a escala 1: 20,000 en algunas zonas cercanas al nivel medio del mar.
- Cessna 441, Conquest I
Turbohélice, velocidad de crucero 250 knts., techo de vuelo 35,000 ft presurizado, autonomía 6.0 hrs. Este tipo de aeronaves se utiliza para vuelos bajos y medios, escalas 1:4,000 a escala 1:50,000
- 1 Lear Jet 25 y 1 Lear Jet 35
Motor de turbina, velocidad de crucero 450 knts, techo de vuelo 45,000 ft presurizado, autonomía 2.5 hrs., y 3.5 hrs., respectivamente. Utilizados para vuelos altos principalmente, escalas 1: 20,000 a escala 1: 80,000.



VELOCIDAD DEL VUELO Y DERIVA

La velocidad del avión deberá ser tal que, combinada con el tiempo de exposición, asegure un error de arrastre en la imagen, inferior a 0,001 milímetros.

La máxima deriva aceptable será inferior a $\pm 3^\circ$ se rechazarán las tiras de negativos en las que la deriva media exceda este valor en la fotografía.

3.3 Vuelos guiados con Sistema de Posicionamiento Global (GPS aerotransportado)

Entre las aplicaciones del *GPS* destacan las dirigidas a obtener la posición de vehículos, barcos y aviones en movimiento conocida como *Posicionamiento GPS Cinemático*. En el posicionamiento de cámaras aéreas o sensores, las condiciones de operación son muy diferentes que en tierra, ya que están condicionadas a que el vuelo fotogramétrico sea operativo. Las condiciones restrictivas se deben a que el receptor del avión está continuamente en movimiento y en tierra se debe utilizar sólo un receptor, por razones de operatividad, y éste puede estar a cientos de kilómetros, además de que la duración del vuelo se puede prolongar durante horas.

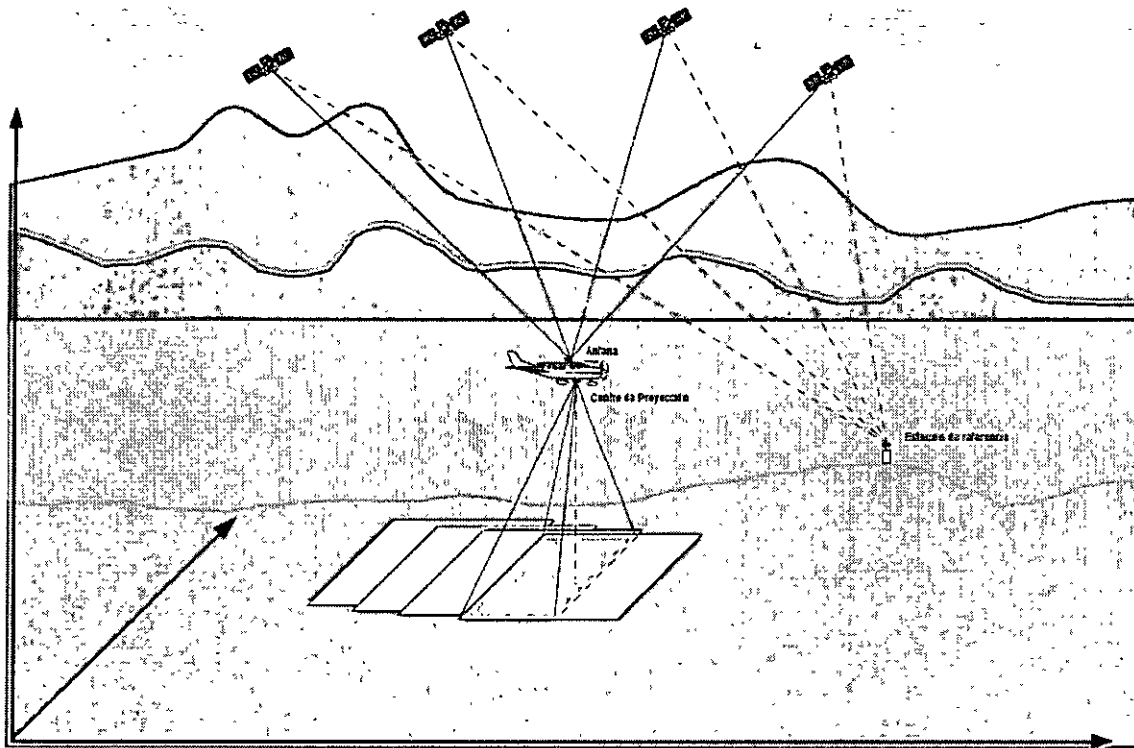
Brevemente puede decirse que en vuelos fotogramétricos se puede emplear el *GPS* en los modos siguientes:

- En navegación y tiempo real sólo necesitamos el código *C/A* y se puede realizar posicionamiento de 50 m para navegación.
- En navegación y tiempo real, si se reciben correcciones por radio mediante sistemas como el *OMNISTAR*, se pueden alcanzar precisiones menores a 2 m.
- Para la determinación de las coordenadas de la trayectoria del avión y finalmente las coordenadas de los centros de proyección, necesitamos aplicar el método relativo, con un receptor en vuelo y una estación de base, medición de fase y post-proceso, pudiéndose alcanzar en condiciones operativas precisiones de varios centímetros.

Las características que debe tener un receptor para ser utilizado a bordo de un avión, con el fin de determinar los centros de proyección en método diferencial cinemático, son:

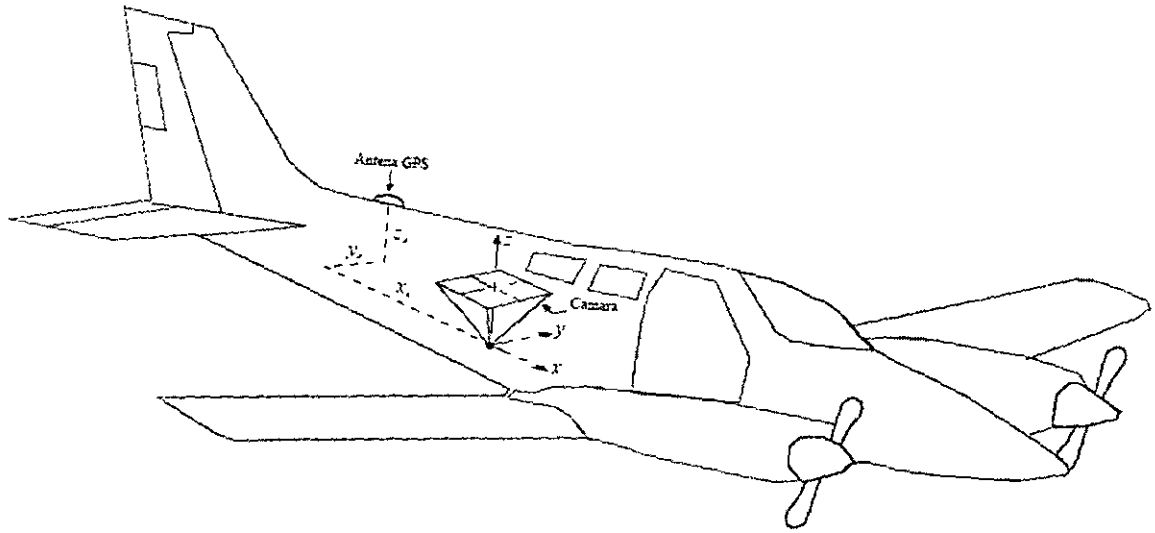
- Tener al menos un total de cinco canales, para captar de forma continua y simultánea a cinco o más satélites si están visibles.
- Poder realizar observaciones en fase y pseudodistancias.
- Es suficiente que las observaciones sean del tipo *L1* código *C/A* y fase *L1*.
- Realizar las observaciones en el momento de la toma de la fotografía o calcularse por interpolación menor de 0,2 segundos.

Para la determinación de las coordenadas de los centros de proyección, se realizará un vuelo fotogramétrico con un receptor *GPS* instalado en el avión y otro estacionado en una base de referencia en tierra, que nos permita realizar cálculo diferencial. El receptor de tierra no es necesario que esté en la zona de vuelo. Con los últimos desarrollos en el software, se establece una distancia máxima entre el receptor instalado en el avión y la base de referencia menor de aproximadamente 500 km.



GPS Aerotransportado

Los receptores GPS de diversos fabricantes (*Astech, Trimble, Sercel, etc.*) pueden procesar este impulso. Cuando llega al receptor, éste libera un registro/grabación del tiempo de recepción. De esta manera, los tiempos de exposición de la cámara y los de observación de *GPS* se producen en una misma escala de tiempo, por lo que las posiciones pueden ser interpoladas para los momentos de exposición de la cámara. El receptor *GPS* deberá tener un alto número de datos para que la posterior interpolación de los disparos se realice con precisión, de manera que registren cada época para intervalos inferiores a 1 segundo.



Configuración de la cámara con el GPS

4. Visión estereoscópica

4.1 La visión estereoscópica natural y artificial

Visión Monocular

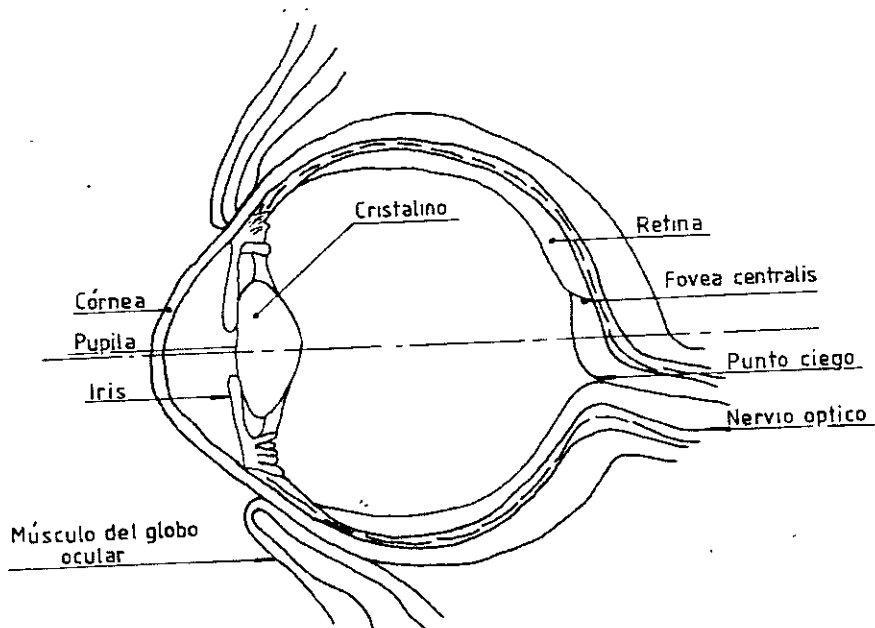
Es la visión efectuada con un solo ojo, la sensación resultante es transmitida al cerebro aunque o se aprecie el relieve de las cosas. El ojo es un globo de forma sensiblemente esférica, cuyas partes principales son:

La cornea: membrana circular perfectamente transparente, convexa y situada en la parte anterior del ojo.

