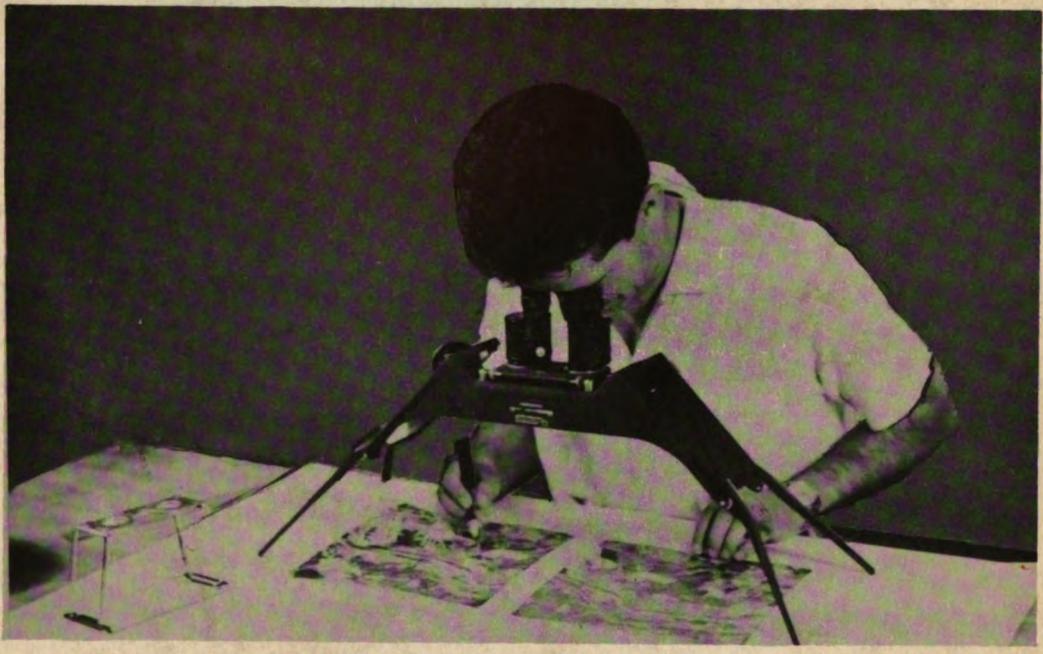


#3958



MANUAL DE

# fotogrametría forestal



*Gerard J. Schreuder*

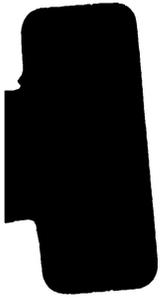
Centro de Enseñanza e Investigación  
TURRIALBA, COSTA RICA  
DISCIPLINA DE DASONOMIA - 1964

la fotogrametría

interpretación de fotografías aéreas

la construcción de mapas  
y otras aplicaciones forestales

2 I5974m 1963



C. Rica 562.982  
I 5974m 1963

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

MANUAL DE FOTOGRAMETRIA FC



Gerard F. Schreuder  
Dasónomo  
Setiembre 1963



03344

I. I. C. A. - C. I. R. A.  
BIBLIOTECA

COMPRADO A U.E.A.

PRESEQUIO DE: \_\_\_\_\_

FECHA Jul. 13. 1965 PRECIO 15.225

IICA  
526.102  
197

# I N D I C E

Pag.

## INTRODUCCION

<u>I. PARTE GENERAL</u>	1
A. Historia	1
B. Tipos de fotografías aéreas	1
1. Según el ángulo de la fotografía	1
a. Fotografías verticales	1
b. Fotografías oblicuas	2
2. Según las especificaciones	2
a. Según la escala	2
b. Según el lente y la cámara usada	2
c. Según la estación climática	2
d. Según la emulsión de la película	2
e. Según el método de imprimir	3
3. Por la forma en que se usan las fotografías	3
C. Contratos y especificaciones	4
<u>II. LA FOTOGAMETRIA</u>	7
A. La visión tridimensional o estereoscópica	7
B. El desplazamiento	9
1. El desplazamiento debido al equipo fotográfico	9
2. El desplazamiento debido a la altura	9
3. El desplazamiento debido al balanceo	11
C. La Fotogrametría aérea	14
1. La determinación de distancias horizontales y escalas	14
a. La determinación de distancias horizontales	14
b. La determinación de escalas	15
1) Caso de la altura de vuelo conocida	15
2) Caso de la altura de vuelo desconocida	16
2. La determinación de superficies	17
a. La exactitud de la fotografía o del mapa	17
1) La exactitud de la fotografía	17
a) Las variaciones de escala en la fotografía	18
b) Las pendientes	19
2) La exactitud del mapa	20
b. El método de la medición de superficies	20
1) Por medio de planímetros	21
2) Por medio de transectos	21
3) Por medio de cuadrículas o mallas	21
4) Por medio de la determinación del peso	22
5) Por medio de planímetros foto-eléctricos	22
3. La determinación de alturas	22
a. La determinación de alturas por medio del desplazamiento debido a la altura del objeto	23
1) En una sola fotografía	23
2) En un par estereoscópico de fotografías	23
b. La determinación de alturas por medio de la sombra del objeto	29

1) Por medio del punto sin sombra o por medio del punto reflexión solar . . . . .	30
2) Por medio de la hora del día, la fecha en que se tomó la fotografía y la localidad del área fotografiada . . . . .	30
3) Por medio de la dirección de la sombra y la localidad del área fotografiada . . . . .	31

**III. LA CONSTRUCCION DE MAPAS . . . . . 33**

A. La selección del tipo de proyección del mapa . . . . .	33
1. La proyección ortográfica . . . . .	33
2. La proyección policónica . . . . .	33
3. La proyección "Lambert conformal" . . . . .	33
4. La proyección sistema "Mercator transversal" . . . . .	34
B. La construcción del mapa básico . . . . .	34
1. El método de triangulación aérea tridimensional . . . . .	34
2. El método de triangulación aérea bidimensional . . . . .	35
C. La transferencia de los detalles fotográficos al mapa básico . . . . .	37
1. La construcción de mapas planimétricos . . . . .	37
a. A base de una sola fotografía a la vez . . . . .	38
1) Con el duoscopio . . . . .	38
2) Con los proyectores reflejantes . . . . .	38
3) Cámaras lúcidas . . . . .	38
b. A base de un par estereoscópico de fotografías a la vez . . . . .	39
1) Con los instrumentos basados en el principio de la línea radial . . . . .	39
2) Con los instrumentos que trabajan con las imágenes estereoscópicas sobrepuestas sobre el papel del mapa . . . . .	39
3) Con los instrumentos que tienen las marcas flotantes conectadas con algún dispositivo de dibujo . . . . .	39
2. La construcción de mapas topográficos . . . . .	40
1) Con los instrumentos que utilizan un estereómetro . . . . .	40
2) Con los instrumentos del tipo proyección . . . . .	40
3) Con los instrumentos óptico-mecánicos . . . . .	40

**IV. LA INTERPRETACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS . . . . . 41**

A. Los factores que determinan el reconocimiento de un objeto . . . . .	41
1. La nitidez de las fotografías . . . . .	41
2. La forma del objeto . . . . .	41
3. Las dimensiones del objeto . . . . .	41
4. La sombra del objeto . . . . .	41
5. La textura del objeto . . . . .	41
6. La localidad y asociación del objeto . . . . .	41
7. El tono del objeto en contraste con sus alrededores . . . . .	41

B.	Los factores que influyen en la nitidez de la fotografía	42
1.	El lente y su montadura . . . . .	42
2.	Los materiales fotográficos . . . . .	42
3.	Las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía . . . . .	42
4.	El movimiento de la cámara durante la exposición . . . . .	42
C.	Los factores que influyen en el contraste de la fotografía	42
1.	La cantidad y calidad de la luz solar que llega al objeto	43
2.	El reflejo de la luz solar por el objeto . . . . .	44
3.	El filtro usado y la sensibilidad de la emulsión de la película a la luz que pasa por aquél . . . . .	45
4.	Los materiales fotográficos . . . . .	46
5.	Las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía . . . . .	46
D.	EL EQUIPO PARA LA INTERPRETACION . . . . .	47
E.	LOS PUNTOS IMPORTANTES EN LA INTERPRETACION . . . . .	47
V.	LOS USOS DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS EN ASUNTOS FORESTALES	49
A.	La construcción de mapas . . . . .	49
B.	Los inventarios . . . . .	49
1.	La medición de superficies boscosas . . . . .	49
2.	La medición de alturas de árboles y de rodales . . . . .	49
3.	La medición de diámetros de copas . . . . .	49
4.	La medición de la densidad o espesura de un bosque . . . . .	49
5.	La enumeración de las copas y la determinación del número de árboles por unidad de superficie . . . . .	49
6.	La determinación de volúmenes por unidad de superficie	49
7.	La medición de variables que pueden dar una idea acerca de aquellos aspectos que no pueden medirse sobre las fotografías . . . . .	50
8.	La identificación de formaciones, asociaciones y tipos forestales o ecológicos, grupos de especies y especies individuales . . . . .	50
9.	La relación con los inventarios terrestres. . . . .	50
C.	El manejo de bosques . . . . .	52
1.	Uso de las fotografías como memorias forestales . . . . .	52
2.	Uso de las fotografías en reconocimientos de plagas y enfermedades . . . . .	52
3.	Uso de las fotografías en reconocimientos de silvicultura	52
4.	Uso de las fotografías en la administración de compra y venta de madera y de bosques . . . . .	52
5.	Uso de las fotografías en la localización de caminos . . . . .	52
6.	Uso de las fotografías para el inventario de productos forestales, como trozas o madera para pulpa y papel. . . . .	53
7.	Uso de las fotografías para planear recreación . . . . .	53
8.	Uso de las fotografías para reconocimientos catastrales	53
9.	Uso de las fotografías en la protección de bosques contra fuego . . . . .	53
10.	Uso de las fotografías en el manejo de la vida silvestre y del pastoreo en el bosque . . . . .	53

## EJERCICIOS

1. La visión estereoscópica	54
2. La orientación de las fotografías aéreas para la visión estereoscópica	55
3. La determinación de escala, distancias horizontales, superficiales, número de árboles por unidad de superficie, diámetro de copas y densidades de bosques sobre fotografías aéreas	58
4. La determinación de alturas por medio del desplazamiento en una sola fotografía	62
5. La determinación de alturas por medio del desplazamiento en un par estereoscópico de fotografías	63
6. La determinación de alturas con el estereómetro	65
7. La determinación de alturas con la cuña de paralaje	68
8. La determinación de alturas por medio de la sombra del objeto	70
9. La determinación de gradientes	73
10. La construcción de un mapa básico por medio de la triangulación	76
11. La interpretación de fotografías aéreas y la construcción de una clave de clasificación	81
12. La construcción de un mapa planimétrico con el "sketchmaster"	82

## APENDICES

A. Lista básica de literatura recomendada para la fotogrametría	83
B. Glosario de los términos técnicos y los equivalentes ingleses	85
C. Términos técnicos inglés - español	90

## INTRODUCCION

Este trabajo cubre el curso de fotogrametría, dictado a los estudiantes forestales de la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), en Turrialba, Costa Rica. Fue desarrollado como material de enseñanza, basado sobre extensas revisiones de la literatura y experiencia del autor, cuando estudió y trabajó en Holanda (International Training Centre for Aerial Survey), Suiza y en Costa Rica. En cuanto al esbozo general del trabajo, se ha seguido en gran parte el libro "Photogrammetry and Photo-interpretation" (1960) de S. H. Spurr.

Se estima que este material es suficiente para un curso general e introductivo de 3 meses, con 4 horas de teoría y práctica por semana. Está dirigido principalmente a técnicos con interés forestal. Se supone que el estudiante o la institución sólo cuentan con el instrumental más básico, tales como: estereoscopios de bolsillo y de espejos, un juego de templetes mecánicos de hierro, de cartón o de plástico, un "sketchmaster", y fotografías aéreas.

Este trabajo consta de 3 partes diferentes: la primera cubre la teoría, la segunda los ejercicios prácticos, y la última parte da sugerencias sobre literatura para quien esté interesado en profundizar su conocimiento en la fotogrametría. Un glosario de los términos técnicos sirve como ayuda especial al estudiar la materia en español o la literatura que está generalmente en inglés.

El autor les agradece al Dr. G. Budowski y al Ing. L. Loján la revisión cuidadosa de este trabajo y las sugerencias y críticas recibidas. Eso ha contribuido mucho a la presentación de este trabajo.

También expresa su agradecimiento a su esposa, Ally Schreuder de van Buuren, y a la Sra. Jane de Chacón por el trabajo de mecanografía.

Finalmente, consciente de la posibilidad de que se encuentren errores gramaticales y técnicos en el texto, el autor deja constancia de que ha aceptado presentar este Manual en forma preliminar, con la esperanza de completarlo y mejorarlo en el futuro con la ayuda de las sugerencias y críticas que espera recibir.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0



## I. PARTE GENERAL

En este capítulo se da una información general sobre la historia de la fotogrametría, los tipos de fotografías aéreas reconocidos y algunas consideraciones importantes sobre los contratos.

### A. HISTORIA

La historia de la fotogrametría puede comprenderse mejor en las líneas siguientes:

Las ideas sobre estereoscopia son tan viejas como el hombre mismo, lo que se manifestó en la construcción y dibujo de la perspectiva de objetos observables en tres dimensiones.

El primer estereoscopio se construyó en Inglaterra entre 1830 y 1840.

Más o menos en el mismo tiempo, Daguerre desarrolló en Francia la primera fotografía práctica y construyó la primera cámara.

En 1858, también en Francia, se tomó la primera fotografía aérea desde un globo aerostático.

En 1887, un ingeniero forestal alemán aplicó las fotografías aéreas por primera vez a la dasonomía; por lo menos éste es el primer caso registrado.

Pero solamente después de la primera guerra mundial las fotografías aéreas comenzaron a tener importancia, con el desarrollo de los aviones modernos, las cámaras y los lentes mejorados.

Desde la segunda guerra mundial se usan las fotografías aéreas en una escala cada vez más grande, en muchas disciplinas diferentes como geología, geodesia, arqueología, dasonomía, suelos, etc. Actualmente la fotogrametría tiene un sitio reconocido en estas disciplinas.

### B. TIPOS DE FOTOGRAFÍAS AEREAS

Según el criterio que uno usa, se distinguen varios tipos de fotografías aéreas. Pueden clasificarse por el ángulo de la fotografía, por las especificaciones, y por la forma en que se usan.

#### 1. Por el ángulo de fotografía:

- a. fotografías verticales
- b. fotografías oblicuas

Las fotografías oblicuas a su vez pueden subdividirse en:

- 1) oblicuas altas, con el horizonte sobre las fotografías
- 2) oblicuas bajas, sin el horizonte sobre las fotografías

Las fotografías verticales son aquellas que han sido tomadas con la

cámara colocada de tal manera que el eje óptico del lente esté paralelo a la línea Zenit-nadir o sea que esté vertical.

Las fotografías oblicuas son tomadas con la cámara inclinada, intencionalmente, entre el horizonte y la vertical. Según esta inclinación, el horizonte puede aparecer o no en las fotografías. Si el horizonte está visible en la fotografía, se puede calcular el ángulo de la inclinación.

En el pasado se usaron mucho las fotografías oblicuas; con ellas se cubren extensas áreas con un número relativamente pequeño y, en consecuencia, salen baratas; también presentan una imagen más natural. Hoy día, sin embargo, se usan casi exclusivamente las fotografías verticales, debido a las siguientes desventajas de las fotografías oblicuas: la escala varía siendo grande al frente y muy pequeña al fondo; es muy difícil construir mapas con ellas; se pueden usar solamente en áreas planas ya que no se puede ver el otro lado de las montañas (una solución sería tomar fotografías desde ambos lados, pero esto resulta costoso).

## 2. Por las especificaciones:

### a. según la escala

Se pueden distinguir fotografías de escala grande como por ejemplo 1:5.000 y de escala pequeña como por ejemplo 1:50.000.

### b. según el lente y la cámara usada

Los lentes que se usan para tomar fotografías aéreas tienen largos focales de 15 cm. (para áreas planas), de 21 cm. y de 30 cm. (para áreas muy montañosas).

Hay cámaras con lentes múltiples (con dos o más lentes) para tomar áreas muy grandes en una sola fotografía.

También pueden tomarse más de una fotografía a la vez por medio de cámaras múltiples. Las más conocidas de este sistema son: el trimetrogon, que no es más que una cámara compuesta por tres cámaras simples, una de las cuales toma fotografías verticales y, las otras dos, fotografías oblicuas a uno y otro lado; y la cámara-gemela-transversal, que está compuesta por dos cámaras simples que toman fotografías oblicuas.

Además existen cámaras que compensan el movimiento horizontal del avión, por medio de un movimiento opuesto e igual durante la exposición (cámaras de compensación del movimiento de la imagen). También hay cámaras que reducen, por medio del giroscopio, las desviaciones de la vertical que pueda tener el eje óptico de la cámara debido a las vibraciones constantes del avión.

### c. según la estación climática.

Se distinguen: fotografías de estación seca, de estación húmeda, de verano, etc.

### d. según la emulsión de la película

Existen: fotografías ortocromáticas  
fotografías pancromáticas

fotografías infrarrojas  
fotografías en colores

La película de tipo ortocromático es sensible principalmente a los colores azul y verde; la pancromática a todo el espectro visible. La película infrarroja es especialmente sensible a las radiaciones infrarrojas, pero también al espectro visible y, según el filtro que se use, se distinguen: fotografías infrarrojas reales (tomadas con filtro rojo oscuro) e infrarrojas modificadas (tomadas con filtro "menos azul" o sea amarillo).

e. según el método de imprimir

Pueden usarse impresores electrónicos, con regulación automática de la luz en la impresión del negativo ("automatic dodging"), o impresores comunes.

3. Por la forma en que se usan las fotografías:

Existen: impresiones normales, compensadas ("ratioed") y rectificadas; mosaicos; diapositivos; anaglifos; vectógrafos; fotografías brillantes, semibrillantes o mates; fotografías de papel o de plástico, de peso simple o de peso doble.

Se pueden usar impresiones normales que no son corregidas; impresiones compensadas ("ratioed") en las cuales todas las variaciones de escala entre fotografías, debido a cambios de la altura del vuelo, han sido eliminadas; impresiones rectificadas, en las cuales el balanceo ("tilt") ha sido eliminado. El balanceo en fotografías verticales se presenta cuando el eje óptico de la cámara durante la exposición no estaba exactamente vertical; la fotografía se rectifica refotografiándola con un ángulo igual pero de signo contrario.

Se pueden usar las fotografías aéreas en forma de un mosaico. Un mosaico es un fotografía del conjunto de todas las fotografías aéreas, recordadas a lo largo de sus superposiciones y puestas en un ensamblaje. Existen mosaicos controlados, semicontrolados, e incontrolados.

Muchas veces se usan diapositivos en vez de fotografías, especialmente en los instrumentos para construir mapas. La ventaja es que no se pierden los detalles que están en el negativo.

Los anaglifos y los vectógrafos son impresiones tridimensionales; es decir, en ellos dos imágenes diferentes del mismo objeto están impresas sobre una misma fotografía. En el caso de los anaglifos, las dos imágenes están impresas en colores complementarios, siendo rojo y verde-azul el ejemplo más conocido; en el caso de los vectógrafos se usa luz polarizada con una imagen polarizada a 45 grados de la horizontal y la otra a 90 grados. Si se miran las fotografías a través de anteojos con lentes rojos y verde-azules o con lentes que polarizan la luz a 45° y 90°, cada ojo ve solamente una imagen del objeto, con el resultado que se ve tridimensionalmente. Una desventaja de estas impresiones es la falta de nitidez de la imagen tridimensional.

Según la superficie, se pueden distinguir fotografías brillantes, semibrillantes y mates. Las fotografías brillantes reproducen mejor los detalles y son excelentes en cuanto a nitidez, pero las superficies reflejan la luz y se rompen con mayor facilidad con el uso.

Según el material usado, se distinguen fotografías de papel, de plástico, etc., y según el peso, fotografías de peso simple y doble. Las fotografías de peso doble son más gruesas y por lo tanto más caras; tienen la ventaja de contraerse solamente en un 0.1% contra un 0.8% para las delgadas.

### C. CONDICIONES Y ESPECIFICACIONES

Es muy raro que en América Latina los servicios forestales cuenten con su propio equipo y con técnicos para tomar fotografías aéreas. Generalmente son compañías comerciales u otras entidades oficiales las que se encargan de estos trabajos. Debido a que se requieren grandes capitales y que casi siempre hay muchos factores imprevistos en la toma de fotografías aéreas, se debe trabajar con contratos bien detallados para cubrir todas las posibilidades. Todo contrato debe especificar algunos de los puntos siguientes:

1. El área a fotografiar debe estar claramente indicada.
2. Se estipula que ninguna información respecto a las fotografías, o el dato de que las fotografías han sido tomadas, será suministrado a otros sin autorización previa.
3. Los negativos pertenecen a la firma contratante, no importa quién las guarde, y no se autoriza ninguna reproducción sin la aprobación de la misma.
4. La empresa que toma las fotografías es responsable de su propio personal y equipo.
5. Las fotografías deben tener la escala especificada, como también la altura del vuelo sobre el nivel del mar. Las variaciones no deben sobrepasar del 5%.
6. Las superposiciones longitudinales, o sea entre fotografías, a lo largo de la línea de vuelo, deben mantenerse entre 55 y 65%, con un promedio de 60%; las superposiciones laterales, o sea entre fotografías de dos líneas de vuelo adyacentes, deben mantenerse entre 15 y 45%, con un promedio de 25%.
7. Cuando se toma una línea del terreno en dos vuelos, las dos primeras fotografías del segundo vuelo deben sobreponerse a las dos últimas del 1<sup>er</sup> vuelo. Este es el caso de líneas de vuelo quebradas o interrumpidas.
8. La desviación del eje óptico de la vertical (balanceo) debe ser menor de 5 grados y como promedio, menor de 2 grados. (Veáse Figura 1, Pág. 5)
9. La desviación horizontal de la línea actual de vuelo en relación con la proyectada ("drift") y la desviación angular de la posición de la fotografía en relación con la línea de vuelo ("crab"), no deben cubrir más de 10% de la anchura de las fotografías. (Veáse Figura 2, Pág. 5)
10. La marca, el modelo, el número de la cámara y del lente que se emplearán.
11. La clase, tipo de película y el filtro que deben ser usados.
12. La calidad de las fotografías debe estar de acuerdo con muestras. También las fotografías deben estar libres de nubes y sombras de nubes.

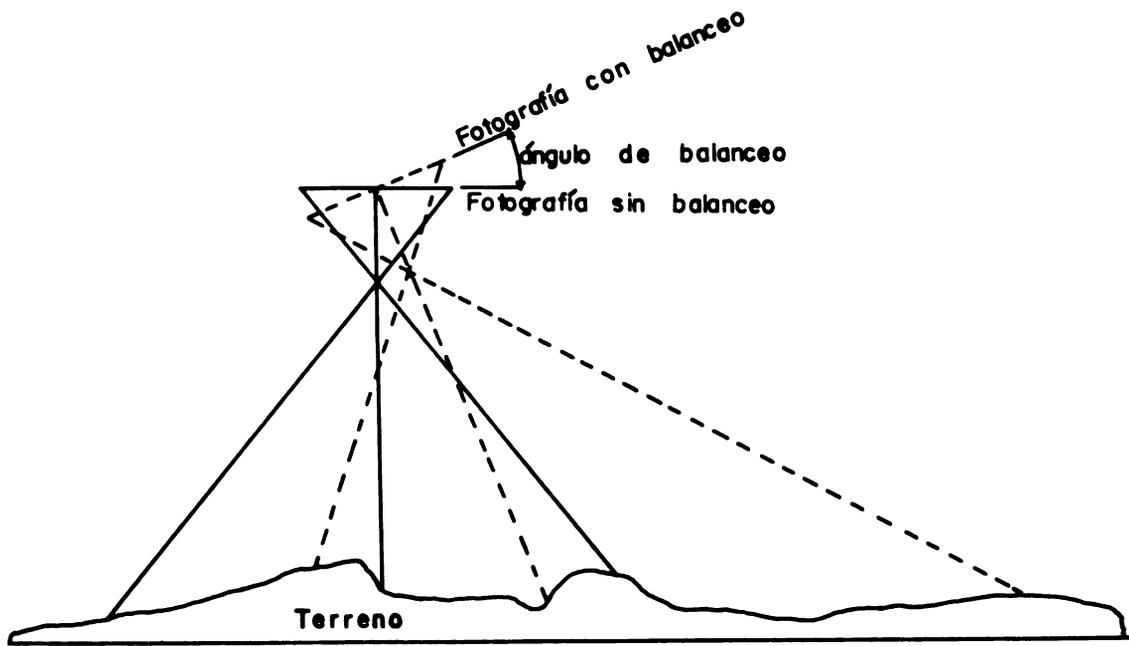


Figura 1. El ángulo de balanceo („Tilt“).

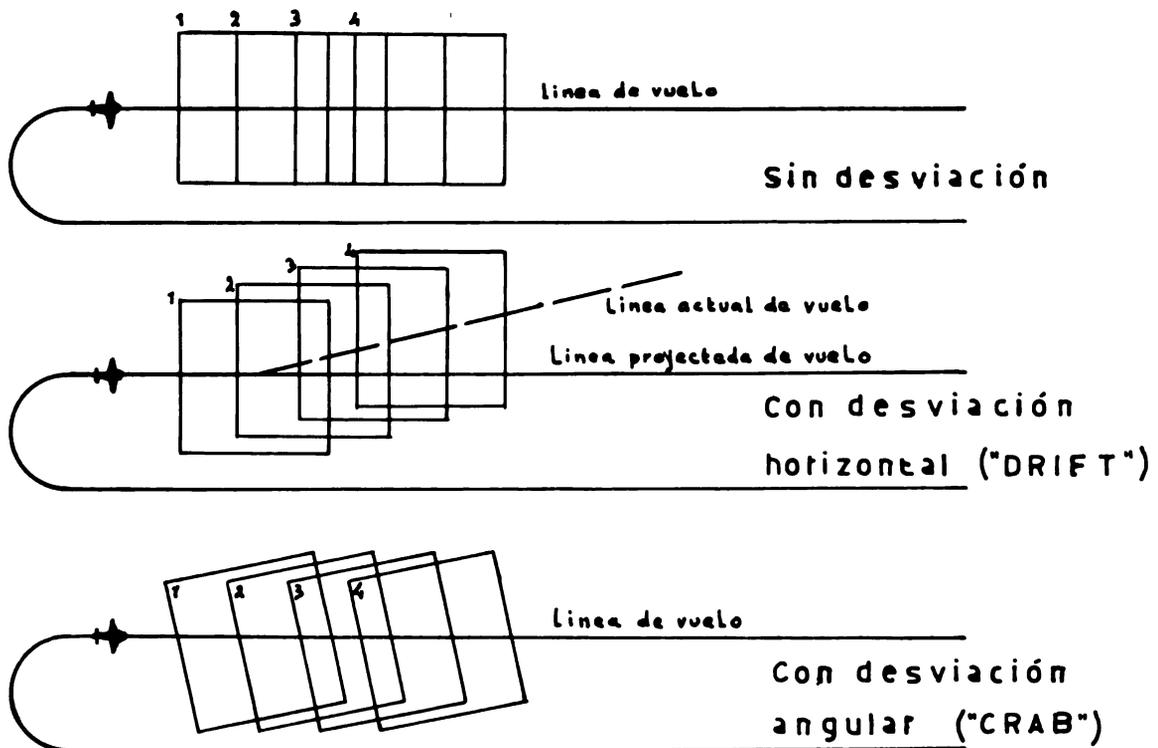


FIGURA 2. La desviación horizontal y angular en fotografías aéreas.

13. La estación del año en que las fotografías deben ser tomadas.
14. Los datos exactos de fecha y hora del día, deben estar impresos en cada fotografía.
15. La fecha de entrega, el tipo de la fotografía y del material deseado.
16. El número de copias requerido de cada fotografía.
17. Cualquier trabajo adicional, como mosaicos, mapas, etc., cuando sea requerido.
18. El costo, la forma de pago y los precios de materiales adicionales.

Los precios para tomar fotografías aéreas son muy variables y se expresan generalmente sobre la base de una unidad de superficie. Los principales factores que influyen en el precio son:

- 1) la escala de las fotografías y otras especificaciones
- 2) la ubicación del área o del país
- 3) la superficie y la forma del área
- 4) la estación del año
- 5) las firmas que pueden hacer el trabajo (tamaño de estas firmas, competencia, etc.)

Un precio de US \$3.00 por  $\text{km}^2$  es considerado muy razonable para una escala de 1:40.000 pero para fotografías con una escala tan grande como de 1:15.000, el precio puede ser tan alto como \$15.00 por  $\text{km}^2$ .

## II. LA FOTOGRAMETRIA

cada

o. La fotogrametría es la ciencia que se ocupa de obtener mediciones exactas por medio de fotografías. La fotogrametría terrestre usa para este fin fotografías terrestres, la fotogrametría aérea en cambio utiliza fotografías aéreas. La base de la fotogrametría aérea es la visión tridimensional o estereoscópica, o la percepción de la profundidad. Esta visión tridimensional se origina a su vez en el desplazamiento ("displacement").

re.