El iris: pequeña membrana circular, coloreada, que lleva en el centro una abertura circular, la pupila, cuyo diámetro puede variar entre dos y nueve milímetros, y sirve para regular la intensidad de la luz que entra en el ojo.

El cristalino: situado detrás del iris, masa gelatinosa de gran transparencia, cuyo conjunto forma el sistema óptico equivalente a una lente biconvexa, el cristalino divide al ojo en dos partes, la anterior llena de humor acuoso, y la posterior de humor vítreo.

En la parte interna del ojo se encuentra la retina, cuyas células están unidas al nervio óptico que penetra en el ojo por el punto ciego, en la retina hay un punto más sensible que el resto, llamado fovea central, y que define con el centro óptico del cristalino, el eje de fijación (dirección de la visual). Los distintos elementos que componen el ojo, constituyen un sistema óptico cuyo eje es la recta determinada por los centros de curvatura de la córnea y del cristalino, y que corta la retina en un punto situado entre la fovea central y el punto ciego.



La agudeza visual tiene igual significado que el concepto de poder de resolución. Normalmente se toma como valor de la agudeza visual, o poder de separación del ojo.

Visión Binocular (Observación Tridimensional Natural)

La razón por la cual, el ser humano es capaz de percibir, a través del sentido de la vista, la sensación de relieve de los objetos, está basado en dos fenómenos. El primer fenómeno es la experiencia, mediante el cual el hombre es capaz de ordenar un paisaje, situando en distintos planos de profundidad, los elementos que integran éste. Como ser árboles que sabemos que poseen alturas similares, los ordenaremos poniendo en planos más cerca de nosotros a los que vemos más grandes, y en planos más distantes a los que veamos de menor tamaño. El segundo fenómeno es la diferencia entre las imágenes captadas por cada uno de nuestros ojos. Esta captación del relieve, es un proceso psicofisiológico en el que intervienen, tanto el ojo como el cerebro, este proceso es conocido como visión estereoscópica.

Visión Tridimensional Artificial (Visión Estereoscópica)

La visión estereoscópica se basa, en que al observar dos imágenes de la misma escena, tomadas desde dos puntos de vista diferentes, se puede obtener una impresión tridimensional del paisaje observado, formándose lo que llamamos Modelo Espacial o Modelo Estereoscópico. Para una observación estereoscópica correcta, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Cada ojo debe observar la imagen que le corresponde; o sea, el ojo izquierdo debe observar la escena de la izquierda, y lo mismo debe ocurrir con la del derecho. El resultado será la observación espacial tridimensional con efecto orteoscópico; si invertimos la situación de las imágenes, se producirá un efecto seudoscópico.
- Las imágenes se deben colocar, para una correcta observación, de manera que los puntos homólogos, estén sobre la misma recta, es decir, las imágenes de los puntos correspondientes, deben estar situadas sobre paralelas a la base estereoscópica, no debiendo existir paralaje vertical en la observación.

Elementos De La Geometría Binocular

Cuando se observa un punto M ubicado sobre el espacio (sobre el plano medio de la cabeza) los músculos hacen girar el globo ocular alrededor de su centro de rotación dirigiendo los ejes hacia el punto M. En ese momento las imágenes de dicho punto m_1 y m_2 se forman en el centro de las foveas correspondientes. Siendo O_1 y O_2 , los centros ópticos de los ojos, d la distancia interpupilar (base ocular) y D la distancia de observación del punto M el ángulo de convergencia α (ángulo paraláctico) en radianes será: $A = d / D$

A cada distancia de observación corresponde un ángulo de convergencia diferente y, por experiencia del observador, se puede tener una idea de la distancia a la que está un objeto con base en el valor del ángulo α . Al mismo tiempo que los músculos motores convergen los ejes hacia el objeto observado, las fibras musculares de la zona ciliar dan al cristalino la curvatura necesaria para acomodar la distancia D (enfoque de los objetos). Todos estos músculos trabajan simultáneamente, es decir, que la acomodación y convergencia se realiza al mismo tiempo para determinado objeto; sin embargo, estas dos funciones pueden separarse para realizarlas independientemente.

El ángulo α permite tener una idea de la distancia a la que está un objeto y, por tanto de su relieve; sin embargo, debido a las ligeras variaciones de dicho ángulo no puede apreciarse el relieve con

precisión. Se necesita un segundo elemento de apreciación perspectiva que complemente la información proporcionada por el ángulo de convergencia.

Por ejemplo, si se observa una pirámide de base cuadrada con el eje ubicado en el plano medio de la cabeza del observador, se obtendrán dos perspectivas diferentes P1 y P2., cada ojo una de estas imágenes y la dualidad de impresión constituye un nuevo elemento de apreciación del relieve. Podría surgir la pregunta de que porqué no se ven dos imágenes de un objeto si éste se observa con los dos ojos. La respuesta es sencilla, la imagen del punto P en cada retina (P1 y P2) envía al cerebro las impresiones luminosas recibidas y, la experiencia demuestra que el punto P no es doble, sino simple, porque existe una relación entre las fibras nerviosas que transmiten el flujo de energía luminosa de puntos correspondientes, es decir, puntos observados desde un mismo ángulo de convergencia desde un mismo ángulo de convergencia, lo cual hace que la imagen formada sea simple.

Requisitos para la visión estereoscópica de fotografías.

De acuerdo con lo anterior, en visión normal a través del enfoque y convergencia, cada ojo envía al cerebro una imagen diferente del mismo objeto, que por haber sido formado en puntos correspondientes de la fóvea produce la imagen de un objeto simple.

En visión binocular artificial se toman dos fotografías tomadas desde dos puntos de vista diferentes, cada una observada monocularmente (la fotografía izquierda con el ojo izquierdo y la derecha con el ojo derecho o viceversa) llegando al cerebro dos imágenes diferentes de un mismo objeto que producen una imagen tridimensional. En dichas imágenes debe ser posible la acomodación y la convergencia de modo similar a como ocurre en el caso de la visión binocular normal, por lo cual las fotografías deben satisfacer las siguientes condiciones.

La relación B/Z debe estar entre 0.02 y 2. Si ésta relación es superior a 2 las imágenes serán muy diferentes y será casi imposible formar una imagen tridimensional con ellas.

La diferencia de escalas entre las fotografías debe ser inferior a +/- 15%. Con diferencias inferiores a 10% fácilmente pueden observarse en tercera dimensión, pero para valores superiores las diferencias en tamaño de las imágenes son demasiado grandes.

Los ejes de la cámara al momento de la toma deben permanecer en un mismo plano. En fotografías inclinadas (oblicuas o convergentes) los ejes deben cortarse en el espacio, en el caso de las fotografías verticales, como los ejes son verticales, por lo tanto paralelos, siempre pertenecen a un plano.

***Métodos Para Observación Estereoscópica De Fotografías**

El modelo estereoscopio, parte común en sentido longitudinal de dos fotogramas consecutivos, se puede observar en relieve por medio de los siguientes procedimientos:

Por observación con líneas de visión convergentes: este es el procedimiento más natural y más cómodo de observación, al realizarse el mecanismo de acomodación y convergencia, a la misma

distancia. El principio en que se basa este procedimiento, consiste en la observación de cada fotograma con un solo ojo. Los métodos más desarrollados para este tipo de observación son:

Métodos de anáglifos: consiste en llevar ambas imágenes a una situación superpuesta, bien por método de impresión o por proyección.

El par de fotograma se colorea en forma individual con colores complementarios, normalmente el fotograma izquierdo en azul y el derecho en rojo, proyectándose o imprimiéndose uno encima de otro. Materializado así el modelo, la observación se realiza por medio de unas lentes de cristales coloreados, rojo y azul, colocadas de forma que correspondan los colores complementarios, es decir, el rojo a la izquierda y azul a la derecha. De esta manera se cumple el principio de que cada fotograma se vea con un solo color. Hay que resaltar que para mayor entendimiento, que una persona daltónica puede observar perfectamente el relieve, dado que éste no está fundado en la percepción de colores, sino en la eliminación de éstos.

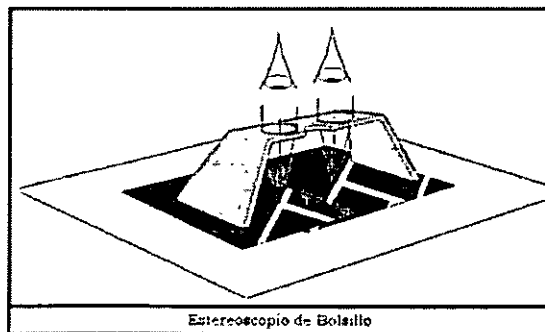
Por observación con líneas de visión paralelas:

Este procedimiento es más cansador que el anterior, puesto que mientras los ojos convergen hacia el infinito, la acomodación se realiza a unos 25 centímetros. Ahora bien, el sistema es más descansado, si intercalamos unas lentes positivas entre las fotografías y el observador, de manera que éstas queden en el plano focal de aquellas. Así la convergencia y la acomodación se realizan a igual distancia. Este es el fundamento del estereoscopio de bolsillo.

ESTEREOSCOPIOS

Los estereoscopios de bolsillo tienen dos lentes separadas entre sí, por una distancia igual a la interpupilar, montadas en un marco plástico o metálico soportado por patas, de forma tal que las fotografías son observadas a través de dichas lentes. La distancia entre las lentes y las fotografías sobre las cuales se apoya el estereoscopio, corresponde a la distancia focal, de forma tal que la observación se realiza al infinito y con ejes paralelos.

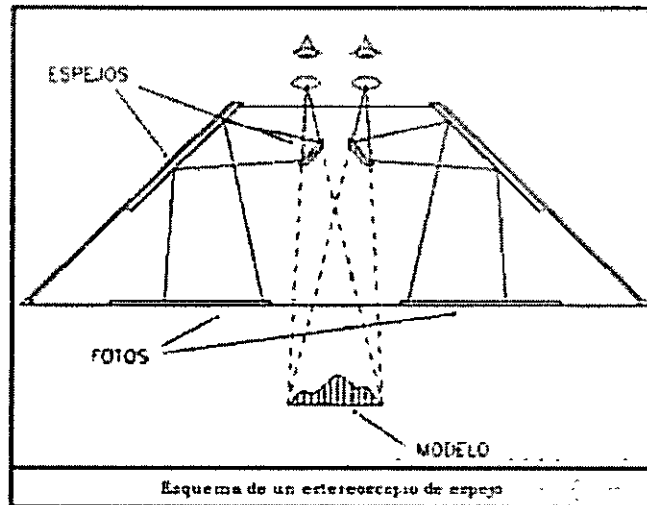
Estos instrumentos normalmente son pequeños y compactos, así como livianos; siendo en su gran mayoría diseñados para su uso en el campo, teniendo patas plegables que transforman la unidad en un paquete no mayor a un estuche de anteojos. A pesar de ello, la práctica indica que su mayor uso es en la oficina.



Para su uso, las fotografías deben colocarse alineadas siguiendo la línea de vuelo, con las imágenes homólogas separadas una distancia igual o ligeramente menor a la distancia interpupilar del

observador, debiendo realizarse la observación con el estereoscopio también alineado con la línea de vuelo, desplazándolo, en caso necesario, paralelamente a ésta.