### A. LA VISION TRIDIMENSIONAL O ESTEREOSCOPICA

- Si se mira un objeto con un ojo, sólo puede estimarse la distancia del ojo hasta el objeto con dificultad, y no se pueden apreciar sus dimensiones con precisión. Para demostrar este hecho, ponga un objeto en la mesa y trate de colocar el dedo sobre el mismo, usando solamente un ojo. Ver una sola fotografía es exactamente lo mismo que ver con un solo ojo. Se pueden ver bosques, montañas, casas, etc., pero no se sabe la altura que tienen, ni las distancias. La segunda desventaja al ver con un solo ojo puede demostrarse de la siguiente manera: observe la punta de un lápiz con un solo ojo y verá únicamente un círculo. Sin saber antes que el objeto era un lápiz, y sin la ayuda de las sombras, no se podrá decir que el objeto visto es un lápiz.

Con dos ojos se ve el lápiz desde dos ángulos diferentes, o sea, se ve tridimensionalmente. Ahora, si se puede ver que se trata de un lápiz, y también se puede estimar su largo y la distancia del ojo hasta él. La distancia máxima hasta la cual una persona puede ver la profundidad, o sea tridimensionalmente, es más o menos de 700 metros.

le

El principio de ver tridimensionalmente con dos ojos se aplica igualmente a las fotografías aéreas. Se fotografía la misma área, o el mismo objeto, desde dos puntos diferentes. Cada fotografía graba la imagen en la misma forma que si hubiera sido vista por un ojo que hubiera estado colocado en el lugar en que estaba la cámara en el momento de tomar la fotografía. Al examinarse las dos fotografías, una con un ojo, y la otra con el otro, las dos imágenes son fusionadas por el cerebro en una sola imagen, pero en forma tridimensional. Las dos fotografías de esta clase se llaman un par estereoscópico ("stereopair"). En líneas de vuelos, una fotografía sigue a la otra, más o menos en línea recta y tiene superposición longitudinal.

Se obtiene una mayor percepción de profundidad cuando aumenta el ángulo de convergencia formado por las líneas visuales de ambos ojos hacia un mismo objeto. En el caso de las fotografías aéreas dicho ángulo es muy grande, ya que la cámara en el avión las toma desde dos posiciones muy separadas. Si las dos imágenes son estudiadas bajo un estereoscopio, el resultado obtenido es una imagen estereoscópica bastante exagerada en cuanto a las dimensiones verticales. He aquí la razón por la cual se puede ver tridimensionalmente con fotografías aéreas, aunque hayan sido tomadas a una distancia vertical mayor de 700 m.

De una manera similar se puede ver que la exageración vertical estereoscópica es más grande cuando:

- La distancia entre dos posiciones sucesivas de exposición aumenta; esta distancia se llama base aérea ("air base").

- Aumenta el largo focal de los lentes del estereoscopio, pero en este caso la ampliación disminuye.
- Las fotografías bajo el estereoscopio están más separadas.

En cambio, la imagen estereoscópica resulta disminuida cuando:

- Aumenta la altura del vuelo.
- El largo focal del lente de la cámara es mayor.
- La distancia entre las pupilas de los ojos es más grande; entonces una persona con ojos poco separados ve mejor estereoscópicamente que otra con los ojos más separados.

La visión estereoscópica máxima se obtiene con lentes gran-angulares. Por esta razón, se prefieren lentes con largos focales pequeños de 15 cm. para tomar fotografías de áreas planas, o para poder volar más bajo. Los lentes con un largo focal de 30 cm. se usan para terrenos sumamente quebrados.

Para facilitar la vista de una fotografía con un ojo y otra fotografía con el otro ojo, se han construido varios instrumentos de los cuales el estereoscopio de bolsillo y el estereoscopio de espejos son los más conocidos. Pero, con ejercicio y práctica, también se puede ver estereoscópicamente con los dos ojos, sin la ayuda de instrumentos. Esto es un poco difícil, porque los ojos tienden a ver solamente un objeto a la vez y hay que entrenarlos para que lleguen a ver por separado dos objetos.

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento para orientar las fotografías aéreas para estudios estereoscópicos:

1. marcar los puntos principales con ayuda de las marcas fiduciales. Los puntos principales están en las intersecciones de las dos rectas que conectan marcas fiduciales opuestas.
2. transferir el punto principal a la otra fotografía del par estereoscópico. Este nuevo punto se llama el punto transferido.
3. unir el punto principal y el punto transferido con una línea recta en las dos fotografías del par estereoscópico; eso es trazar la línea de vuelo ("course line" o "flight line").
4. colocar las dos fotografías del par de tal manera que ambas líneas de vuelo queden en una sola línea recta teniendo en cuenta que las fotografías estén en su lado respectivo. Para saber cual fotografía va al lado derecho y cual al lado izquierdo, se usan los números progresivos que deben tener las fotografías. La que tiene el número más bajo es la que siempre se coloca al lado izquierdo. Si se colocan las fotografías inversamente se obtiene, en lugar de la imagen estereoscópica, una visión llamada "pseudoscópica", que consiste en ver todas las elevaciones al revés, como depresiones. Una montaña aparece como si fuera un hueco grande.
5. colocar el estereoscopio de tal manera que la línea que conecte los dos lentes sea paralela a la línea de vuelo de las fotografías.

6. mover las dos fotografías a lo largo de la línea de vuelo, de tal manera que la línea de vuelo de cada fotografía siempre quede en una sola línea recta con la otra, hasta que se pueda ver tridimensionalmente.

Esta visión estereoscópica de las fotografías aéreas se origina en el desplazamiento.

## B. EL DESPLAZAMIENTO

El desplazamiento ("displacement") existe cuando el objeto no tiene en la fotografía aérea la posición que debiera de tener normalmente. Por ejemplo si se toma una fotografía vertical de un árbol, la copa y la base, que tienen la misma posición horizontal en el terreno, deben coincidir en la fotografía; sin embargo, no coinciden, generalmente debido al desplazamiento. La copa del árbol es desplazada. El desplazamiento permite ver la copa y la base.

El desplazamiento puede ser debido:

- 1) al equipo fotográfico
- 2) a la altura
- 3) al balanceo

### 1. El desplazamiento debido al equipo fotográfico

Los defectos de los instrumentos producen la deformación y por consecuencia el desplazamiento de las imágenes fotográficas. La deformación debida al lente causa desplazamiento hacia el punto principal o en dirección opuesta. Un vidrio entre lente y película causa mucha deformación. También ocurren deformaciones si el lente y la cámara están mal ajustados o cuando el negativo no está absolutamente plano en el momento de tomarse la fotografía. En este caso a la imagen le falta nitidez o hay una diferencia entre las marcas fiduciales de la fotografía y las de la cámara. Otra deformación se tiene cuando no toda la fotografía ha sido tomada al mismo tiempo; el avión se mueve mientras el obturador se abre y se cierra. Las deformaciones más serias son producidas cuando las fotografías o los negativos cambian de dimensiones.

Con el equipo y los materiales modernos de alta precisión, dichos errores son generalmente muy pequeños. La deformación de lentes modernos, que es muy pequeña, puede ser calculada por medio de una calibración óptica. Además este error siempre es mínimo en el punto principal y aumenta radialmente a partir de este punto. Usando cámaras de compensación del movimiento de la imagen, películas y fotografías con bases muy estables, de vidrio o de plástico, se consigue reducir las deformaciones y el desplazamiento al mínimo.

### 2. El desplazamiento debido a la altura

La altura y también el relieve, causan desplazamientos muy pronunciados, que a su vez causan dificultades en la construcción de mapas a base de una sola fotografía, pero hacen posible la visión estereoscópica y sirven entonces para la determinación de alturas y diferencias en elevaciones. Un árbol, como cualquier otra cosa que tiene altura o relieve, puede servir como ejemplo para mostrar el desplazamiento causado por alturas (vea figura 3), en la suposición de que no hay balanceo y que el terreno es perfectamente plano.

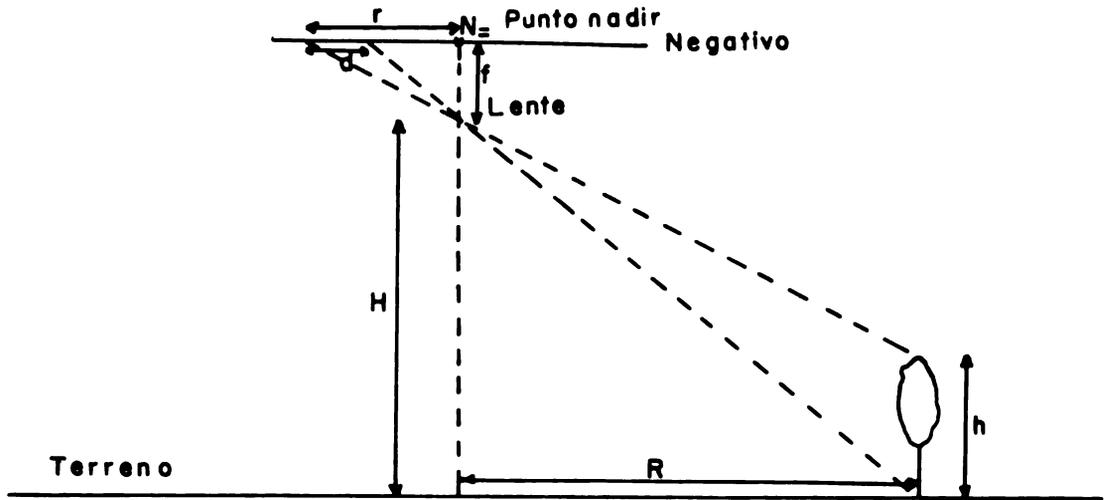


Figura 3. El desplazamiento causado por la altura del árbol.

$d$  = desplazamiento

$r$  = distancia radial en la fotografía de la imagen del punto desplazado (el ápice del árbol) hasta el punto nadir.

$R$  = igual que  $r$ , pero en el terreno

$h$  = altura del árbol

$H$  = altura de vuelo sobre la base del árbol

En la figura 3 se puede ver que el ápice del árbol está más lejos del punto nadir ( $N$ ) que la base, mientras que en el terreno ambos tienen la misma posición horizontal. Es porque el ápice del árbol está desplazado.

Este desplazamiento puede ser usado para determinar la altura del árbol. En la figura 3 se puede ver que:

$$\frac{r}{R} = \frac{f}{H - h}$$

y también:

$$\frac{r - d}{R} = \frac{f}{H}$$

eliminando ( $f.R$ ) se tiene:

$$r.(H - h) = H. (r - d)$$

o sea

$$\frac{d}{r} = \frac{h}{H}$$

(d) y (r) pueden medirse en la fotografía y deben expresarse en las mismas unidades; el valor de (H), si no se sabe, se puede determinar; luego es posible calcular la altura (h) del árbol.

Estudiando la fórmula

$$\frac{d}{r} = \frac{h}{H}$$

se puede ver que:

- 1) El desplazamiento debido a la altura varía linealmente con la altura del objeto.
- 2) El desplazamiento (d) debido a la altura varía directamente con la distancia (r) del objeto hasta el punto nadir.
- 3) Si la distancia (r) = 0, (d) no existe; entonces no hay desplazamiento debido a la altura en el punto nadir.
- 4) El desplazamiento debido a la altura es independiente del largo focal del lente.
- 5) El desplazamiento debido a la altura es radial con respecto al punto nadir; entonces los objetos que tienen la misma altura, que están a la misma elevación y que están a la misma distancia del punto nadir, sea cual sea la dirección, estarán desplazados en la misma proporción.
- 6) Los objetos en el terreno que están sobre el plano horizontal se desplazan radialmente hacia afuera del punto nadir; los objetos que están debajo de ese plano se desplazan radialmente hacia el punto nadir.
- 7) El desplazamiento debido a la altura varía en razón inversa a la altura del vuelo.

Según la altura del objeto y la distancia desde el punto nadir, el desplazamiento puede ser muy grande. Siempre es mínimo cerca del punto nadir y máximo hacia la periferia de la fotografía. Cuando se amplía una fotografía al doble, el desplazamiento también es ampliado dos veces. La razón para que no se registre como tal una línea recta sobre un terreno quebrado, en la fotografía, debe ser buscada en el desplazamiento debido al relieve, o sea a diferentes desplazamientos para diferentes elevaciones.

### 3. El desplazamiento debido al balanceo

El desplazamiento debido al balanceo, o sea cuando existe un ángulo entre el eje óptico de la cámara al momento de exposición y la vertical, generalmente es el más pequeño pero también el más difícil de calcular y de eliminar. Se puede eliminar si se conoce este ángulo, dando al eje óptico del instrumento que imprime el negativo el mismo ángulo pero con signo contrario (fotografías rectificadas).

Para mostrar el efecto del balanceo, se supone que el terreno es completamente plano, o sea que no haya desplazamiento debido a alturas (véase Figura 4). Se puede ver que el punto ( $a_1$ ) está más alejado del punto ( $i$ ) (el isocentro) que el punto ( $a_2$ ), pero el punto ( $b_1$ ) está más cercano que ( $b_2$ ):

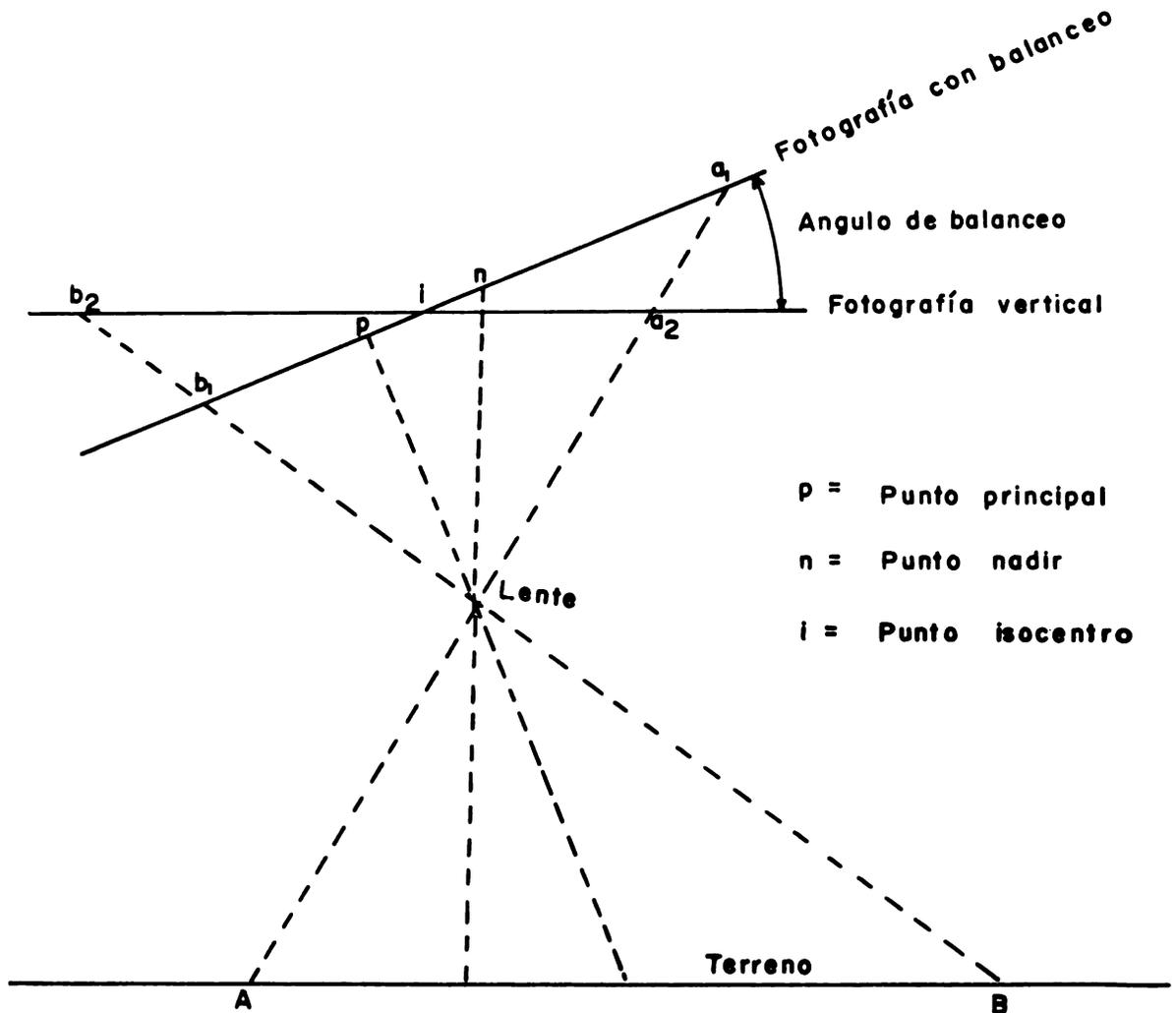


Figura 4. El desplazamiento causado por balanceo.