Los estereoscopios de espejos consisten en cuatro espejos ubicados de forma tal que las imágenes se transmitan por reflexión hacia los oculares, realizándose la observación de las fotografías en forma ortogonal a éstas, ubicándose las imágenes homólogas a distancias aproximadas a los 25 cm. lo que evita la superposición o la necesidad de doblar alguna de las fotos.



4.2 Paralaje absoluto y diferencial

Principio de la marca flotante.

Si al observar un par estereoscópico de fotografías aéreas se colocan marcas idénticas o complementarias sobre puntos homólogos situados en cada una de las fotografías, las dos marcas se fusionarán y se verán como una sola "marca flotante" integrada al modelo estereoscópico, formando, aparentemente, parte de la imagen a la misma altura de la zona que lo rodea.

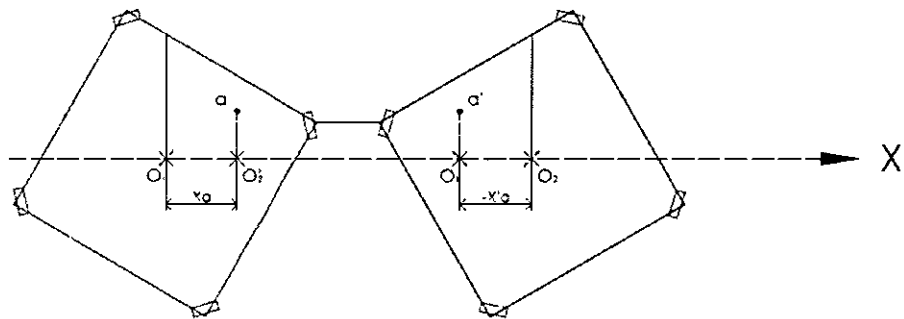
Al mover una de estas marcas con respecto a la otra en dirección paralela a la línea de vuelo (para fotografías aéreas verticales de una misma línea) se verá la marca flotante subir o bajar con respecto al terreno. Este efecto es virtual y está integrado al modelo estereoscópico.

El paralaje se define como el desplazamiento aparente de la posición de un objeto con respecto a un marco de referencia, debido a un corrimiento en el punto de observación. Por ejemplo, una persona que mira a través del visor de una cámara aérea a medida que la aeronave avanza, ve el aspecto cambiante de las imágenes de los objetos que se mueven a través de su campo visual. Este movimiento aparente (paralaje) se debe a la ubicación cambiante del observador. Utilizando el plano focal de la cámara como marco de referencia, existe paralaje para todas las imágenes que aparecen en fotografías sucesivas, debido al movimiento de avance de entre una y otra exposición. Cuanto mayor sea la elevación de un punto, es decir, cuanto más cerca esté de la

cámara, de mayor magnitud será el paralaje. En el caso de una superposición longitudinal de 60%, el paralaje de las imágenes en fotografías sucesivas debe ser, en promedio, aproximadamente de un 40% del ancho del plano focal.

4.3 Mediciones paraláticas

El paralaje de cualquier punto en un par estereoscópico se realiza con solo ubicar dos puntos homologos, es decir, dicho punto y su transferido. La distancia entre estos puntos puede obtenerse directamente en las fotografías con una simple regla, sin embargo, para mayor precisión se emplean instrumentos micrométricos como la barra de paralaje.

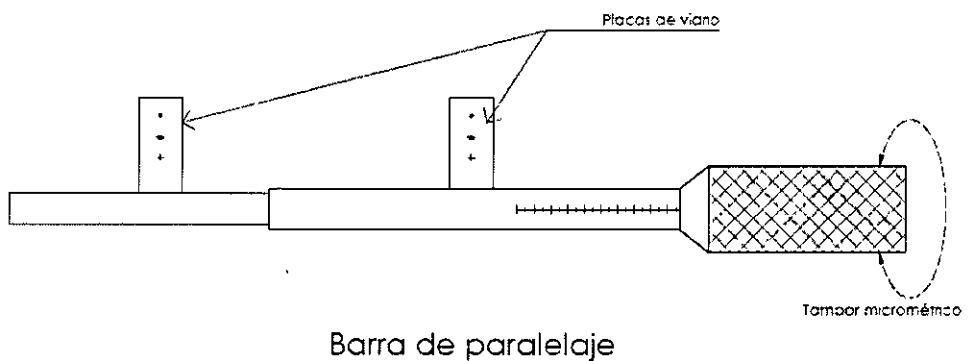


Formula general del paralelaje:

$$Pa = Xa - X'a$$

Paralelaje para el punto en el modelo

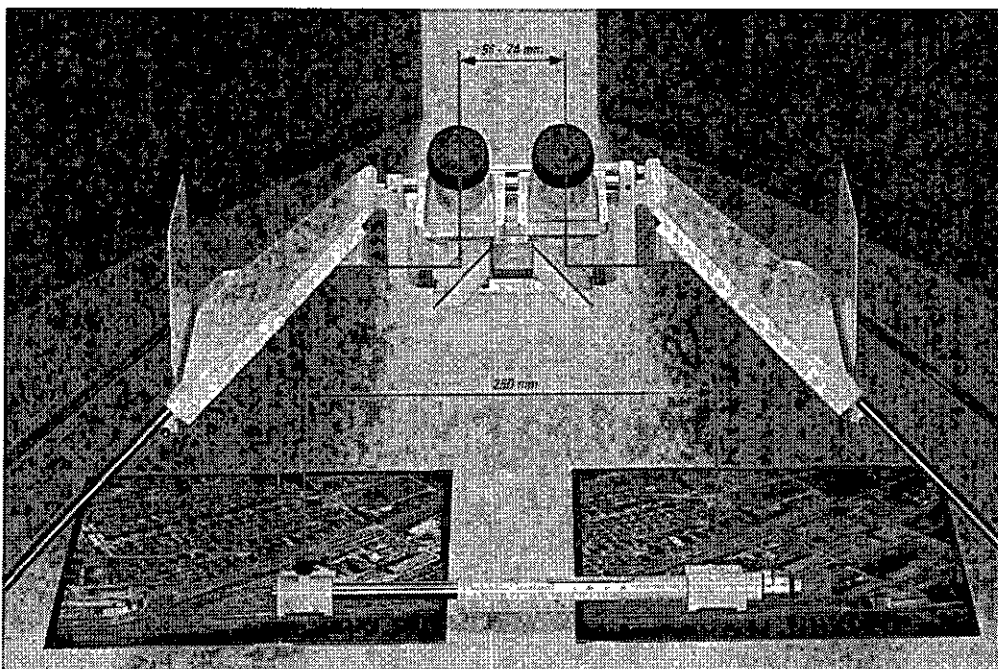
$$Pa = Xa - (-X'a) = Xa + X'a$$



4.4 Barra de paralaje

Es como un tornillo micrométrico, que puede medir distancias del orden de una millonésima de metro (micras).

Para observar el paralaje sobre un par de fotografías aéreas, mirando a través de un estereoscopio, se requiere de un instrumento conocido como barra de paralaje, que posee unas placas donde las marcas flotantes están grabadas sobre material transparente para ser colocadas sobre fotografías; o bien se encuentran proyectadas óptimamente. La forma de estas marcas varían pero normalmente son marcas idénticas, complementarias o tridimensionales. El tamaño varía en función del aumento del sistema óptico.

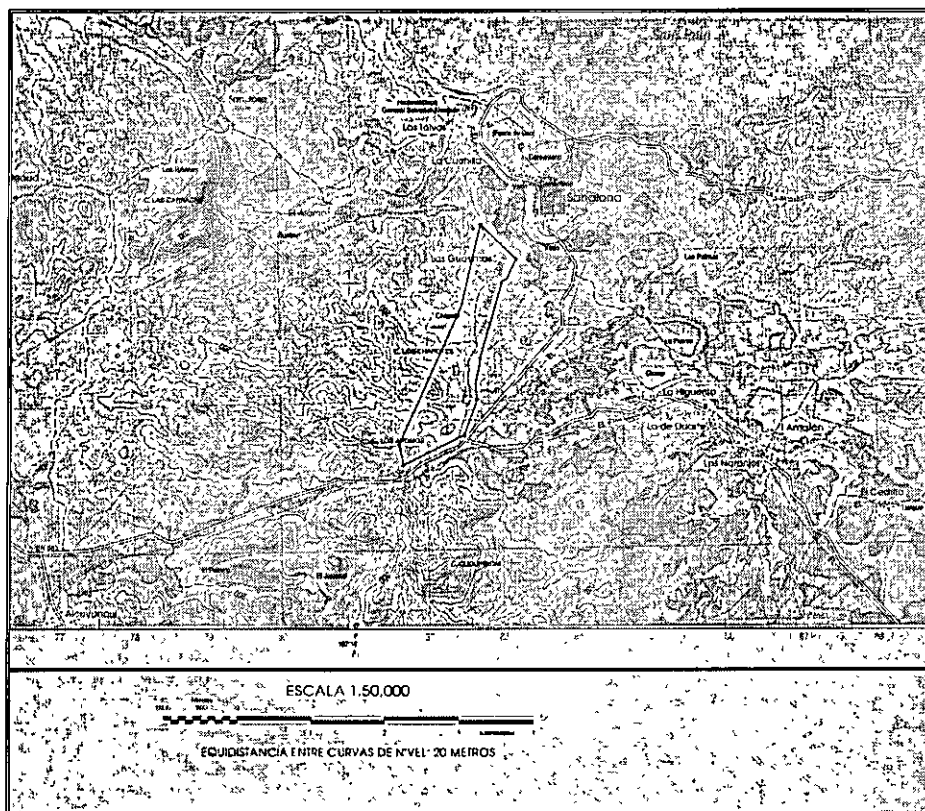


5. Proyecto aerofotogramétrico

5.1 Proyecto de vuelo fotogramétrico

La ejecución de un proyecto fotogramétrico, requiere antes de comenzar los trabajos un planeamiento cuidadoso. Este planeamiento consiste en proporcionar la cobertura fotográfica de la zona a levantar, cumpliendo con unas especificaciones suministradas por el cliente y reflejadas en el pliego de condiciones. De su buena ejecución dependerá la comodidad, rapidez y precisión del resto de los trabajos.

Para realizar el análisis de la zona por volar, es necesario determinar, en base a la carta topográfica 1:50000 del INEGI, la zona más alta y más baja del predio.



Al realizar la planificación, hay que tener en cuenta todos los factores que inciden en el vuelo para evitar atrasos, errores y cambios de planes en los momentos críticos del vuelo. Un proyecto fotogramétrico podemos dividirlo en tres fases:

1. **Planificación del vuelo** que debe seguirse para tomar todas las fotografías aéreas que se usarán en el proyecto.
2. **Planificación del control terrestre**, así como la ejecución de todos los trabajos topográficos que satisfagan la precisión requerida por el proyecto.

3. **Estimación de los costos** que conlleva el proyecto.