Entonces, mientras que las imágenes de la parte superior de las fotografías balanceadas se desplazan hacia afuera del punto isocentro, o sea se registran demasiado lejos, las de la parte inferior se registran demasiado cerca de este punto, o sea se desplazan hacia el punto isocentro. Esta es la razón por qué, para determinar las escalas, se deben tomar dos puntos más o menos de la misma altura y a la misma distancia del punto isocentro, pero de lados diametralmente opuestos (vea más adelante). Si se observan estas condiciones, los errores debidos al desplazamiento se compensan.

Matemáticamente el desplazamiento debido al balanceo varía aproximadamente con el cuadrado de la distancia entre la imagen y el punto isocentro; luego es mínimo en el isocentro. Si el balanceo es menor de 3 grados se puede pasar por alto en una área cercana al isocentro.

Ahora es necesario explicar los tres puntos que existen en una fotografía aérea; el punto principal, el punto nadir y el punto isocentro.

El punto principal es el centro óptico de la fotografía (punto p en la Figura 4). Puede señalarse en las fotografías por medio de las marcas fiduciales. La importancia del punto principal consiste en la facilidad de encontrarlo en las fotografías y porque el desplazamiento causado por el equipo fotográfico generalmente es radial desde este punto.

El punto nadir, el punto vertical o el punto perpendicular (punto a plomo). Es el punto en la fotografía donde una línea perpendicular del suelo a través del centro del lente toca la película (punto n en la Figura 4). Su sitio en la fotografía debe ser calculado. La distancia (d) entre el punto nadir y el punto principal es igual a la tangente del ángulo de balanceo (t) multiplicado por el largo focal (f) del lente de la cámara:

$$d = f. \tan t.$$

El desplazamiento debido a la altura es una función de la distancia entre el objeto desplazado y el punto nadir, lo que significa que es radial a este punto.

El punto isocentro es el punto en la fotografía que está situado en la intersección de las dos líneas siguientes:

- la línea formada por el plano de la fotografía balanceada y el plano de la fotografía si ésta hubiera sido horizontal, y
- la línea que une el punto nadir y el punto principal.

Este punto isocentro (punto (i) en la Figura 4) está ubicado más o menos a la mitad de la distancia que hay entre el punto nadir y el punto principal. El desplazamiento causado por el balanceo es radial a este punto.

Si las fotografías aéreas no son tomadas con buen equipo fotográfico, si hay balanceo, y si el terreno es montañoso, habrá 3 clases de desplazamientos radiales desde 3 puntos diferentes en la fotografía. El efecto combinado de estos 3 desplazamientos radiales produce un desplazamiento lateral de las imágenes de los objetos en las fotografías. En otras palabras, una línea radial desde el punto principal a través de la imagen de un objeto en la fotografía, pasará por un lado de la posición real del objeto. Eso es muy desagradable para la construcción de mapas, porque significa que en las fotografías las distancias radiales, entre el punto principal y las imágenes de los objetos, son erróneas, y también lo son los ángulos entre las líneas radiales que parten desde el punto principal hacia las imágenes.

En fotografías tomadas completamente verticales, los 3 puntos, o sea el punto principal, el punto nadir y el punto isocentro, coinciden. En este caso existe solamente el desplazamiento debido a la altura. Tal desplazamiento, que es radial desde el punto nadir, es en este caso también radial desde el punto principal. Esto significa que, aunque las distancias radiales entre el punto principal y las imágenes de los objetos en las fotografías no son correctas, los ángulos entre las líneas radiales desde el punto

principal hasta las imágenes si lo son. Eso da una buena base para la construcción de mapas.

Se indicó que con equipo moderno, los errores y los desplazamientos debidos al equipo fotográfico y al balanceo son muy pequeños. Además los desplazamientos son mínimos en el área del centro de la fotografía y aumentan hacia la periferia. Por lo tanto se puede suponer:

- que las fotografías aéreas tomadas con todas las precauciones necesarias y con equipo moderno, son verdaderamente verticales, por lo menos en el área central de la fotografía;
- que en esta área los 3 puntos (punto principal, punto nadir y punto isocentro) coinciden;
- que para esta área todo el desplazamiento es radial desde un solo punto, desde el punto principal.

Esto constituye la suposición de la línea radial ("radial line assumption"): que para una área del centro de la fotografía todo desplazamiento es radial desde el punto principal. Esta suposición implica que los ángulos entre las líneas radiales (líneas entre el punto principal y cualquier otro punto) salieron correctamente sobre las fotografías y sirven de base para la construcción de mapas con fotografías aéreas. También es la razón por la cual se prefiere trabajar con el área central de la fotografía aérea. En esta área son mínimos el desplazamiento debido al equipo fotográfico, al balanceo y a la altura. Esta área se demarca generalmente sobre las fotografías con 4 líneas laterales ("match lines"); dos de ellas son paralelas a los dos lados de la fotografía y pasan por la mitad de las distancias entre el punto principal y los dos puntos transferidos; las otras dos líneas son paralelas a los otros dos lados de la fotografía y pasan por la mitad de la superposición lateral (o sea la superposición entre las líneas de dos vuelos consecutivos).

### C. LA FOTOGRAMETRIA AEREA

Con la ayuda de las fotografías aéreas, la visión estereoscópica y el desplazamiento, es factible determinar muchas medidas, que pueden agruparse bajo los renglones siguientes:

1. La determinación de distancias horizontales y escalas.
  2. La determinación de superficies.
  3. La determinación de alturas.
1. La determinación de distancias horizontales y escalas.
    - a. La determinación de distancias horizontales.

En las fotografías aéreas se pueden medir fácilmente pequeñas distancias horizontales, pero para medir distancias mayores es mejor usar mapas, porque los errores debidos al desplazamiento resultarían demasiado grandes.

Para medir distancias pequeñas se usa la regla corriente; pero, si se requirerem más precisión, pueden utilizarse otros instrumentos tales como:

- el micrómetro, que da precisión pero es lento y costoso.
- instrumentos de plástico transparente: son de uso más común, y entre estos hay uno que tiene dibujada una cuña con cifras que indican la anchura respectiva. Con ésta se miden anchuras de ríos, carreteras, y otras distancias pequeñas. Otro tipo de plástico tiene dibujados un juego de círculos de diferentes diámetros (desde apenas un punto hasta 1 cm. o más de diámetro); cada círculo difiere del anterior en una cantidad constante, por ejemplo 0.1 mm. Se utilizan para medir diámetros de copas de árboles, seleccionando aquel círculo que tenga el mismo diámetro de la copa del árbol en la fotografía.

b. La determinación de escalas.

La escala (E) de una fotografía es la relación entre una distancia (d) medida en la fotografía y la misma distancia (D) medida en el terreno. Según el caso, se puede determinar la escala de dos maneras:

1) Caso en que la altura de vuelo es conocida.

Cuando la altura de vuelo (H) sobre el terreno (no sobre el nivel del mar) es conocida, así como también el largo focal (f) del lente usado, se puede calcular la escala por medio de la fórmula:

$$E = \frac{d}{D} = \frac{f}{H}$$

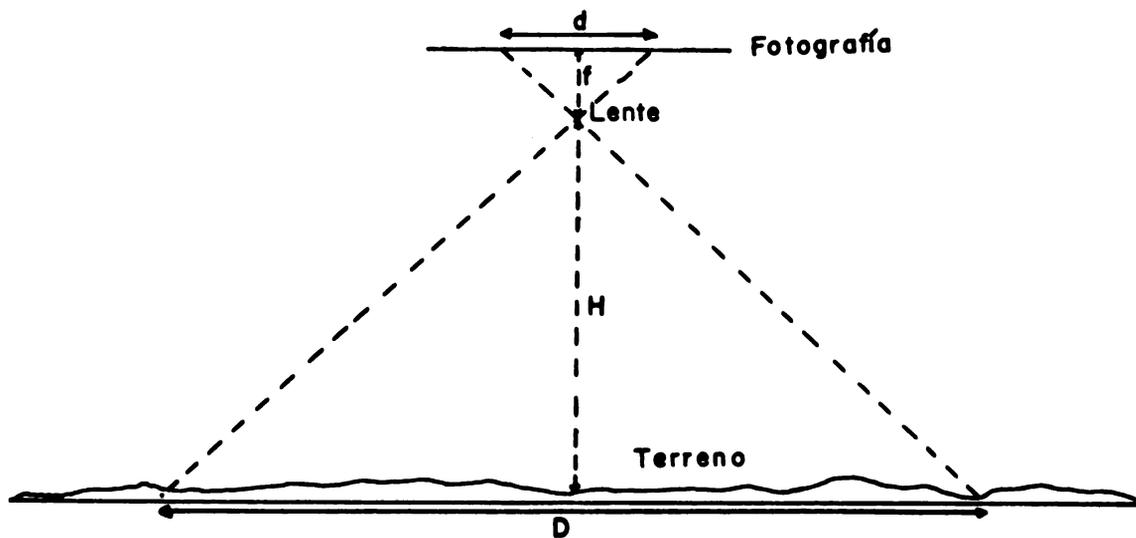


Figura 5. Posición relativa del terreno y de la cámara en el momento de tomar la fotografía.

2) Caso en que la altura de vuelo es desconocida.

Cuando la altura de vuelo sobre el terreno es desconocida, se mide una distancia (d) sobre la fotografía y la misma distancia (D) sobre un mapa de escala conocida o en el terreno. La relación  $\left(\frac{d}{D}\right)$  da la escala. Si se debe hacer esto para muchas fotografías significa mucho trabajo. En este caso es más práctico determinar la escala solamente una vez y en seguida la altura de vuelo sobre el terreno con  $E = \frac{f}{H}$  (suponiendo que (f) por lo menos es conocido). Las escalas de todas las demás fotografías se determinan después según el caso 1).

Para determinar la escala según el método 2), no se puede tomar cualquier distancia en la fotografía, sino solamente la distancia entre dos puntos que:

- tengan más o menos la misma altura sobre el nivel del mar;
- tengan más o menos la misma distancia hasta el punto principal de la fotografía, pero que estén diametralmente opuestos al punto principal.

Estas condiciones son necesarias para eliminar los errores debidos al desplazamiento.

En la fórmula:

$$E = \frac{f}{H}, \text{ se ve que la escala varía con:}$$

- a) el largo focal del lente usado.

El lente y por lo tanto el largo focal son casi siempre los mismos para todas las fotografías aéreas de un vuelo. En consecuencia, esta causa de variación de escala nunca es importante.

- b) la altura de vuelo sobre el terreno y por lo tanto con la topografía.

Si el avión vuela a alturas diferentes en una sola línea de vuelo, se pueden eliminar las variaciones de escala resultantes en las diversas fotografías, disminuyendo o aumentando la escala de las impresiones. Las fotografías obtenidas así, todas con la misma escala, reciben el nombre de fotografías compensadas ("ratioed"). Con equipo moderno, la altura de vuelo siempre es muy constante y entonces se puede descuidar esta causa de variación de escala; pero si existe, puede causar variaciones muy grandes. Aun con la misma altura de vuelo pueden existir variaciones en la escala debido a la topografía, porque los terrenos altos se registran con una escala más grande que los terrenos bajos. Esto causa variaciones de escala dentro de una misma fotografía que no se pueden eliminar, pero sí calcular. Como se puede notar fácilmente, las variaciones de escalas debidas a la topografía pueden ser muy grandes.

- c) el balanceo.

Esta tercera fuente también causa variaciones de escala, pero no se expresa en la fórmula porque ésta se ha desarrollado para fotografías realmente verticales.

El balanceo causa variaciones de escala que solamente pueden evitarse

usando fotografías rectificadas. Para comprender mejor el efecto causado por el balanceo, se debe pensar en una fotografía oblicua, que sería la exageración de una fotografía con balanceo. En las fotografías oblicuas, la escala varía mucho, desde muy grande en el frente hasta muy pequeña en el fondo. Refotografiando los negativos con un ángulo igual pero de signo contrario al ángulo de balanceo, se elimina éste, obteniéndose fotografías rectificadas. La dificultad está en hallar y calcular este ángulo. Si el balanceo no pasa de unos 3 grados, como generalmente es el caso con el equipo moderno, no existe el peligro de variaciones grandes de escala.

La escala deseada de las fotografías está determinada en general por los costos y el uso planeado. Si la escala es grande, los costos de las fotografías por unidad de superficie son altos, pero también se obtienen más detalles, los que sirven para construir mapas más exactos, identificar y calcular las alturas de los árboles. En general puede decirse que las fotografías con una escala de:

- 1:40.000 y más pequeñas se usan para hacer mapas de escala pequeña, para fines geológicos y de planeamiento de carreteras.
- 1:30.000 se usan para hacer mapas de escalas pequeña y media, para interpretación geológica.
- 1:25.000 se usan para hacer mapas de escala media y para interpretaciones geológicas, forestales y de suelos.
- 1:20.000 son muy usadas para estudios agrícolas, forestales, geológicos, de suelos y para la planificación de ciudades.
- 1:15.000 sirven para la construcción de mapas de escala media y grande y para interpretaciones detalladas de bosques, suelos, agricultura y para la planificación de ciudades.
- 1:10.000 sirven para la construcción de mapas de escala grande, para la interpretación detallada de bosques, suelos y agricultura y para la localización detallada de carreteras y de proyectos hidroeléctricos.
- 1:5.000 en general son demasiado caras para los usos forestales. Se usan para estudios especiales y muy detallados y para áreas o proyectos de mucho valor.