A partir de un proyecto fotogramétrico dado podemos obtener diversos productos, incluyendo los contactos de las fotografías aéreas, fotomapas, mosaicos, mapas topográficos (planimetría y altimetría), perfiles transversales, modelos digitales del terreno, mapas catastrales...etc.

Planificación del vuelo

Es la fase principal, ya que el éxito final de cualquier proyecto fotogramétrico depende más de las fotografías de buena calidad que de otros aspectos. Se llama **proyecto de vuelo** al conjunto de cálculos previos a la realización de un vuelo fotogramétrico, mediante los cuales se organiza las operaciones para conseguir el fin propuesto con las condiciones que se han establecido.

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto:

- Sobrevolar la zona a una altitud que debe calcularse en función de la escala deseada y de la distancia principal de la cámara.
- Cubrir con sus imágenes una determinada zona y para ello es preciso que cada fotograma tenga una zona común con las contiguas "zona de recubrimiento".

Para que puedan cumplirse estos objetivos, el avión deberá volar a una altitud constante, siguiendo una ruta predeterminada y a una velocidad constante, para poder realizar sus disparos con intervalos regulares, que se corresponden a recorridos iguales.

En la planificación de un vuelo existen una serie de decisiones previas tales como la escala del mapa, formato de los fotogramas, proyección del mapa, elipsoide de referencia.....etc., que han de tenerse en cuenta a la hora de organizar el planeamiento, ya que afectan a las condiciones del vuelo. Existen otras condiciones que se refieren a la calidad de la fotografía tanto en su aspecto geométrico, como en el fotográfico.

Aspectos geométricos de la fotografía aérea:

- Certificado de calibración de la cámara: nos dará los parámetros de orientación interna (distancia principal, punto principal, coordenadas de las marcas fiduciales, distorsiones).
- Escala de la fotografía.
- Recubrimientos longitudinales y laterales.
- Seguridad de un recubrimiento total en toda la zona.
- Arrastre de la imagen sobre la fotografía.
- Horas útiles de tomas fotográficas.

En cuanto a **las condiciones fotográficas**, podemos citar:

- Contraste fotográfico de la película.
- La calidad de la imagen.
- La homogeneidad de tonalidad.
- La ausencia de nubes.
- Longitud e intensidad de las sombras.

Propósito de la fotografía

En el planeamiento de vuelo hay que considerar cual va a ser la utilización de la fotografía. Una vez que tengamos definido esto, puede seleccionarse cual será el equipo óptimo a utilizar, así como los procedimientos.

De los diferentes usos que pueden hacerse de las fotografías aéreas, se deseará para la obtención de planos por fotogrametría aérea, unas buenas condiciones métricas de las fotografías, ya que se van a efectuar sobre ellas precisas mediciones. Estas se obtienen usando cámaras calibradas, película con granulometría fina, tiempos de exposición cortos y emulsiones de alta resolución.

Para la obtención de mapas topográficos es aconsejable tomar las fotografías con cámaras granangulares o supergranangulares, para obtener una amplia relación base altura (B/H).

En todo vuelo aéreo se deben de tener las siguientes consideraciones:

- Verificar el abastecimiento de la película.
- Mantener en buen estado el cono y la cámara.
- Identificar los parámetros de la película.
- Nivelar las cámaras del avión.
- Aprovechar las condiciones climáticas atmosféricas.
- Disponer de un mapa índice que incluya las líneas de vuelo con su respectiva numeración y puntos de control a utilizarse.

- Indicar detalles del avión.
- Número de fotografías por línea de vuelo.
- Tiempo de vuelo por línea y total.

Durante las operaciones:

- Las cámaras aéreas deben de mantener una orientación interior constante, estable y libre de vibraciones.

Al concluir la misión:

- Evaluar el cumplimiento de las especificaciones preestablecidas:
 - a) Recubrimiento longitudinal y lateral.
 - b) Altura de vuelo.
 - c) Área de recubrimiento estereoscópico.
 - d) Inclinación de la fotografía.
 - e) Desviación de las líneas de vuelo y giro de la cámara.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

FOTOGRAMETRÍA DIGITAL I

CI 10

TEMA:
PARTE IV

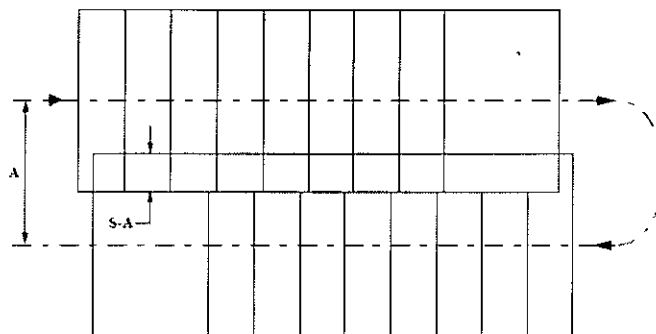
**EXPOSITOR: ING. JUAN MIGUEL LUNA FUENTES
DEL 9 AL 13 DE MARZO DE 2009
INGENIERÍA CIVIL**

5.2 Dirección de líneas de vuelo

El mapa de vuelo proporciona los límites del Proyecto, los ejes de vuelo muestran al piloto por donde debe volar para obtener el recubrimiento deseado. El mapa de vuelo se prepara sobre algún mapa ya existente de la zona, marcando sobre esta cartografía, la zona objeto del Proyecto.

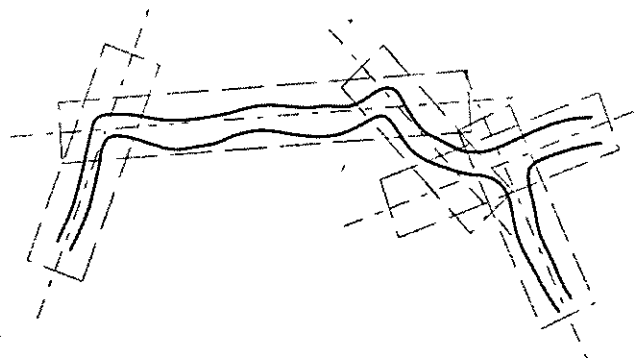
Calculada la dimensión del territorio correspondiente a cada foto a la escala del mapa, se indican sobre éste los correspondientes ejes de vuelos de cada pasada, cuidando de mantener el recubrimiento lateral previsto. Sobre los ejes de vuelo y a intervalos regulares a que correspondan el recubrimiento propuesto, se marcan los puntos sobre cuya vertical, deberá realizarse la exposición de la película. Considerando un vuelo ideal, el punto central de cada fotografía coincidirá con los puntos propuestos, estando todos éstos sobre la misma recta en cada pasada, siendo las pasadas rigurosamente paralelas.

Si la zona donde vamos a trabajar es regular, los ejes de vuelos suelen estar orientados *Norte-Sur* o *Este-Oeste*, numerando las pasadas según este criterio, así como las fotografías de cada pasada.

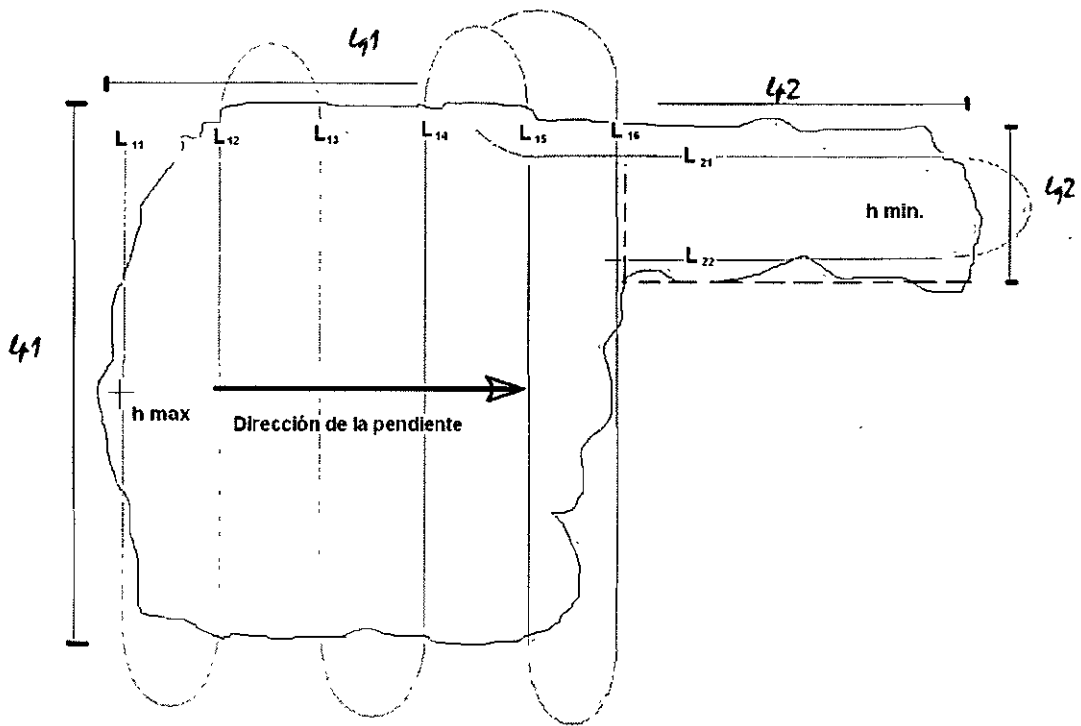


Ejes de vuelo con orientación *W-E* y *E-W*.

Si la zona del proyecto es una característica particular del terreno, es decir, tiene forma irregular, o si es larga, estrecha y girada de las direcciones cardinales (cauces de ríos, trazados de nuevas carreteras, líneas costeras,.....etc.) no resultará económico volar en las direcciones *Norte-Sur* o *Este-Oeste* (obtendríamos muchas pasadas con pocos fotogramas útiles), es evidente que habría que volar las mayores longitudes de línea (paralelamente a los límites de la zona).



Planificación de un vuelo fotogramétrico sobre una zona de terreno lineal.