## 2. La determinación de superficies

La determinación de superficies sobre las fotografías aéreas o sobre los mapas construidos a base de ellas, significan un ahorro considerable de tiempo y de dinero, en comparación con los métodos terrestres. La precisión, que puede ser la misma que en trabajo de campo, depende:

- a. de la exactitud de la fotografía o del mapa.
- b. del método de la medición de la superficie.

a. La exactitud de la fotografía o del mapa.

- 1) La exactitud de la fotografía.

Con respecto a la medición de superficies sobre fotografías existen dos fuentes de errores, que pueden ser eliminadas usando mapas contruidos a base de ellas. Estas dos fuentes son:

- a) las variaciones de escala en la fotografía,
- b) las pendientes.

- a) Las variaciones de escala en la fotografía.

Las causas de variaciones de escala en las fotografías aéreas ya fueron discutidas al tratar de la determinación de distancias horizontales y de escalas. De las cuatro causas mencionadas (lente de la cámara, altura de vuelo, balanceo y topografía) en general, solamente la última causa grandes variaciones. Las tres primeras no son importantes si se usa equipo moderno; y aunque los errores en la determinación de superficies son el cuadrado de los errores de las distancias lineales, todavía así resultan generalmente insignificantes en estas tres causas de variación de escala.

Las variaciones de escala debidas a la topografía son de importancia en terrenos donde las diferencias de relieve son mayores del 3 o 4% de la altura de vuelo. En este caso, se debe aplicar uno de los tres siguientes métodos:

- i subdividir el terreno en áreas donde la escala es más o menos constante
- ii aplicar correcciones para cada altura
- iii trabajar con una altura promedio.

Las variaciones de escala debidas a la topografía y su efecto en la determinación de superficies en las fotografías, pueden demostrarse con el siguiente ejemplo: se toman fotografías de una área con una cámara con lente de 15 cm. desde una altura de vuelo de 1500 m. sobre el nivel general del terreno. La escala que resulta es de 1:10.000. La escala en una colina de 150 m. de altura resulta de 1:9.000, o sea 10% más grande. Si no se hace la corrección de esta variación de escala, se sobrestimará la superficie de la colina en un 19%.

Muchas veces para determinar las superficies de diferentes unidades no se necesita medirlas todas, sino solamente un porcentaje del área total, por medio de lotes de muestreo seleccionados al azar. Debido a las variaciones de escala que una misma fotografía puede tener, es imposible localizar los lotes de muestreo al azar sobre las fotografías aéreas según las técnicas corrientes, porque eso daría demasiados lotes en terrenos altos y pocos en terrenos bajos, introduciendo así un prejuicio o error. Hay dos técnicas simples para espaciar lotes mecánicamente en las fotografías de manera que tengan la misma distancia en el terreno y evitar así la influencia de las variaciones de la escala, pero son solamente aplicables cuando los intervalos entre las exposiciones de las fotografías son fijos, digamos si se toma una fotografía cada 2 segundos. No sirven si la cámara es operada de tal manera que la superposición sea siempre del 60%, porque en este caso se toman más fotografías volando sobre terrenos altos que volando sobre terrenos bajos.

La primera técnica procura localizar los lotes en los puntos principales o muy próximos a éstos. La localización de estos puntos está determinada solamente por el intervalo de las exposiciones y no está influenciada por las variaciones de escala. Estos puntos también están situados a distancias

iguales en el terreno. Esta técnica da solamente un lote por fotografía.

La segunda técnica consiste en localizar los lotes por medio de triangulación de líneas radiales, usando un transportador planimétrico radial ("radial planimetric plotter") o un instrumento plástico que tiene líneas radiales en forma de abanico (véase Figura 6). Se recomienda esta técnica si se requieren más lotes por fotografía.

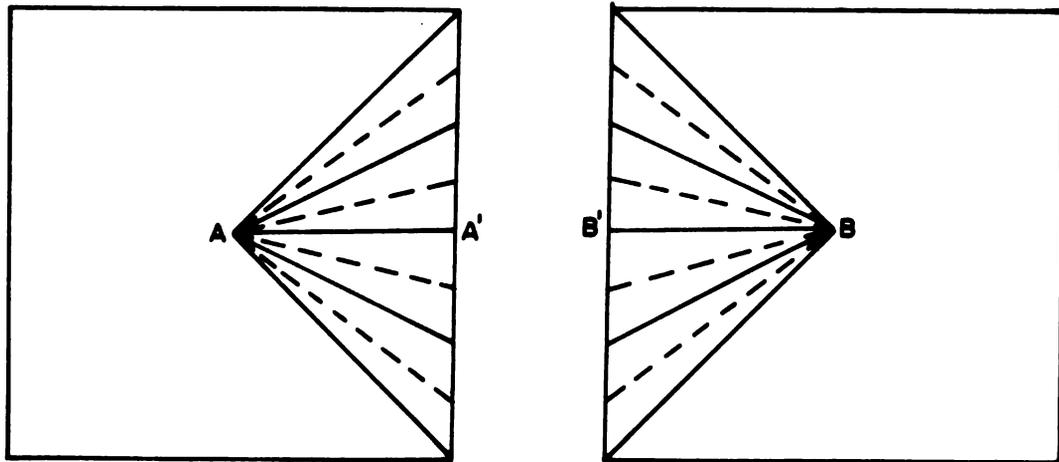


Figura 6. Implemento para localizar mecánicamente lotes de muestreo por medio de líneas radiales.

En la práctica, se ponen (A) y (B) sobre los puntos principales y (AA') y (BB') sobre las líneas de vuelo. Se mira estereoscópicamente y se localizan los puntos en las fotografías. Este método da hasta 8 puntos por cada fotografía en una línea perpendicular sobre la línea de vuelo. Si el terreno es plano los puntos estarán a distancias iguales sobre la fotografía; si no lo es, las distancias entre los puntos en la fotografía no serán iguales, pero en el terreno sí lo son.

b) Las pendientes.

En terrenos con relieve pronunciado, las pendientes causan errores más grandes en la determinación de superficies que la variación de escala. Si el área medida tiene una inclinación hacia el punto principal de la fotografía, la superficie resultaría sobrestimada; si tiene una pendiente fuera del punto principal, la superficie resultaría subestimada. Esto significa que los errores de la determinación de superficies pueden compensarse, si el porcentaje de los terrenos que tienen una inclinación hacia el punto principal de la fotografía es igual al porcentaje en la dirección opuesta. El porcentaje del error (E) en la dirección radial al punto principal es:

$$E = \frac{h_1 \cdot \tan a - h_2 \cdot \tan c}{b} \quad (\text{véase Figura 7})$$

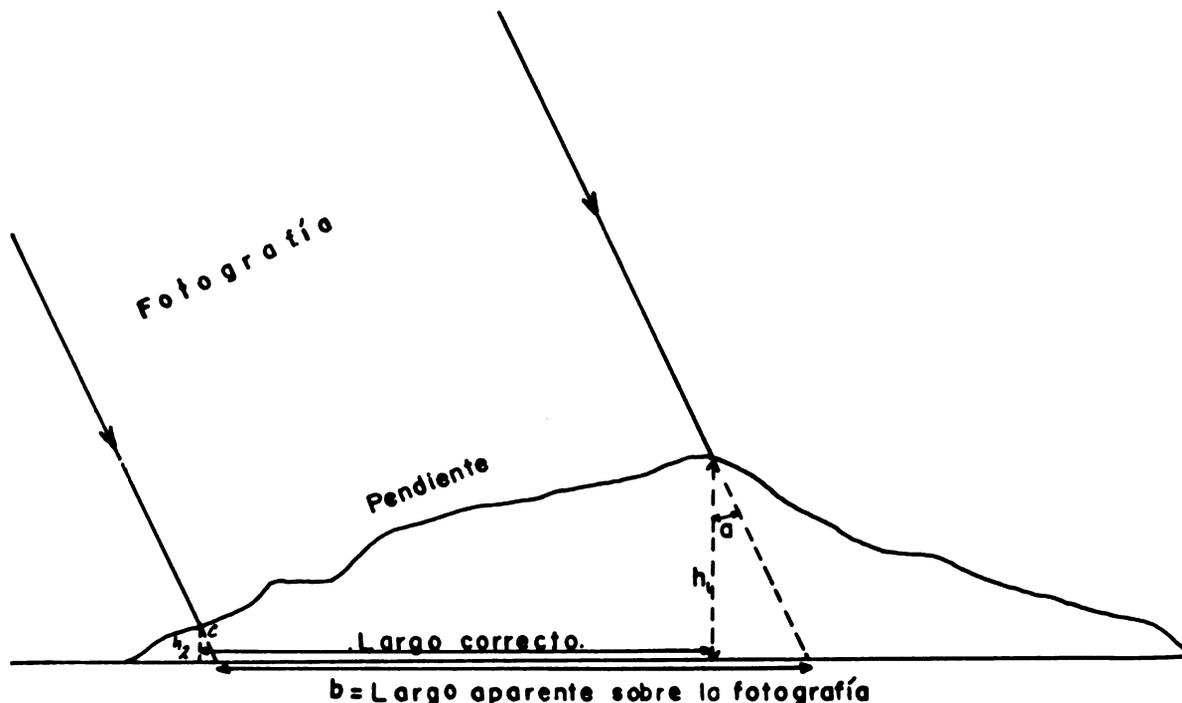


Figura 7. La influencia de la pendiente en la medición de superficies.

Cuando la altura de vuelo es constante y el lente de la cámara es el mismo, cuando no hay balanceo y el terreno es plano, no hay dificultades. En este caso se puede medir directamente el área sobre las fotografías, porque la escala es constante y no hay pendientes. Si hay mucho relieve es mejor construir mapas de las fotografías en vez de intentar medir directamente en ellas.

2) La exactitud del mapa.

La exactitud del mapa hecho a base de fotografías aéreas depende de muchos factores tales como el mapa básico, el número disponible de puntos de control, las fotografías aéreas mismas y los medios (instrumentos) con que se transfirió el detalle fotográfico al mapa básico. No hay dificultades especiales en la determinación de superficies sobre mapas.

b. El método de la medición de la superficie.

El método usado para medir la superficie sobre fotografías aéreas o sobre mapas es el segundo factor que determina la precisión en la determinación

de superficies.

Los métodos corrientemente usados para medir superficies son:

1) Por medio de planímetros, con los cuales se trazan los límites del área.

Hay varias clases de planímetros, todos fáciles de manejar, sirven para áreas pequeñas y grandes y son exactos. Sin embargo, deben usarse con cuidado porque un descuido pequeño puede causar errores grandes; también son engorrosos y toman mucho tiempo. Sirven para trabajos exactos en asuntos forestales.

2) Por medio de transecciones. Las transecciones son líneas paralelas trazadas.

sobre una lámina de plástico o de vidrio transparente. El principio está basado en el hecho de que las mediciones lineales varían lo mismo que las mediciones de superficies, por lo menos si el muestreo es al azar y suficientemente grande. Para medir se pone una serie de líneas paralelas sobre el área deseada y con una regla se mide la distancia de cada línea que pasa a través del área. La superficie se calcula después con la fórmula:

$$\frac{a}{A} = \frac{t}{T}$$

en la cual:

a = superficie del área buscada.

A = superficie total cubierta por todas las transecciones del plástico.

t = suma de las transecciones que pasan a través del área buscada.

T = suma de todas las transecciones del plástico.

El método es rápido y sirve especialmente para áreas grandes. La precisión depende del tamaño, de la forma del área y de la distancia entre las líneas paralelas, pero generalmente no es tan grande como la obtenida con el planímetro. El método se usa mucho en asuntos forestales debido a su simplicidad y rapidez.

3) Por medio de cuadrículas o mallas ("grids"). La cuadrícula, a cuadros o rectángulos, consiste simplemente de líneas trazadas sobre una lámina transparente que forman una red de cuadros o rectángulos de igual tamaño. Según el tamaño de los cuadrados o rectángulos y según la escala del mapa o de la fotografía, cada cuadrado o rectángulo representa cierta superficie. Si se pone la malla sobre el área deseada, se puede estimar el porcentaje de cada cuadrado o rectángulo que cae dentro del área. Después se pueden sumar todos los porcentajes para conocer el número total de cuadrados o de rectángulos que cubren el área buscada y así se estima la superficie real. Más fácil es añadir cada cuadrado o rectángulo al área, cuando más de la mitad del cuadrado o rectángulo caiga dentro del área; si cae exactamente la mitad dentro del área, se cuentan el cuadrado o el rectángulo alternativamente.

Una modificación es la malla de puntos ("dot grid") que consiste en una serie de puntos ubicados en el centro de los cuadrados o rectángulos. Si se eliminan los cuadrados o rectángulos, quedan una serie de puntos repartidos sistemáticamente en la lámina transparente, cada uno de los cuales representa la superficie del cuadrado o del rectángulo. Para medir áreas se cuenta solamente el número de puntos que caen dentro del área deseada y así se llega a calcular la superficie total.

Con las mallas se trabaja muy rápido y por estar el método basado sobre el principio del muestreo, la precisión depende del tamaño del área medida y del tamaño que representa el punto, el cuadrado o el rectángulo. Son mucho más rápidos y simples que los planímetros y transecciones, pero menos exactos que el planímetro. La malla de puntos es más exacta y más rápida que la malla de rectángulos o cuadrados. Este método con mallas es más popular que cualquier otro método.

Para medir densidades o espesuras de rodales o bosques ("crown densities") se puede usar una malla con los puntos muy cercanos entre sí, p.e., con 100 puntos por  $\text{cm}^2$ . Se superpone esta malla sobre el rodal y se cuenta el número de los puntos que caen sobre las copas; la relación entre este número y el número total de los puntos (o sea el número de los puntos que caen sobre las copas más el total de los demás puntos que caen sobre el suelo o en el aire) da la espesura del rodal. Más fácil y rápido es trabajar con escalas de densidades conocidas ("crown density scales"). Estos implementos contienen representaciones de varias densidades conocidas que se comparan estereoscópicamente con el rodal en la fotografía. Los implementos pueden ser negativos recortados de rodales con densidades conocidas o simplemente con un cierto número de puntos negros con cierta superficie por unidad de una área total (p.e. cuando por  $\text{cm}^2$  hay 15 puntos con superficie de  $1 \text{ mm}^2$  cada uno, esto representa una espesura del 15%). Las desventajas de estas escalas de espesura estriban en que se necesita para cada escala y cada tipo de bosque un implemento diferente y además no se pueden determinar densidades por estrato en bosques con dos o más de éstos. En los trópicos donde los bosques son muy variables en cuanto a tipo, donde generalmente tienen una densidad total de 100% y además pueden consistir de varios estratos, es por lo tanto mejor usar una malla con puntos.

4) Por medio de la determinación del peso. Se recorta el área deseada en un papel y se pesa. Es necesario que el peso del papel sea uniforme. El peso estaría en relación directa con la superficie del área. En la práctica se hace una fotocopia del mapa o de la fotografía en papel "standard", y que tenga peso conocido por unidad de superficie. Este método es más rápido que el método con planímetro; además es más simple (no necesita personas con entrenamiento) y tiene la misma exactitud. La desventaja del método es que se necesita papel especial.

5) Por medio de planímetros fotoeléctricos. En este método se reproduce el mapa o la fotografía sobre papel opaco especial. Después se recortan las áreas de las cuales se quiere saber la superficie y se mide la cantidad de luz interceptada por estos recortes. El método es más rápido que el del planímetro y tiene la misma precisión. La desventaja estriba desde luego en que se necesita equipo especial.

### 3. La determinación de alturas.

Para determinar alturas en las fotografías aéreas, hay 2 métodos diferentes:

- a. la determinación de alturas por medio del desplazamiento debido a la altura del objeto.
- b. la determinación de alturas por medio de la sombra del objeto.

- a. La determinación de alturas por medio del desplazamiento debido a la altura del objeto.

Este puede ser llevado a cabo a su vez:

- 1) en una sola fotografía,
- 2) en un par estereoscópico de fotografías.

- 1) La determinación de alturas por medio del desplazamiento debido a la altura del objeto, en una sola fotografía.

Ya se dijo que la altura del objeto causa un desplazamiento (d) sobre la fotografía que puede ser medido. Además, se puede medir la distancia radial (r) entre el punto principal (o mejor dicho el punto nadir) y el punto desplazado del objeto (o sea el punto más alto del objeto). La altura del vuelo (H) sobre la base del objeto, es un dato conocido o se puede calcular por medio de la fórmula:

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

en la cual (f) es el largo focal y (E) es la escala. Después con la fórmula:

$$\frac{d}{r} = \frac{h}{H}$$

se puede calcular la altura (h) del objeto:

$$h = \frac{H \cdot d}{r}$$

Este método tiene dos limitaciones grandes:

- a) el desplazamiento siempre es muy pequeño, especialmente si el objeto es muy bajo o está cerca del centro de la fotografía. Aun con micrómetro es imposible determinar el desplazamiento con suficiente exactitud.
- b) se puede aplicar el método solamente cuando se puede ver la cima y la base del objeto; en el caso de árboles en bosques casi nunca se puede ver la base, ni la cima está bien marcada.

Se puede decir que este método es muy inexacto y que generalmente no es aplicable.

- 2) La determinación de alturas por medio del desplazamiento debido a la altura del objeto en un par estereoscópico de fotografías.

La altura de los objetos está en realidad relacionada con los desplazamientos del mismo objeto en ambas fotografías de un par estereoscópico. Luego, si se puede medir el desplazamiento combinado de un objeto en un par estereoscópico, también se puede determinar la altura del objeto.

Para indicar el desplazamiento combinado de un objeto se usa el nombre de paralaje ("parallax"). En la fotogrametría el paralaje es expresado en términos de coordenadas rectangulares, en las cuales:

X-paralaje, es el desplazamiento paralelo a lo largo de la línea de vuelo (esta línea forma el eje X).

Y-paralaje, es el desplazamiento perpendicular a la línea de vuelo.

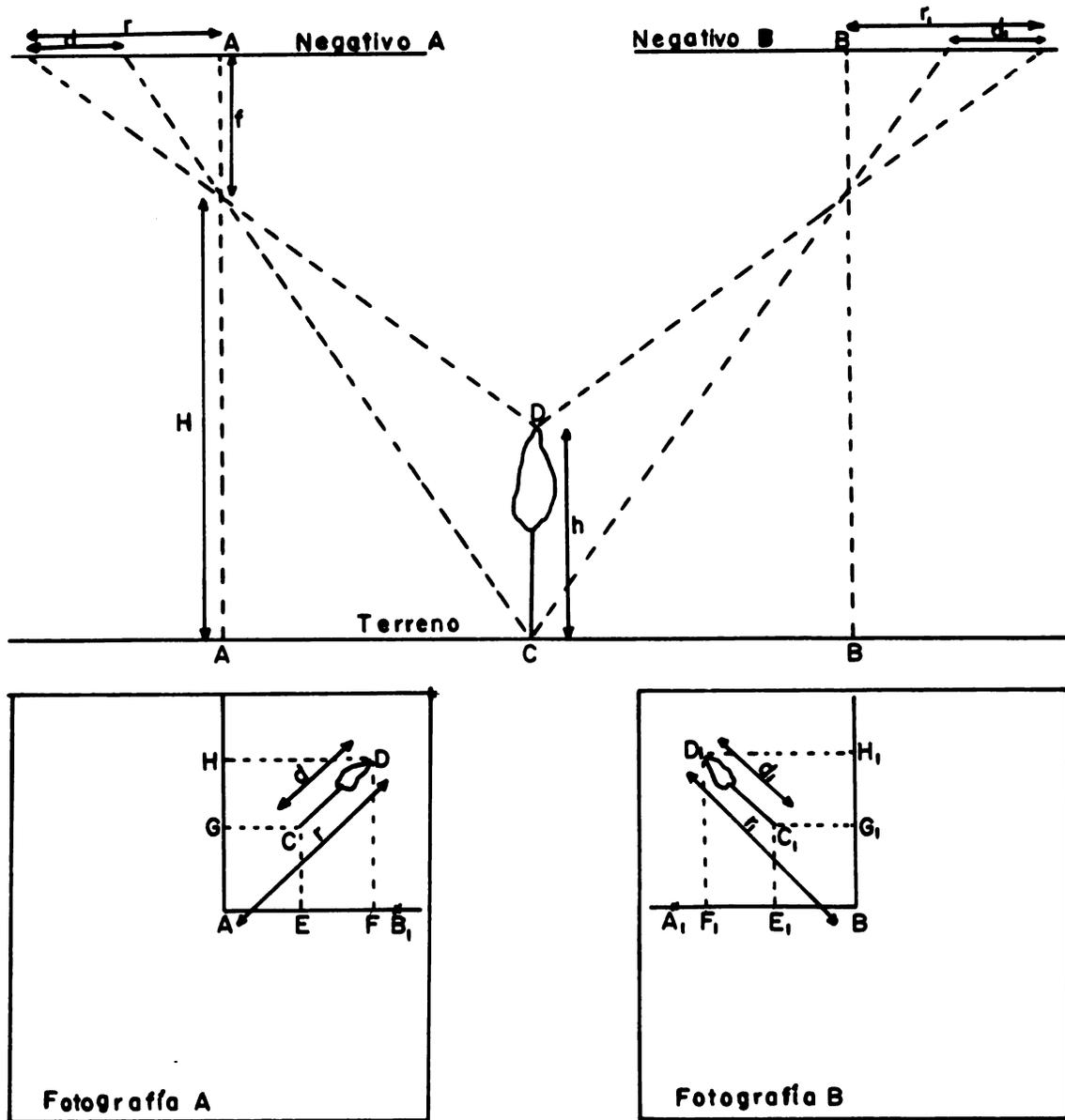


Figura 8. El desplazamiento de un árbol en un par estereoscópico.

Se distinguen los siguientes paralajes:

X-paralaje o el paralaje absoluto de un punto. Es la suma de las distancias paralelas a la línea de vuelo de las dos imágenes del punto hasta los respectivos puntos principales. En la Figura 8 el paralaje absoluto del punto (C) es  $(AE + E_1B)$ ; el paralaje absoluto de la cima del árbol es  $(AF + F_1B)$ . Sobre cierta superposición, el paralaje absoluto será el mismo para todos los puntos de la misma elevación sobre el nivel del mar, suponiendo siempre que no haya desplazamiento debido al balanceo o al equipo fotográfico. Si los dos puntos principales del par estereoscópico tienen la misma altura sobre el nivel del mar, la distancia entre el punto principal y el punto transferido, llamada longitud basal ("basal length"), será el paralaje absoluto de esta elevación.

X-paralaje o paralaje absoluto estereoscópico de un objeto. Es la diferencia algebraica de las distancias, paralelas a la línea de vuelo, de las dos imágenes del objeto hasta los respectivos puntos principales. En la Figura 8, para el árbol esto corresponde a:  $(AF + F_1B) - (AE + E_1B)$  o, lo que es el mismo,  $(AE + E_1B) - (AF + F_1B)$ . Se llama a esto también la diferencia de paralaje, indicado generalmente por (dP). La definición puede ser simplificada diciendo que la diferencia de paralaje, o el X-paralaje de un objeto, es la suma de los desplazamientos de la imagen del objeto paralelos a la línea de vuelo, o sea  $(EF + E_1F_1)$  en la Figura 8). Esta diferencia de paralaje o X-paralaje del árbol es causado por su altura. Se supone siempre que no hay balanceo o errores en el equipo fotográfico y que las fotografías han sido tomadas desde la misma altura de vuelo.

Y-paralaje de un punto. Es la diferencia entre las distancias perpendiculares de las dos imágenes de la línea de vuelo. En la Figura 8 el Y-paralaje del punto (C) será  $(CE - C_1E_1)$ . La existencia de Y-paralaje indica:

- a) balanceo en una o las dos fotografías del par estereoscópico, y/o
- b) defectos en el equipo fotográfico, que también producen desplazamientos, y/o
- c) diferencias en la altura de vuelo de las dos fotografías.

Se ve que se puede determinar la diferencia de paralaje fácilmente por medio de algunas mediciones. Para ello hay un procedimiento simplificado si las fotografías de un par estereoscópico están bien orientadas para la visión tridimensional. En vez de trabajar con líneas perpendiculares para proyectar los puntos de los objetos sobre la línea de vuelo, se pueden tomar directamente las distancias entre estos puntos. Estas distancias son paralelas a la línea de vuelo en fotografías orientadas para la visión estereoscópica. Se puede seguir este procedimiento simplificado fácilmente en la Figura 8:

Midiendo la distancia (AB) y la distancia  $(CC_1)$ , el paralaje absoluto del punto (C), o sea de la base del árbol es  $(AB - CC_1)$ .

Midiendo la distancia  $(DD_1)$ , el paralaje absoluto del punto (D) es  $(AB - DD_1)$ .

Luego, se calcula la diferencia de paralaje (dP) del árbol según:

$$dP = \left| (AB - CC_1) - (AB - DD_1) \right| = \left| DD_1 - CC_1 \right| = \left| CC_1 - DD_1 \right|$$

O sea, la última simplificación consiste en medir solamente las distancias

(DD<sub>1</sub>) y (CC<sub>1</sub>), para determinar la (dP).

Puede determinarse entonces fácilmente la (dP) con una regla exacta; pero para determinarla con más exactitud y mayor rapidez, se han construido instrumentos especiales, que además usan la visión estereoscópica. Estudiando un par estereoscópico de fotografías bajo un estereoscopio, se ve el árbol tridimensionalmente. Si se pone un punto en cada una de las dos fotografías exactamente sobre la copa del árbol, se ve en el modelo estereoscópico un solo punto que además está exactamente a la misma altura de la copa del árbol. Se mide la distancia entre los dos puntos. Lo mismo se hace para la base del árbol y se mide la distancia entre estos dos nuevos puntos. La diferencia entre las dos distancias medidas da la (dP). Más fácil será tomar dos pedazos de plástico transparente o de vidrio con un punto sobre cada uno y conectarlas de un modo movable con una regla que da inmediatamente las distancias entre los dos puntos. Eso facilita la determinación de la (dP). En este principio se basan los instrumentos con marcas flotantes: el estereómetro con puntos flotantes, círculos, cuadrados y líneas flotantes, cuña de paralaje, etc. El estereómetro con puntos flotantes, por ejemplo, tiene un punto fijo y el otro movable. Poniendo el punto fijo sobre la copa del árbol en la fotografía izquierda y poniendo el punto movable hasta que esté exactamente sobre la copa en la fotografía derecha, los dos puntos coinciden y se ve solamente un punto que parece flotar en el modelo estereoscópico y a la misma altura de la copa: es el punto flotante. Si se mueve un poco el punto movable, parece que en el modelo estereoscópico el punto flotante baja o sube, y así se puede bajarlo hasta que esté a la misma altura de la base del árbol. Si se desplaza demasiado el punto movable, los puntos fusionados se separan y se ven dos puntos, ninguno de los cuales ocupa un sitio en la imagen tridimensional.

La fórmula del paralaje, con que se pueden calcular alturas de objetos o diferencias en elevaciones a base de los desplazamientos, puede ser derivada fácilmente de la geometría de un par estereoscópico. Esta fórmula es:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

en la cual:

h = la altura del objeto o la diferencia en elevación entre dos puntos; es el dato buscado.

H = la altura de la cámara sobre la base del objeto, o sobre el punto más bajo en el caso de la determinación de la diferencia en elevación entre dos puntos. Puede ser calculado si se sabe la escala de la fotografía a la altura de la base del objeto con la fórmula:

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

Si se sabe la altura de vuelo sobre el nivel del mar (H<sub>m</sub>), puede calcularse (H), si también se conoce la altura de la base del objeto sobre el nivel del mar (h<sub>b</sub>), H se calcula según:

$$H = H_m - h_b.$$

Si no se sabe la elevación (h<sub>b</sub>) de la base del objeto sobre el nivel del mar, pero solamente la elevación (h<sub>a</sub>) de otro punto (A), se debe medir la (dP)

entre (A) y (B) y calcular la diferencia en altura ( $h_{ab}$ ) entre ellos. La elevación de la base del objeto buscada se calcula según:

$$h_b = h_a \pm h_{ab}$$

P = el paralaje absoluto de la base del objeto, o del punto más bajo.

P + dP = el paralaje absoluto del tope del objeto, o del punto más alto.

La (dP) puede ser determinada fácilmente, pero (P) solamente con alguna dificultad. Es costumbre sustituir la longitud basal por (P), que es muy fácil de medir. Esta longitud basal indica, como se demostró antes, el paralaje absoluto de la altura de los puntos principales, si las fotografías han sido tomadas sin balanceo, libre de errores del equipo fotográfico, desde la misma altura de vuelo y cuando el largo focal de la cámara fue el mismo para ambas fotografías. Tal es generalmente el caso. Esta sustitución, además, es solamente correcta si los dos puntos principales tienen la misma elevación y si la altura buscada es la altura sobre el nivel de los puntos principales, o sea, cuando la base del objeto tiene la misma elevación que los puntos principales. Esto se presenta solamente en el caso de terrenos más o menos planos.

Si los puntos principales están a elevaciones diferentes, la longitud basal de la fotografía izquierda ( $b_1$ ) es diferente a la de la fotografía derecha ( $b_2$ ). Esta diferencia, causada por el desplazamiento debido a la altura, puede ser muy grande. Promediando ( $b_1$ ) y ( $b_2$ ), se compensan las diferencias, y este promedio:

$$\frac{b_1 + b_2}{2}$$

da el paralaje absoluto para una elevación media entre las dos elevaciones de los puntos principales. Las alturas sobre esta elevación pueden ser calculadas con este paralaje absoluto.

En terrenos con relieve, los puntos principales y las bases de los objetos generalmente no están a la misma elevación; entonces no se puede sustituir el paralaje absoluto por la longitud basal, y es preciso medirlo en la fotografía o calcularlo. Medirlo es fácil, pero toma tiempo.