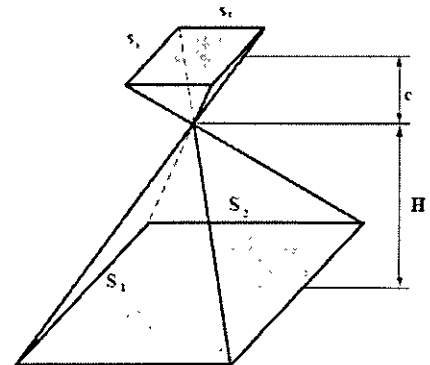
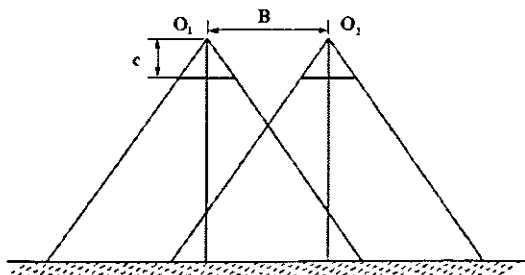


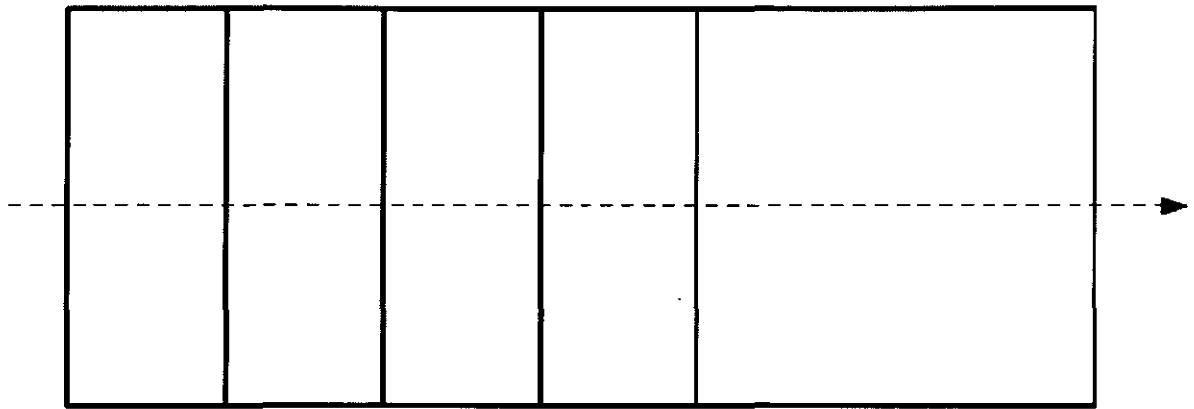
5.3 Recubrimiento longitudinal y lateral

Recubrimiento longitudinal

Supongamos la siguiente situación ideal:

Eje principal estrictamente vertical, terreno llano y horizontal. Si un avión volando en línea recta y a una altitud constante, toma una serie de fotografías a intervalos iguales, estas fotos se alinean formando una banda o pasada fotográfica.

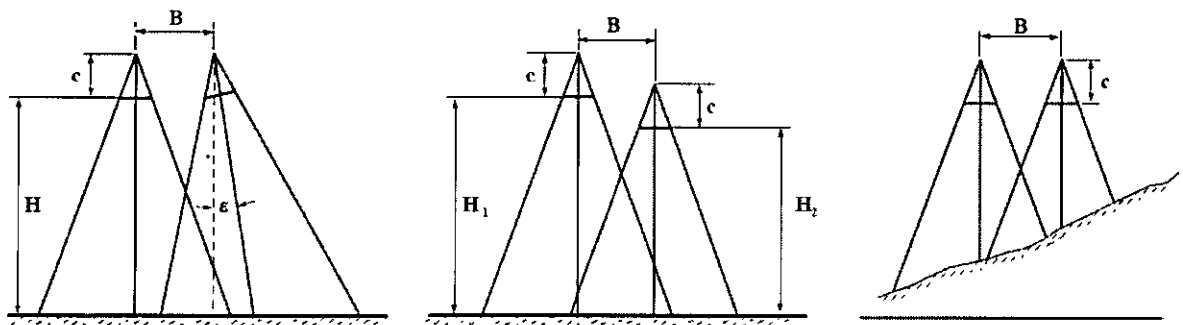




Situación real:

La forma y dimensiones de la superficie del terreno cubierta por las fotos son función de:

- La inclinación del eje vertical; si el eje de la cámara está inclinado, la superficie cubierta será trapezoidal.
- Variaciones en la altura de vuelo.
- El relieve del terreno; la superficie se deforma de modo regular.



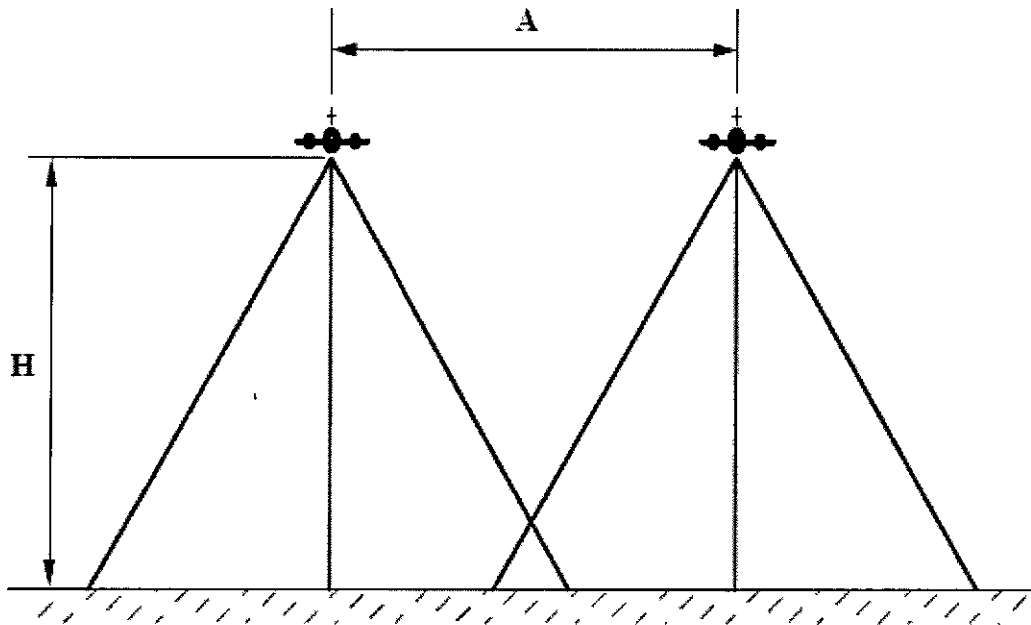
Estas variaciones de forma no deben causar defectos de recubrimiento estereoscópico, escogiéndose para B un valor menor de $S1/2$, es decir un recubrimiento superior al 50%, pero sin aumentar este margen, ya que en caso de exceso aumentaríamos el número de pares, disminuyendo el rendimiento y por tanto la relación (B/H) de la que depende la precisión.

Llamando $p\%$ al recubrimiento longitudinal expresado en tantos por ciento, se fija normalmente este en el 60%, con una tolerancia de $\pm 5\%$.

$$B = S_1 (1 - p) = s_1 mb (1 - p) = s_1 mb \left(1 - \frac{p\%}{100} \right)$$

Recubrimiento lateral (Bloques de bandas paralelas)

Para cubrir un territorio extenso es preciso hacer varias bandas dispuestas lateralmente respecto a la primera. Deben ser paralelas y recubrirse de modo que no exista ningún hueco en la cobertura. El recubrimiento lateral ($q\%$) deberá ser mínimo para disminuir en lo posible el número de clichés, siendo A la distancia entre dos ejes de vuelo adyacentes, es preciso en terreno llano que $A < S_2$.

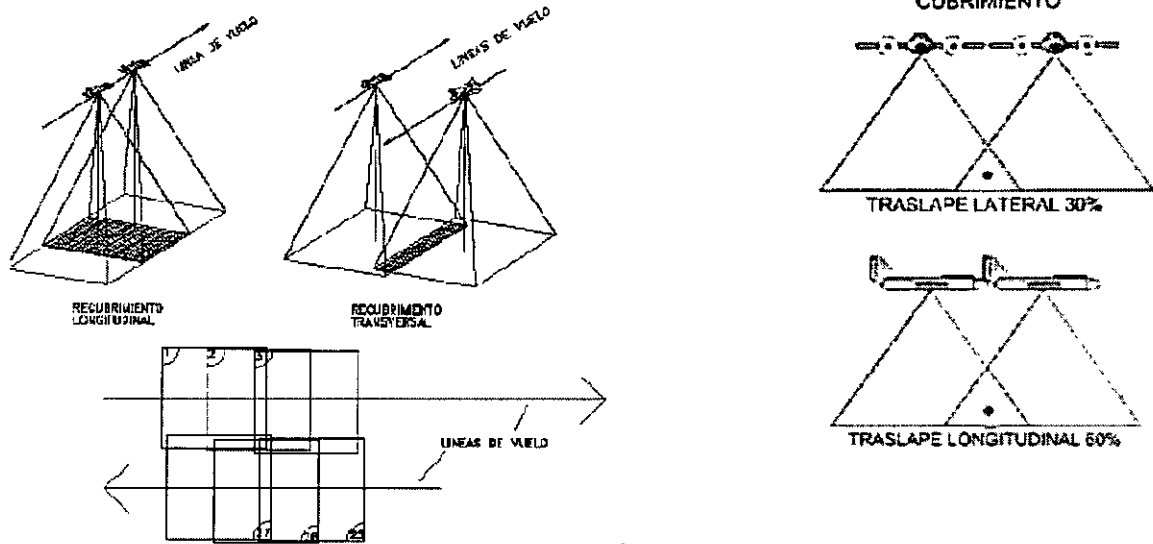


Los defectos de recubrimiento lateral pueden ser resultado de de:

- La inclinación del eje transversal.
- El relieve del terreno.
- Errores en el mantenimiento de la altitud.
- Error en la apreciación de la magnitud A .
- Error en la corrección de la deriva.
- Errores en el mantenimiento de una ruta constante.

Suele escogerse un recubrimiento transversal de valores comprendidos entre el 10% y el 20 %.

$$A = S_2 (1 - q) = s_2 \text{ mb} (1 - q) = s_2 \text{ mb} \left(1 - \frac{q\%}{100} \right)$$



5.4 Control terrestre

Definición

Para poder relacionar la información de una fotografía con el terreno, es necesario conocer algunos puntos del terreno que se puedan identificar en la fotografía. Estos puntos constituyen lo que se conoce como "apoyo terrestre" o "control terrestre".

Clasificación

El control terrestre se puede clasificar en: a) control horizontal, si se conocen sus coordenadas X e Y; b) control vertical, si se conocen su elevación Z. Si de un punto se conocen sus tres coordenadas X, Y y Z, entonces dicho punto se puede usar como control horizontal y vertical.

Control horizontal.

El control terrestre horizontal se puede planear después de efectuado el vuelo para que los puntos estén en lugares convenientes dentro de las fotografías. Dichos puntos deben estar lo más separados posible como lo muestra la figura 5.4.1

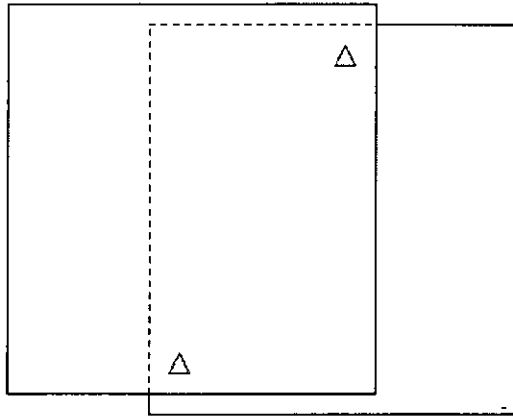


Fig. 5.4.1 Distribución de los puntos de control horizontal.

Si se cuenta con más de dos puntos el trabajo es más confiable ya que se puede hacer un ajuste.

Control Vertical

El control vertical se puede planear simultáneamente con el control horizontal. Un punto de control horizontal puede a su vez ser un punto de control vertical. Para poder nivelar un modelo se requiere un mínimo de tres puntos de control vertical. Estos puntos deben de preferencia ser los vértices de un triángulo lo más equilátero posible. Es preferible tener más de tres puntos de control vertical para poder efectuar un ajuste. Para lograr mejores resultados se busca que los puntos de control vertical estén repartidos uniformemente en todo el modelo, es decir, lo más alejados posible (Ver figura 5.4.2).