Una vez que se sabe el paralaje absoluto ( $P_a$ ) de un punto (A) o de una elevación, se puede calcular fácilmente el paralaje absoluto ( $P_b$ ) de cualquier otro punto (B); para ello se mide la (dP) entre los dos puntos y se suma (si el punto (B) es más alto que el punto (A)), o se resta (si el punto (B) es más bajo que el punto (A)) del paralaje absoluto del punto (A), o sea que:

$$P_b = P_a \pm dP$$

Muchas veces se toma como paralaje absoluto conocido el de los puntos principales, que es fácil de determinar como

$$\frac{b_1 + b_2}{2}$$

y se mide la (dP) entre el punto deseado y el punto principal.

En la fórmula de paralaje:  $\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$  se puede ver que:

- la (dP) varía con (P). Sacando del mismo negativo una fotografía grande y una pequeña, la distancia entre los puntos principales es mayor en la grande que en la de tamaño pequeño; entonces (P) es más grande, si la fotografía es más grande y la (dP) también.
- la (dP) depende directamente de la altura del objeto; cuanto más alto el objeto, tanto más grande la (dP).
- la (dP) es más pequeña si (H) es más grande; entonces para una escala dada, la (dP) es más grande en las fotografías tomadas con un lente de 15 cm. que en aquéllas tomadas con un lente de 30 cm., porque en el primer caso las fotografías han sido tomadas desde una altura más baja.

Esta fórmula de paralaje solamente puede ser aplicada cuando las fotografías han sido tomadas sin balanceo, sin errores de equipo fotográfico, desde la misma altura de vuelo y cuando el largo focal de la cámara siempre ha sido el mismo.

Existen varios instrumentos para medir la (dP), algunos vienen incorporados en instrumentos de construcción de mapas, pero todos están basados sobre el principio de los puntos flotantes. Para estudios forestales se usan casi exclusivamente el estereómetro o la barra de paralaje ("stereometer" o "parallax bar") y la cuña de paralaje ("parallax wedge").

El estereómetro consiste de dos pedazos de vidrio, cada uno con un punto en su mitad. Un punto es fijo, mientras que el otro es movable conectado con el anterior por medio de una barra que está calibrada en centésimos o décimos de milímetro para medir la distancia entre los dos puntos. En la práctica, las fotografías aéreas deben estar bien orientadas, los vidrios con los puntos deben estar bien pegados contra las fotografías, y la barra del estereómetro o el eje deben estar paralelos a la línea de vuelo. De esta manera el punto móvil puede ser movido solamente en forma paralela a la línea de vuelo. El instrumento es rápido y tiene muchas aplicaciones. Sirve para medir alturas separadas, y, en conexión con máquinas de dibujo, para la construcción de mapas topográficos. No puede eliminar el balanceo u otros errores. Es usado mucho para asuntos forestales.

La cuña de paralaje consta de dos líneas convergentes dibujadas sobre algún material transparente. Estas líneas pueden ser continuas o compuestas de puntos. En este último caso, cada par de puntos, que consiste de un punto en la línea izquierda y otro en la línea derecha, está espaciado por ejemplo en 0.1 mm. más que el par anterior; en cada tantos pares hay una rayita que indica la distancia entre ellos. En el caso de líneas continuas solamente hay dichas rayitas. Mirando con el estereoscopio se ve que una parte de estas dos líneas coinciden en una sola y forman una línea inclinada que penetra en el modelo estereoscópico. En el punto de esta línea que está a la misma altura de la punta del objeto, se hace la lectura de la distancia entre las dos líneas; lo mismo se hace para la base del objeto. La diferencia entre las dos lecturas da la (dP) del objeto.

Generalmente es difícil aprender el manejo de la cuña, pero ésta es mucho más barata y es tan exacta y rápida como lo es el estereómetro; sin embargo, solamente puede usarse para medir las alturas de objetos aislados y no en la construcción de mapas topográficos. En la práctica, las fotografías

deben estar bien orientadas, la cuña debe estar bien pegada contra las fotografías y las marcas correspondientes en las dos líneas deben estar bien o-  
puestas. Se usa mucho este instrumento en asuntos forestales por ser tan  
barato, simple y exacto.

Los declives pueden ser determinados por medio de la altura entre dos  
puntos, la que se puede medir o calcular, y la distancia horizontal entre  
esos dos puntos, que también puede ser obtenida de las fotografías aéreas.  
También se pueden medir los declives por medio de modelos que tengan incli-  
naciones conocidas. Se ponen estos modelos sobre las fotografías y se com-  
paran con la inclinación aparente en la imagen tridimensional de las foto-  
grafías. Un ejemplo de un instrumento con estos modelos es el de la cuña  
de paralaje para inclinaciones, que consiste de varios pares de líneas con-  
vergentes, en los que cada par representa una gradiente conocida.

Otra aplicación interesante, si se usa el principio de los puntos flo-  
tantes, consiste en averiguar cuándo se puede ver un punto (B) desde un pun-  
to (A) en el terreno. Para ello, se ve el terreno estereoscópicamente, se  
toman dos pedazos de un material transparente que tenga una línea recta so-  
bre cada uno y se ponen estas las líneas sobre las dos fotografías del par  
estereoscópico, de tal manera que conecten (A) y (B). Se mueven las líneas  
hasta que las dos imágenes se fusionen y formen una línea flotante; si no  
hay nada que obstruya la línea flotante en la fotografía, el punto (B) es  
visible desde el punto (A) en el terreno. Se puede hacer esto solamente si  
los dos puntos (A) y (B) están en un par estereoscópico.

b. La determinación de alturas por medio de la sombra del objeto.

Si se sabe el largo de la sombra del objeto y el ángulo de la luz que  
causa dicha sombra, puede calcularse la altura del objeto con la fórmula:

$$h = S \tan X = \frac{s}{E} \tan X \quad (\text{véase la Figura 9}).$$

(S) = el largo de la sombra en el terreno

(s) = el largo de la sombra en la fotografía con escala (E); puede medirse

(X) = el ángulo de la elevación del sol; debe calcularse.

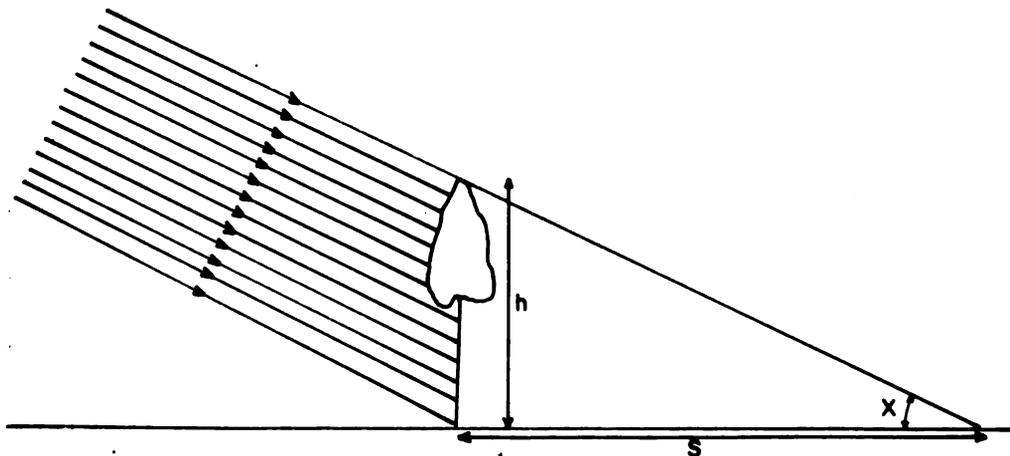


Figura 9. La sombra de un árbol causada por el sol.

Para determinar el ángulo (X) hay 3 métodos:

- 1) Por medio del punto sin sombra ("no-shadow point") o por medio del punto de reflexión solar ("solar reflection point"), con la fórmula

$$\tan X = \frac{H}{D} \text{ en la cual:}$$

H = altura de vuelo sobre el punto sin sombra o de reflexión solar: es conocida o puede ser calculada.

D = la distancia en el terreno entre el punto nadir (= punto principal) y el punto sin sombra o el punto de reflexión solar: (D) se calcula según:

$$D = \frac{d}{E},$$

en la cual (d) es la misma distancia que (D) pero en la fotografía, y (E) es la escala.

El punto de reflexión solar ("solar reflection point") es el punto, en la fotografía aérea, donde está la imagen de reflexión del sol. Ocurre solamente si los rayos del sol son reflejados en el terreno (en un lago por ejemplo) y si entran al lente de la cámara. Puede ocurrir, pues, cuando el sol está cerca del cenit, o sea al mediodía durante todo el año en los trópicos y solamente en verano en zonas templadas; también ocurre especialmente si se usan lentes con ángulos anchos. En este punto el largo de la sombra de un objeto es igual al largo de la imagen desplazada de ese objeto, pero opuesta diametralmente. Se encuentra éste punto muy raras veces en las fotografías; solamente si en este punto en la fotografía aérea hubo algo que reflejó los rayos del sol, por ejemplo el agua. Por lo tanto, este punto no es de mucho interés para este método.

Mucho más importante es el punto sin sombra ("no-shadow point"), también llamado punto de sombra ("shadow point"). En este el desplazamiento debido a la altura del objeto es igual que la longitud de la sombra y está en su misma dirección, con el resultado que la sombra no es visible. Ocurre cuando el sol, el avión y el objeto están en una sola línea. Se ve este punto en las fotografías aéreas como un espacio de color muy claro, sin mucho detalle, y donde casi no se puede distinguir nada (en inglés se llama este punto también "hotspot"); por esto no es agradable tenerlo sobre fotografías. Se evita este fenómeno volando en líneas con direcciones este-oeste o viceversa y evitando líneas que corran de norte a sur, o viceversa. Si este punto no se ve en las fotografías, su posición puede determinarse en el cruce de las líneas que conectan las imágenes y las sombras de los objetos.

En las fotografías aéreas, el punto de reflexión solar, el punto nadir y el punto sin sombra están en una sola línea. Además, el punto de reflexión solar y el punto sin sombra están a distancias iguales del punto nadir pero en lados opuestos diametralmente. Entonces, si se conoce la posición de dos de ellos, puede determinarse el tercero.

- 2) Por medio de la hora del día, la fecha en que se tomó la fotografía y la localidad del área fotografiada, usando la fórmula:

$$\sin X = (\cos a) (\cos b) (\cos c) \pm (\sin a) (\sin b)$$

en la que:

a = la declinación o la latitud del sol en el día en que se tomó la fotografía; puede ser encontrada según la fecha en tablas astronómicas,

llamadas efemérides solares ("solar ephemeris").

b = la latitud del área fotografiada; es conocida o puede ser encontrada en un mapa.

c = la diferencia en longitud entre la posición del sol en la fecha y hora de la fotografía y la longitud terrestre del área fotografiada. Estos datos deben ser calculados.

El signo en la fórmula es positivo (+) si el sol y el área fotografiada estaban al mismo lado del ecuador en la fecha de la fotografía, y negativo (-) si el sol estaba al otro lado.

Para calcular (c) se busca en un mapa la longitud terrestre del área que se fotografió. Después se calcula la longitud del sol en la fecha y la hora de la toma de la fotografía. Esto se hace de la siguiente manera:

Paso 1. se convierte la hora local de la región fotografiada, a la hora civil de Greenwich (longitud 0°), sumando o restando 4 minutos por cada grado de longitud que el área esté al oeste o este de Greenwich, respectivamente.

Paso 2. más o menos a las 12:00 de cada día el sol está sobre el meridiano de Greenwich, o sea sobre la longitud 0°. La longitud en que el sol estaba a la hora de Greenwich a la toma de la fotografía (la hora calculada en Paso 1), puede ser calculada entonces, sabiendo que el sol se "mueve" 1 grado al oeste cada 4 minutos, o sea 15 grados en 1 hora.

Paso 3. en el Paso 2 se supuso que el sol estaba a las 12:00 exactamente sobre la longitud 0°. En general no es así y se deben aplicar las correcciones que son indicadas, según la fecha, en la tabla de la ecuación del tiempo en la efemérides solares. Según el signo de esta corrección en la tabla, se suma o se resta del mediodía (las 12:00) aparente de Greenwich.

Después de estos 3 pasos, la longitud del sol a la hora de la toma de la fotografía es conocida, y se puede calcular (c). Finalmente se determina (X) con la fórmula mencionada antes.

Este método es el más usado de los tres.

3) Por medio de la dirección de la sombra y la localidad del área fotografiada, con la fórmula:

$$\text{sen } X = \frac{(\cos b) (\cos d) \sqrt{(\cos^2 a) - (\cos^2 b) (\text{sen}^2 d)} + (\text{sen } a) (\text{sen } b)}{1 - (\cos^2 b) (\text{sen}^2 d)}$$

Los símbolos (a), (b) y (X) representan lo mismo que en el método 2, y (d) es el ángulo entre la dirección de la sombra y el norte; no puede ser determinado muy exactamente, y por ello este método no es muy usado.

El método de determinar alturas por medio de la sombra del objeto, solamente se puede aplicar cuando se ve la base del objeto y la punta de la sombra. En asuntos forestales hay muchas fuentes de errores: las inclinaciones, que causan sombras demasiado largas o pequeñas; la nieve, la vegetación baja y otros obstáculos sobre el suelo, que causan sombras demasiado cortas; las copas anchas y planas, y los árboles inclinados pueden causar sombras demasiado largas o cortas.

El método de determinar alturas por medio de la sombra del objeto es de más fácil aplicación que el método que usa el desplazamiento debido a la altura en dos fotografías, pero en general es mucho más inexacto; el método que usa el desplazamiento en una sola fotografía es el más fácil pero es demasiado inexacto.

Resumido se puede concluir que para determinar alturas, el método que usa el desplazamiento debido a la altura en dos fotografías aéreas (el paralaje) es el más exacto, el más rápido y el más usado.

Los factores que afectan la exactitud para medir alturas de árboles sobre fotografías aéreas son:

- a) la nitidez. Es quizás el factor más importante. Si no se puede distinguir bien el punto exacto de la copa del árbol, el área cerca de la base o la sombra, no se puede medir bien la altura. Generalmente debido a este factor la altura del árbol resulta subestimada.
- b) la escala. Tanto más grande la escala, tanto mejor se puede ver el árbol y la sombra, tanto mejor se puede determinar la altura. En los trópicos la escala de las fotografías muchas veces es tan pequeña, que hasta es difícil distinguir entre tipos de vegetación y no se pueden ver sombras. Generalmente cuanto más pequeña la escala, tanto más se subestima la altura.
- c) la estructura del bosque. En los trópicos, el bosque casi siempre es muy cerrado y no se pueden ver las bases de los árboles, ni el suelo, ni las sombras. Bajo estas condiciones es imposible determinar la altura con exactitud.
- d) la topografía. Debido a la topografía no se puede ver parte del árbol claramente, especialmente la base; esto produce generalmente una sobrestimación de las alturas para árboles que crecen sobre partes altas, como colinas, y una subestimación en los árboles de los valles. Las sombras salen demasiado grandes o pequeñas, lo que resulta en sobre o subestimaciones de las alturas.
- e) la forma de la copa del árbol. Las copas planas y grandes causan errores grandes en sus sombras, lo que resulta en sub o sobrestimaciones de las alturas. Las alturas de árboles con copas pequeñas y agudas son subestimadas porque no se pueden distinguir las cimas de las copas sobre las fotografías.
- f) la habilidad de la persona que hace las determinaciones.