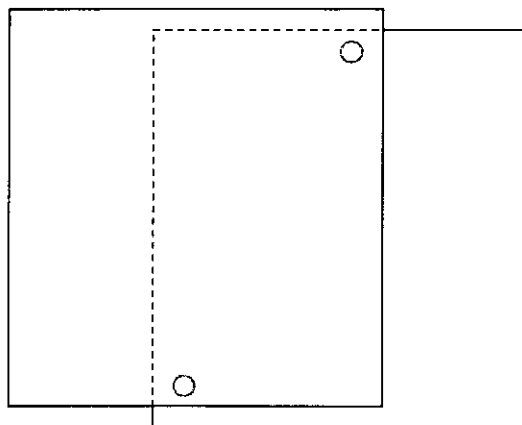


Fig. 5.4.2 Distribución de los puntos de control vertical

Distribución del control de apoyo para un proyecto

Mosaico Índice

Para la identificación y características de los puntos de control, se tiene que, una vez que se cuenta con las fotografías aéreas, se arma un mosaico índice sobre el cual se marcan las zonas en donde conviene establecer puntos de control terrestre. En esta etapa no se señala el punto exacto, únicamente se encierra en un círculo la zona deseada. Para marcar el punto exacto, una brigada de topografía debe ir al campo y buscar el punto más adecuado en el terreno que esté dentro de la zona pre marcada en la fotografía.

Selección del punto de control

El punto escogido debe verificarse observando el par de fotografías estereoscópicamente para verificar que es perfectamente visible en el modelo y que nada lo oculta, pues en ocasiones sucede que en una fotografía del par si aparece el punto pero en la otra fotografía queda oculto por una sombra o un edificio. Una vez seleccionado el punto en el terreno se pica el punto en la fotografía, auxiliándose de una lente de aumento y en la parte posterior de la foto se marca con un pequeño círculo y se le asigna un número.

Nomenclatura del punto de control

El número asignado puede acompañarse de una H, si es de control horizontal, o de una V, si es punto de control vertical, o de ambas, si es punto de control horizontal o vertical.

Además en una hoja se hace un croquis y se miden radiaciones a otros puntos de referencia, para que al llegar a la oficina no exista ninguna confusión sobre el punto marcado.

Ejemplo.

LEVANTAMIENTOS G.P.S. DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO PARA CARTOGRAFÍA ESC. 1:50 000

Datos previos y características básicas y materiales:

- Determinación de la zona de trabajo, según programa anual establecido.
- Vuelo fotográfico SINFA (Sistema Nacional de Fotografía Aérea), escala 1:75 000, en el que se haya empleado una cámara LMK y con fecha desde abril de 1993.
- Carta topográfica escala 1:250 000 de la zona de trabajo.
- Carta topográfica escala 1:50 000 de la zona de trabajo.

Las zonas de trabajo se les ha denominado BLOQUES, donde sus dimensiones quedan establecidas en grados de arco (1° de latitud por 1° de longitud), que corresponden a la mitad de una carta topográfica escala 1:250 000, (111 kms. por lado aproximadamente). Estos bloques se identifican

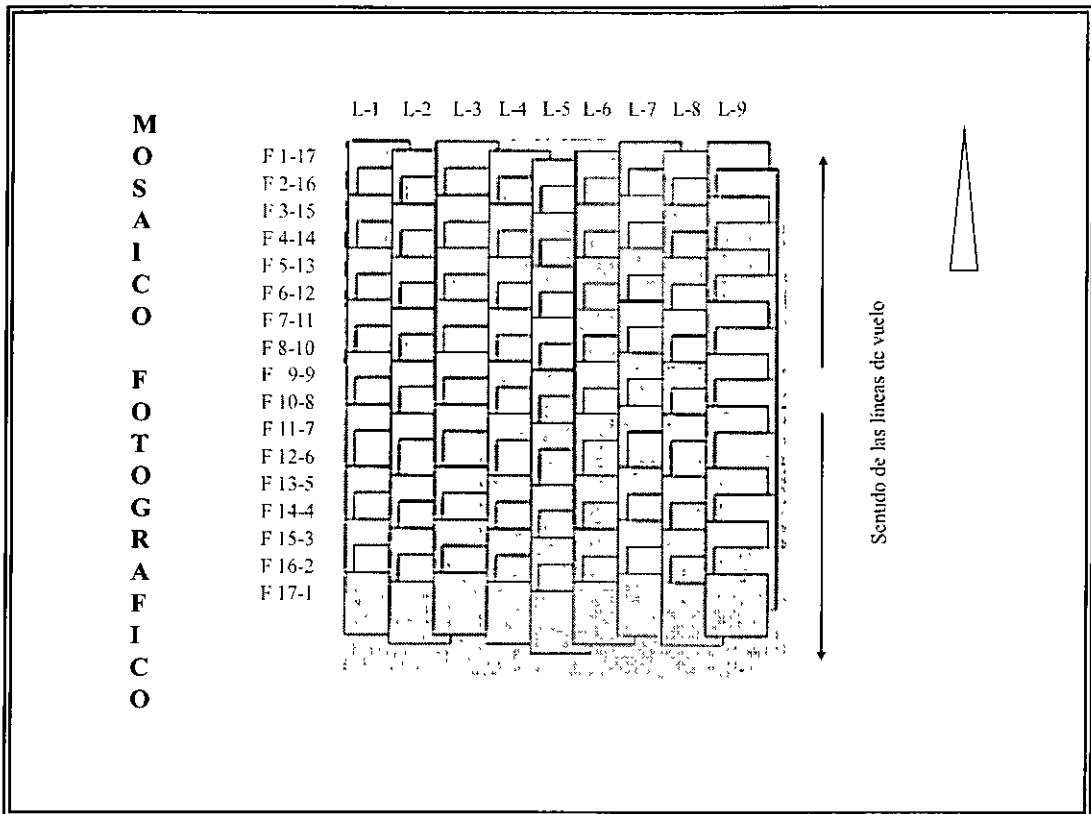
por la clave de la carta en donde se encuentran la zona que se va a trabajar y se designan además con la letra E en el caso de que dicha zona se encuentre en el lado este de la carta y por la letra W si es el lado oeste.

Las fotografías que cubren dicho bloque son escala 1:75 000, de 23 centímetros por lado y nos indica que un centímetro en la fotografía corresponde a 750 metros en el terreno.

El vuelo SINFA con la cámara LMK, tiene la característica de que el sentido de vuelo en Norte – Sur o Sur–Norte.

El área que cubre una fotografía es de 17.25 kilómetros por lado, 297.5 km^2 ; Considerando que la sobreposición longitudinal es del 60% y la sobreposición lateral es del 30% entonces el modelo tendrá un área común de fotografías adyacentes de 10.35 kilómetros y lateralmente de 5.17 kilómetros.

Cada bloque completo está cubierto por 9 líneas de vuelo y cada línea de vuelo por 17 fotografías, por lo que para cubrir el bloque total se necesitan 153 fotografías aéreas.



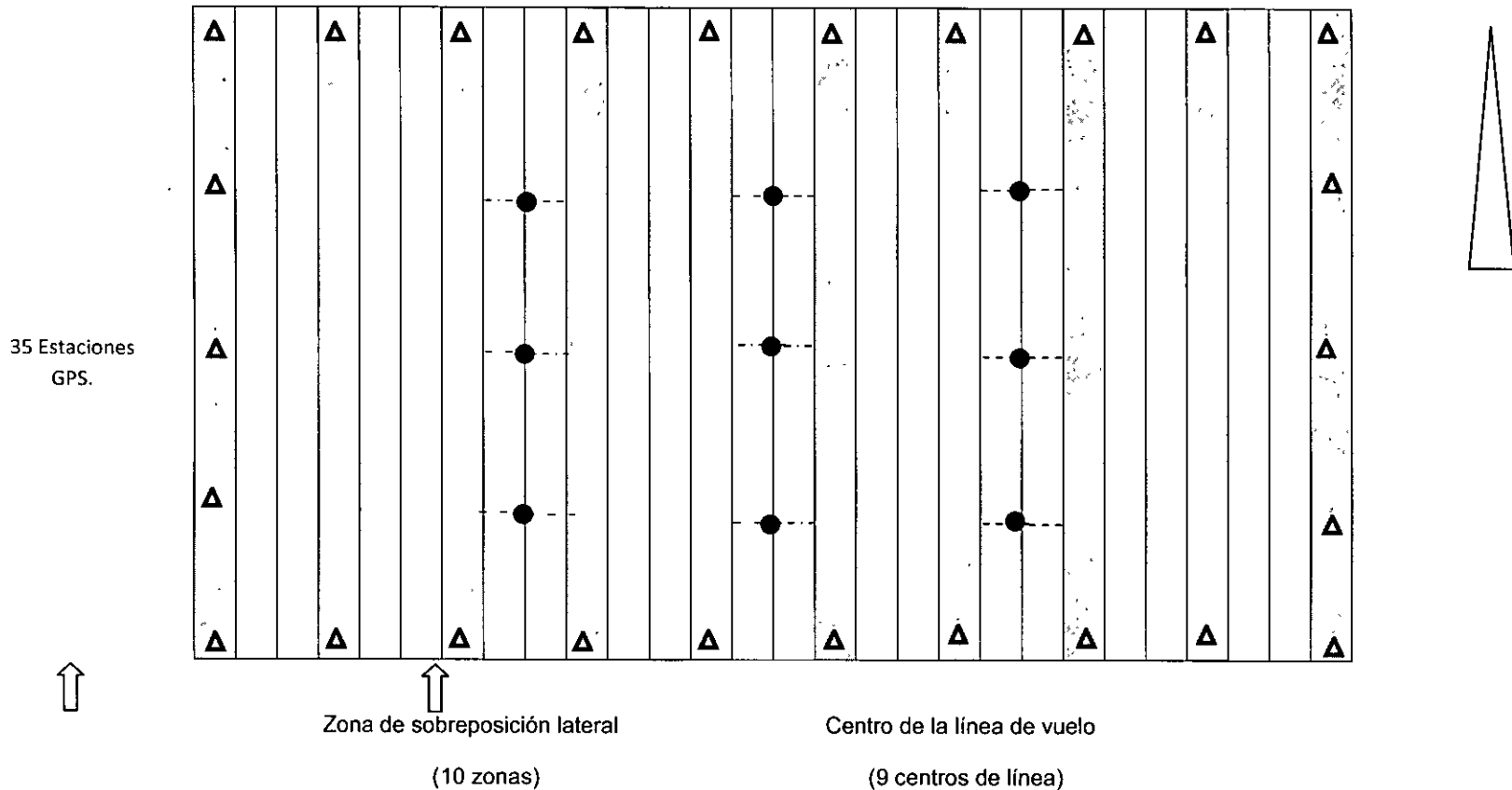
Ubicar los puntos de control necesarios (estaciones) y marcarlos con color rojo este diagrama ubica 35 estaciones por cada bloque del trabajo y corresponde al número mínimo de estaciones que requiere el proceso de triangulación aérea.

Distribución del Control Terrestre

La distribución de estos puntos será de la siguiente forma:

Considerando que intervienen 9 líneas de vuelo y por consiguiente se forma 10 zonas de traslape lateral, a cada una de estas zonas las numeramos del 1 al 10 de izquierda a derecha para hacer la distribución de los puntos más adecuada; y que en cada línea de vuelo se forman 16 modelos (de la observación de las fotografías no. 1 y no. 2 de la línea se conforma el primer modelo), los modelos los numeraremos en el sentido de arriba hacia abajo del no. 1 al no. 16, ahora podremos indicar la distribución de los puntos.

Estarán ubicados en 5 líneas, la primera y la última contiene 10 puntos de control cada una que se encuentra un punto en cada sobreposición lateral del 30% y las 3 siguientes tienen 5 puntos de control cada una, con la siguiente distribución: los modelos que serán apoyados son los nos. 4, 8 y 12, en las sobreposiciones laterales nos. 1, 3 o 4, 5 o 6, 7 o 8 y 10, alternando la distribución de estos en las líneas que intervengan. (ver figura de distribución).



- Puntos que son necesarios y su ubicación en la distribución es opcional, siendo 9 el número de puntos que se tengan que distribuir, de manera tal que cada línea de vuelo tenga de ser posible cuando menos 6 puntos de control.
- * Los Bancos de nivel que se requieran observar, serán adicionales a la distribución arriba señalada y estará ubicados donde las líneas de nivelación lo permitan y preferentemente cerca de las 4 esquinas del bloque y uno al centro del mismo.

Los puntos de control que se ubique en la parte superior, inferior, izquierdo y derecho del bloque (26 puntos de control), serán utilizados para los apoyos de los bloques contiguos, en el caso de que así lo permitan o en caso necesario proyectar nuevos puntos.

Transferir a los modelos estereoscópicos por medio del lápiz grueso de color rojo, los puntos de control señalados en la carta escala 1:250 000, seleccionando en los contactos fotográficos los mejores detalles para la fotoidentificación, estos pueden ser esquinas de linderos, intersección de vías de comunicación, esquinas de canchas deportivas, etcétera, procurando que sean accesibles en cualquier época del año. Pero sobre todo que sean ángulos donde se crucen dos líneas ó arbustos aislados para que puedan ser identificados por los operadores de fotogrametría.

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN, UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN SOBRE LA FOTRAFÍA



Una vez numerados todos los puntos del proyecto en fotografías y cartas se **obtiene un listado de coordenadas gráficas de todos los puntos del proyecto.**

Hacer un reporte con las observaciones que se vayan haciendo en el momento de seleccionar el punto de control, como son el acceso, la visibilidad hacia la constelación navstar, los medios de transporte que se deban emplear, el tiempo aproximado en llegar al punto, etcétera; este reporte

ayudará en el desarrollo de la comisión. El responsable de la elaboración del proyecto debe rubricar el reporte, quedando así éste identificado.

Toda la información generada será integrada en un expediente que tendrá las dimensiones de una hoja tamaño carta y se guardará como un paquete. Se elegirán lugares del fácil identificación fotográfica (fotoidentificación), que se encuentren bien definidas.

- Intersección de ejes de pistas de rodaje o de aterrizaje.
- Intersección clara de ejes de cruces de caminos.
- Puntos rocosos, agudos de tierra que sobresalen del agua , donde no los afecta la marea.
- Vértices de cortinas de presas.
- Confluencias de corrientes y ríos, de preferencia puntos de ribera.
- Esquinas de grandes edificios aislados y otras construcciones grandes.
- Ejes de intersección de corrientes que cruzan caminos en ángulos aproximadamente rectos.
- Esquinas de rompeolas o muelles.
- Árboles o arbustos aislados que permitan ser identificados en las fotografías.
- Puntos de vegetación contrastantes, que se distingan por una figura y en lugar donde se observe un ángulo.

Trabajo de Campo para Identificación de los Puntos.

1. Siguiendo el plan previsto para visitar los puntos de apoyo terrestre, una vez que se encuentre en la zona de trabajo, a medida que la vaya recorriendo, identifique en la fotografía todos los accidentes y detalles y considere de interés (carreteras, FFCC., ríos, canales, construcciones de importancia, etc.,) con cierta frecuencia utilizará la brújula y observará las fotografías estereoscópicamente, señale en la fotografía el sitio donde se encuentra ubicado en ese momento.
2. Tome atenta nota de lo que observa en el terreno y lo que ve en fotografía, haga una comparación (áreas nuevas, tono de las imágenes, accidentes desaparecidos, etc.).
3. Cuando llegue al lugar donde se va a ubicar un punto de control terrestre efectúe los siguientes pasos:
 - Coloque y encienda momentáneamente el receptor G.P.S. anotando las coordenadas puntuales y compárelas con las coordenadas graficas obtenidas previamente de la carta topográfica en gabinete (no deben diferir en más de un segundo).
 - Si difieren “cuidado” usted no estará en el lugar correcto, tome en cuenta que 1 segundo de arco equivale a 30 m. un minuto de arco a 1840 m. En dado caso compare las coordenadas (gráfica y receptor) y trasládese al lugar correcto.
 - Recorra cuidadosamente la zona e identifique el máximo posible de detalles. Cerciórese con absoluta seguridad de que las imágenes identificadas, corresponden realmente a los objetos observados en el terreno. En esta zona no dibuje nada en la fotografía, simplemente verifique con exactitud sus apreciaciones.

- Escoja el detalle que ofrezca mayor garantía en su identificación con el mínimo de error, preferentemente sobre la superficie del terreno en una zona plana (cruce de caminos, vértices de cercas, esquina de construcción, etc.). También verifique que tenga visibilidad hacia el horizonte para que no obstruya la recepción de señales de los satélites.
- Observando estereoscópicamente ó en su defecto con la ayuda de una lupa, marque el punto escogido mediante una perforación muy fina hecha con la aguja (preferentemente de chaquira).
- En el reverso de la fotografía enciérrelo dentro de un círculo y distíngalo con su número correspondiente.
- Proceda a realizar el croquis de detalle correspondiente a ese punto (ver capítulo correspondiente).
- En el terreno, monumento, emplaque ó marque con varilla de 30 cm. según el caso, el punto donde se va a realizar la mediación.
- En una libreta de notas haga un croquis de cómo llegar al punto escogido, escoja tres detalles que servirán como referencia, tomando rumbo y distancia cada uno de ellos, consigne la dirección Norte.

Estos croquis se deberán intercambiar entre los grupos de apoyo horizontal y vertical, según el caso de quién realice primero el trabajo y aplicado en bloques en donde no existen B.N.



El punto de apoyo terrestre se tendrá que marcar en una sola fotografía del par que conforman el modelo y será aquella que reúna las siguientes características:

- La fotografía donde se encuentre mejor ubicado el punto, es decir aquella en donde se encuentre está más al centro.
- La fotografía que esté más nítida y clara.
- La fotografía que tenga el suficiente espacio para el vaciado de la información (no se debe trabajar muchos puntos en una sola fotografía a menos de que sea la última opción).

Especificaciones de Monumentación para Estaciones G.P.S.

En un bloque de apoyo Fotogramétrico se deberán monumentar o empotrar cuando menos 3 de las estaciones fotoidentificadas de ser posible las que estén en ó cerca de poblados.

Las estaciones G.P.S. monumentadas o empotradas deberán ser un punto real fijo en el terreno que tenga propiedades de permanencia y estabilidad en las tres dimensiones.

Los sitios preferentemente deberán tener visibilidad de 360° con altura al horizonte sobre los obstáculos (casas, árboles, etc.) de 15°. Cuando sea práctico deberán colocarse en sitios que sean accesibles por tierra. El tipo de marca dependerá de factores como: condiciones locales, transportes, materiales disponibles, equipo disponibles para colocación de marcas y costo.

Las marcas consistirán en placas metálicas de material anticorrosivo con un pivote que permita colocarlas en un afloramiento de rocas, masas de concreto (monumento), ó lugares de concreto ya establecido como estribos de puentes, banquetes y otras bases estructurales.

Cuando no hay estructuras masivas grandes ó lechos de roca, se admitirán mojoneras con las características siguientes:

Dimensión: Sección horizontal cuadrada de 30 cm. por lado y 20 cm. de altura.

Sección circular de 30 cm. de diámetros y 20 cm. de altura.

Empotrado: Dependerá del tipo de terreno flojo, compacto y duro.

Monumentación

Existen tres tipos de terrenos típicos en la República Mexicana que son: rocoso, arenoso y arcilla.

- **Terreno rocoso (Se consideran zonas urbanas y estructuras).**

Se empotrará la placa haciendo una perforación donde penetre el vástago de la placa, fijándolo con una mezcla de cemento y arena la siguiente proporción: 1 parte de cemento y 2 parte de arena. El vástago de la placa deberá llevar un clavo doblado ó un alambre enrollado para su mejor fijación.

- **Terreno Arenoso.**

Se deberá hacer una excavación de 1.20 de profundidad como mínimo, con un diámetro de 40 cm. en la base y 30 cm., en seguida se llenará la excavación con una mezcla de concreto con las siguientes proporciones: una parte de cemento, dos partes de arena y tres partes de grava. Se empotrará una placa en la parte superior del monumento sobresaliendo 5 cm. del nivel de terreno.

- **Terreno Arcilloso:**

Se deberá hacer una excavación mínima de 80 cm. de profundidad en forma cónica con diámetro de 40 cm. en la base y 30cm., en seguida se llenará la excavación con una mezcla de concreto con las siguientes proporciones. Una parte de cemento y dos parte de arena y tres de grava, se empotrará una placa en la parte superior del monumento sobresaliendo 5 cm. del nivel del terreno. El vástago de la placa deberá llevar un clavo doblado ó un alambre enrollado para su mejor fijación.

Referencias de la Estación.

Las referencias pueden ser tornillos de 5/8 de cabeza hexagonal con tuerca ahogados en cemento ó empotrados en rocas, también pueden ser esquinas de construcciones permanentes, postes de conducción, etc.

Las referencias deberán numerarse a partir del norte, en dirección de las manecillas del reloj.

Las medidas de las referencias se deben realizar estando en la estación G.P.S. se observarán las referencias, determinando su azimut y midiendo su distancia.

Croquis y descripciones.








En los trabajos G.P.S., para Fotogrametría, solamente se requiere su fotoidentificación y medida (con algunas excepciones de monumentación), quedando como material el croquis de detalle marcado al reverso de la fotográfica que contiene el punto picado y la recolección de señales GPS, ya que con ello se cumple el objetivo de esta actividad en campo.

Cuando por necesidades del proyecto, se indique que deben monumentarles algunas estaciones G.P.S. deberán realizarse los croquis y descripciones respectivos.

Descripciones.

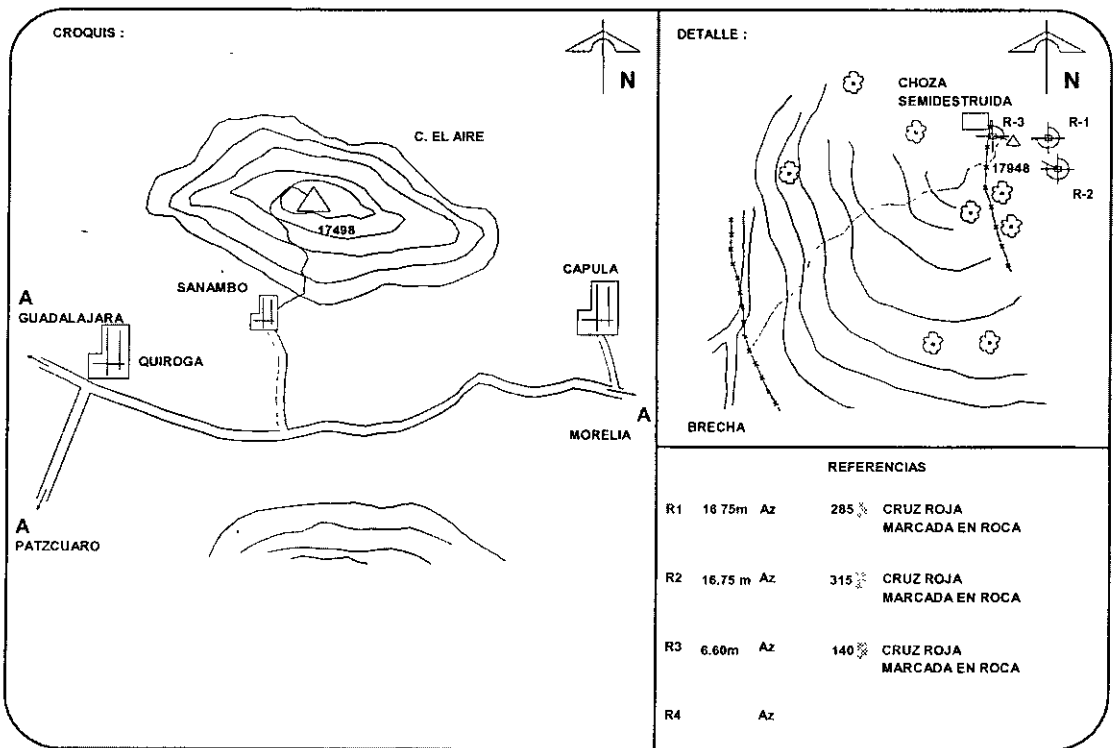
Son las narrativas correspondientes para llegar a la marca geodésica donde se deberán destacar en una forma simple. Las referencias relevantes y las distancias de los recorridos partiendo siempre de una población conocida y que aparezca contenida en las cartas topográficas de la región. Deberán usarse los formatos de croquis y descripciones normados por la Subdirección de Geodesia y con las características básicas establecidas, así como la simbología y rasgos geográficos.

SIMBOLOS Y RASGOS GEOGRAFICOS

RASGO GEOGRÁFICOS	SÍMBOLO	ESPECIFICACIONES
<u>PUNTOS GEODESICOS</u>		
VERTICE DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL		TRIANGULO EQUILATERO DE 4mm. DE DIAMETRO.
BANCO DE NIVEL		LÍNEA SENCILLA, CÍRCULO DE 2mm. DE DIAMETRO.
REFERENCIAS		LÍNEA SENCILLA, CÍRCULO DE 2mm. DE DIAMETRO
<u>ORIENTACIÓN</u>		
NORTE		SIMBOLO INCLUIDO EN ARCHOVO ANEXO
FLECHAS		LÍNEA SENCILLA, ELABORADO PUNTA DEFINIDA EN COREL DRAW.
<u>VEGETACIÓN</u>		
ÁRBOL		LÍNEA SENCILLA. ELABORADO CON AUTO-CAD.
BOSQUE		LINEA SENCILLA. ELABORADO CON AUTO-CAD
El resto de la simbología será la presentada en la carta topográfica escala 1.50 000.		



ESTACION GEODESICA.	VERTICE	LATITUD ITRF92 EPOCA 1988.0.	19°40'11" 82065
DENOMINACION:	17948	LONGITUD ITRF92 EPOCA 1988.0.	101°26'55" 73189
ORDEN:	-	ALTURA ELIPSOIDAL:	2728 7290m.
DEPENDENCIA:	INEGI	ALTURA S.N.M.M	-
ESTADO.	MICHOACAN	FECHA DE ESTABLECIMIENTO.	-
MUNICIPIO:	-	FECHA DE VERIFICACION.	25/1/92
LOCALIDAD.	-	CONDICION DE LA MARCA:	BUENA
CARTA ESC 1:50 000.	E14-A22		



DESCRIPCION:

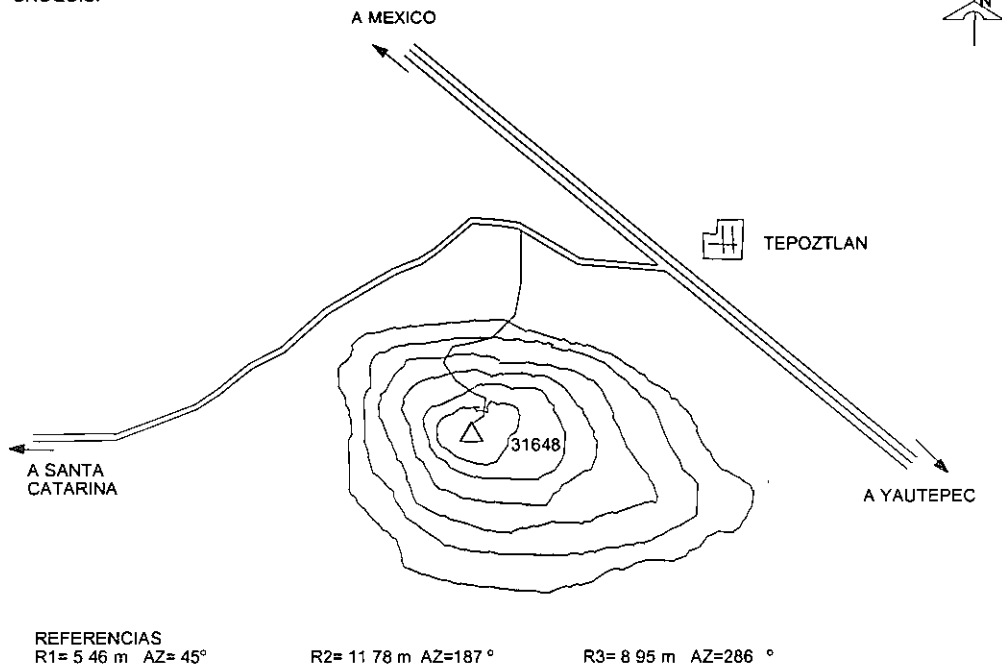
DESDE LA GASOLINERA DE LA SALIDA DE MORELIA A GUADALAJARA SE AVANZAN 24.4 KMS HACIA EL OESTE HASTA LLEGAR A LA DESVIACION A SANAMBO, DESPUES TOMAR HACIA EL NORTE 2.2 KMS LLEGAR A LA ESCUELA "NIDOS HEROES" EN EL CENTRO DEL PUEBLO DE ZANAMBO SEGUIR CON RUMBO ESTE 500 m HACIA UNA "Y" DE CAMINOS TOMAR EL CAMINO DE LA IZQUIERDA, PROSEGUIE 500 m, HASTA OTRA "Y" DE CAMINOS, AHI SE DEJA EL VEHICULO. SEGUIR EL CAMINO DE LA IZQUIERDA, A 1.1 km DE RECORRIDO SE ENCUENTRA UNA PUERTA DE TRANCAS (LA 3er DE LAS LOCALIZADAS EN EL CAMINO) AVANZAR 5 MINUTOS CON RUMBO NE HASTA LA PARTE MAS ALTA DEL CERRO, DONDE SE LOCALIZA EL MONUMENTO

EL COLOR DEL SUELO DONDE SE ENCUENTRA LA MARCA ES ROJIZO Y HAY VEGETACION ARBUSTIVA LA VISIBILIDAD EN EL LUGAR DONDE SE ENCUENTRA LA MARCA ES DE 360°



ESTACION GEODESICA: VERT. DE POS. HORIZONTAL	LATITUD ITRF92, EPOCA 1988.0	18° 58' 32" 25739
DENOMINACION: 31648	LONGITUD ITRF92, EPOCA 1988.0	99° 06' 36" 40848
ORDEN: PRIMERO	ALTURA ELIPSOIDAL:	2068 661 m
DEPENDENCIA: INEGI	ALTURA SNMM:	-
ESTADO: MORELOS	FECHA DE ESTABLECIMIENTO	02-03-1993
MUNICIPIO: TEPOZTLAN	FECHA DE VERIFICACION:	NO DISPONIBLE
LOCALIDAD: TEPOZTLAN	CONDICION DE LA MARCA:	BUENA
	CARTA ESC. 1 50 000:	E14A59

CROQUIS:



DESCRIPCION DE LA MARCA:

A PARTIR DE LA CIUDAD DE CUERNAVACA HACIA EL NOROESTE, PASAR POR LOS PUEBLOS DE OCOTEPEC, AHUTEPEC Y SANTA CATARINA, DE AHI LLEGAR AL CERRO CHALCHIC DONDE SE ENCUENTRA EL VERTICE. A PARTIR DE CUERNAVACA SE HACEN 40 MINUTOS, EN VEHICULO Y Y 30 MINUTOS A PIE HASTA EL VERTICE. EL CERRO DONDE SE ENCUENTRA EL VERTICE ESTA UBICADO AL SUROESTE DE TEPOZTLAN

EL VERTICE CONSISTE EN UNA PLACA DE ALUMINIO DE 0.09 m DE DIAMETRO GRABADA "SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO-CETENAL-31648" EMPOTRADA EN ROCA Y TRES REFERENCIAS QUE CONSISTEN EN MONUMENTOS DE CEMENTO CON VARILLA AL CENTRO

Bibliografía

- UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
CENTRO UNIVERSITARIO DE MÉRIDA
APUNTES DE FOTOGRAMETRÍA II
Juan Antonio Pérez Álvarez

- **FOTOINTERPRETACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO**
JESÚS PABLO GONZÁLEZ VÁZQUEZ. Doctor Ingeniero Agrónomo.
Departamento de Ingeniería Agroforestal.
Universidad de Santiago de Compostela.

- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APOYO FOTOGRAMETRICO CON VUELO ESCALA 1:
40 000. INEGI

- Artículo. **GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (DTM) CON LÁSER
ESCÁNER AEROTRANSPORTADO (ALS /LIDAR).**

- Tesis: Principios básicos de la fotogrametría actual.
Ciro Israel Braulio Vite

- **APUNTES DE FOTOGRAMETRÍA**
Rodrigo Orellana Ramírez

- **MANUAL DE FOTOGRAMETRÍA BÁSICA**
Víctor Ocampo Sánchez
INEGI

- **INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAMETRÍA**
Luis Jauregui