Para algunos de estos factores se pueden aplicar arbitrariamente correcciones a los resultados obtenidos. Por ejemplo, cuando se sabe que la altura de un árbol adulto de Cecropia sp. generalmente es subestimada porque la copa es tan abierta, y cuando se conoce la subestimación para varias escalas, se puede aplicar una corrección a la altura obtenida.

En casos óptimos se pueden obtener resultados en la medición de alturas con errores estándar de menos de 0.5 metros.

### III. LA CONSTRUCCION DE MAPAS

Uno de los usos más importantes de las fotografías aéreas es el de la construcción de mapas. Con la ayuda de las fotografías aéreas puede construirse cualquier tipo de mapa, ya sea planimétrico, el que muestra solamente las posiciones horizontales, o topográfico, el que muestra también elevaciones. En la construcción de estos mapas hay que seguir los tres pasos siguientes:

- A. La selección del tipo de proyección del mapa.
- B. La construcción del mapa básico.
- C. La transferencia de los detalles fotográficos al mapa básico.

En asuntos forestales, en general, solamente los últimos dos pasos son importantes. La proyección del mapa existe casi siempre, o es hecha por el servicio geodésico, geográfico o catastral del país.

#### A. LA SELECCION DEL TIPO DE PROYECCION DEL MAPA.

Una parte del mundo redondo, por ejemplo un país o una región, debe ser representada en un mapa plano dentro de un sistema de ejes o coordenadas. Esta parte debe ser proyectada según algún método sobre un plano. Los tipos de proyección más comunes son los cuatro siguientes:

1. La proyección ortográfica, en la que el área es proyectada sobre un plano que es tangente a la superficie de la tierra en el centro del área. Es muy simple pero no toma en cuenta la redondez de la tierra, entonces sirve solamente para superficies pequeñas donde el arco que forma la tierra es insignificante.

2. La proyección policónica, en la que el área es proyectada sobre diferentes conos que son tangentes a diferentes paralelos del área. Para cada paralelo hay otro cono y por lo tanto otra proyección. Esta proyección es simple y muy usada. Es exacta para cada paralelo de latitud, o sea en una dirección norte-sur. No es buena para distancias largas de este-oeste. Sirve más para países o regiones con el eje largo en la dirección norte-sur, tal como, por ejemplo, Chile.

3. La proyección "Lambert conformal", en la que el área es proyectada sobre un solo cono, determinado por dos paralelos. Los paralelos son escogidos de tal manera que las  $\frac{2}{3}$  partes del área, en la dirección norte-sur, estén situadas entre ellos,  $\frac{1}{6}$  parte al norte del primer paralelo, y  $\frac{1}{6}$  parte al sur del otro paralelo. También es muy usado. Ahora, la proyección es exacta para distancias de este-oeste, pero no es correcta para distancias grandes de norte a sur, por esto sirve para países con el eje largo de este a oeste, tal como por ejemplo Cuba o Panamá.

4. La proyección sistema "Mercator transversal", en la que el área es proyectada sobre un cilindro que es tangente a la superficie de la tierra y que tiene el eje en una dirección este-oeste. El cilindro plano sirve como mapa. El sistema es muy usado y da buenos resultados para distancias de norte a sur aunque no es exacto para distancias de este a oeste. Sirve para países con el eje grande de norte a sur.

## B. LA CONSTRUCCION DEL MAPA BASICO.

En la parte de fotogrametría se indicó que los ángulos se registran correctamente sobre las fotografías, pero no las distancias. Entonces las fotografías no pueden usarse para mapas si no existe alguna comprobación de distancias. Esta comprobación es obtenida por medio de puntos de control. Estos deben ser visibles en las fotografías aéreas; además se requiere que sean conocidas sus posiciones horizontales (y en el caso de mapas topográficos también las posiciones verticales), en el sistema de ejes o coordenadas mencionados en el paso A. Muchas veces ya existen puntos de control en el terreno pero no salen visibles en las fotografías; en este caso deben medirse en el campo los puntos que sí son visibles en las fotografías, y colocarse en la red de puntos de control ya existentes.

En general entre más puntos de control hayan, tanto mejor. Pero los costos casi siempre limitan el número disponible de dichos puntos. Por ello, si hay solamente pocos puntos de control, estos deben estar bien distribuidos en el terreno y consecuentemente en las fotografías. Los puntos de control pueden estar indicados en el sistema de coordenadas de la proyección del mapa. Después se toman puntos adicionales en las fotografías aéreas y se determinan sus posiciones en relación con los puntos de control, por medio de la triangulación aérea. Como puntos adicionales se pueden tomar básicamente cualesquiera de fácil distinción en la fotografía; sin embargo, se acostumbra seleccionarlos de una manera sistemática, tomando los siguientes 9 puntos adicionales por fotografía: el punto principal, los dos puntos principales transferidos, 3 puntos en el lado superior de la fotografía situados más o menos en la mitad de la superposición lateral y 3 puntos en la misma forma en el lado inferior de la fotografía. Estos 3 puntos en los lados superior e inferior de la fotografía se llaman puntos laterales ("wing points").

La triangulación aérea se basa en lo siguiente: si son conocidas las posiciones en el espacio de las fotografías de un par estereoscópico, puede determinarse la posición de las dos líneas que han registrado la imagen de un objeto en ambas fotografías. La posición de este objeto está determinada por la intersección de estas dos líneas.

Se distinguen dos métodos para la triangulación aérea:

1. El método de triangulación aérea tridimensional
2. El método de triangulación aérea bidimensional, también llamado triangulación por medio de las líneas radiales.

### 1. El método de triangulación aérea tridimensional.

Al usar fotografías aéreas no se puede medir directamente la posición de un objeto en el sistema de coordenadas, como es el caso en trabajos de campo, donde se determinan las posiciones midiendo los ángulos horizontales,

los verticales y las distancias. La posición del objeto debe ser calculada usando datos indirectos conocidos, como la posición de la cámara en el momento de tomar la fotografía, la orientación de la fotografía, etc. Este cálculo es un trabajo muy arduo aun con calculadoras electrónicas. Esta es la razón por la cual hasta ahora la mayoría de las triangulaciones aéreas tridimensionales se hacen por medio de instrumentos fotogramétricos de primer orden (los más exactos).

Con dichos instrumentos se utilizan las dos fotografías que forman el par estereoscópico. Por medio de los puntos de control, se orientan las dos fotografías de tal manera que sus posiciones correspondan a la orientación del negativo en la cámara al momento en que se tomó la fotografía. O sea, se reconstruye el modelo tridimensional en el instrumento en una escala reducida. Una vez orientadas así, se pueden estudiar las fotografías estereoscópicamente y transferir cualquier punto o cualquier detalle de las fotografías directamente al mapa. Después se puede remover una fotografía y poner una tercera para formar el par estereoscópico con la segunda, y así sucesivamente; este procedimiento se llama "enlace" ("bridging"). No puede repetirse este proceso ilimitadamente, porque los errores en la orientación se transfieren y se acumulan. Entonces, después de cierto número de fotografías se toma otro punto de control para reorientar o comprobar la posición de las fotografías del par estereoscópico corriente.

La desventaja del método de triangulación aérea es que se requieren instrumentos grandes, complicados y muy caros. Los resultados, sin embargo, son excelentes y muy exactos. El método se usa mucho con fines catastrales, pero es poco usado para asuntos forestales.

## 2. El método de triangulación aérea bidimensional.

Este método es simple y muy fácil de aplicar. No se requieren instrumentos caros y complicados. Los resultados son menos exactos, pero para asuntos forestales se consideran suficientes.

El método se basa en la suposición de la línea radial, discutida antes en el desplazamiento. Esta suposición dice que todos los objetos, son desplazados según una línea que pasa a través del punto principal y la posición de la imagen del objeto en las fotografías, o sea que todo desplazamiento es radial desde el punto principal. Eso solamente es verdad para fotografías realmente verticales, tomadas con equipo fotográfico bueno. Esta suposición implica que los ángulos entre las líneas radiales que parten desde el punto principal hacia las imágenes del objeto en las fotografías, son exactamente los mismos que en el terreno, o sea que los ángulos salieron correctamente sobre las fotografías aéreas. Las distancias, como se discutió antes, no se registran correctamente en las fotografías aéreas verticales, debido al desplazamiento. Sólo cuando el área es completamente plana y cuando las fotografías han sido exactamente verticales, las distancias, calculadas según su escala, son iguales a las distancias medidas en el terreno.

Entonces, si los ángulos sobre las fotografías salieron bien, la posición real de un objeto puede determinarse en las fotografías y asimismo en los mapas, mediante la intersección de las líneas radiales que parten desde los puntos principales hacia las dos imágenes del objeto (véase Figura 10).

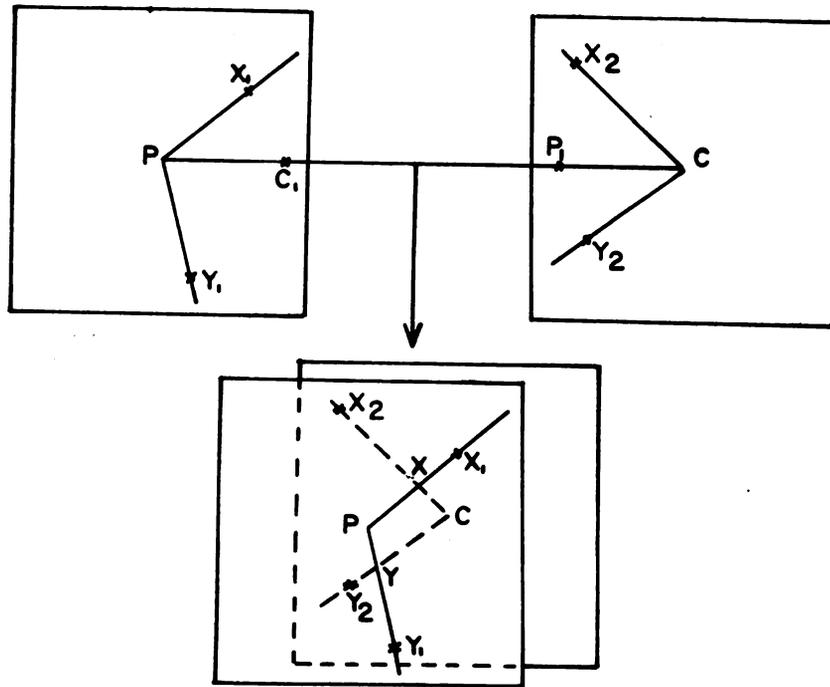


Figura 10. La triangulación por medio de líneas radiales.

Después si la escala es conocida, pueden calcularse las distancias de los puntos principales hasta los objetos. Este procedimiento de triangulación por medio de líneas radiales es aplicado no solamente a puntos en las superposiciones longitudinales, sino también a puntos en las superposiciones laterales.

Por medio de esta triangulación con líneas radiales, se pueden orientar las fotografías de varias líneas de vuelo con respecto a cada una y con respecto a los puntos de control. Hay varios métodos para aplicar este procedimiento en forma más fácil y más rápida. Se puede hacerlo gráficamente, con templetas transparentes, templetas de cartón, o con templetas mecánicas. Una vez orientados, puede determinarse e indicarse en el mapa la posición de todos los puntos adicionales. No pueden transferirse los detalles de las fotografías al mapa, como en el método de triangulación tridimensional. El procedimiento puede resumirse en los siguientes sub-pasos:

- a. Indique todos los puntos de control sobre las fotografías aéreas.
- b. Indique todos los puntos principales y transferidos sobre las fotografías aéreas.
- c. Elija los puntos laterales y transfíeralos a todas las otras fotografías donde ocurren.
- d. Prepare los templetas para cada fotografía aérea.
- e. Junte todos los templetas en una unidad.
- f. Indique los puntos de control en el sistema de ejes de la proyección del mapa.

- g. Superponga la unidad de templetos sobre la proyección del mapa, de tal manera que los puntos de control de la unidad de templetos, coincidan con los mismos puntos de control en la proyección del mapa.
- h. Indique todos los puntos adicionales (puntos principales y laterales) en la proyección del mapa.

Con esto, el mapa básico está listo. Se debe mencionar que el mapa preparado así es un mapa controlado. Si no hay puntos de control, los sub-pasos (a), (f) y (g) deben eliminarse. En vez del sub-paso (g) debe substituirse: superponga la unidad de templetos sobre un papel blanco en cualquier forma. El sub-paso (h) debe cambiarse a: indique todos los puntos adicionales en el papel blanco. El mapa básico preparado así sobre el papel blanco es no-controlado. Se supone que en este mapa no-controlado, los puntos adicionales tienen posiciones que son más o menos buenas con respecto a cada uno (aunque casi nunca es así debido a varios errores en las fotografías y en la triangulación aérea, que en este caso no son corregidos por medio de los puntos de control). Este mapa no-controlado es más o menos bueno en cuanto a distancias horizontales, superficies y escala, pero no es orientado en el sistema de coordenadas del catastro del país o de la región. Los mapas forestales a veces son construidos sin puntos de control, porque la precisión del mapa obtenido así es suficiente, y no se necesita un mapa orientado según el sistema de coordenadas como se usa en el catastro.

También vale la pena mencionar aquí los mosaicos. Un mosaico es una fotografía del ensamble de todas las fotografías aéreas que cubren una zona determinada y que son previamente recortadas a lo largo de detalles importantes como ríos, etc., y juntadas después para formar una sola y continua representación fotográfica. Si se usan las fotografías normales y así la unión está hecha sin puntos de control, se obtiene un mosaico no-controlado. Para preparar mosaicos controlados, se juntan las partes centrales de fotografías aéreas rectificadas y compensadas sobre una red de puntos de control. Los mosaicos semi-controlados usan fotografías enteras y menos puntos de control.

Un mosaico no-controlado contiene todos los errores de las fotografías aéreas. Es fácil y barato de construir y es muy usado como índice de las fotografías, pero sirve también para asuntos forestales, donde la precisión no importa (como en inventarios terrestres por ejemplo). Los mosaicos controlados contienen aun todos los errores de desplazamiento de las fotografías enteras o de las partes usadas, y por eso tampoco pueden competir con los mapas planimétricos en cuanto a precisión. Además son muy caros en su construcción y por ello son muy poco usados para asuntos forestales. Todos los mosaicos tienen la desventaja de que no pueden ser estudiados estereoscópicamente.

### C. LA TRANSFERENCIA DE LOS DETALLES FOTOGRAFICOS AL MAPA BASICO.

Una vez listo el mapa básico se puede dar el último paso en la construcción de mapas: pasar los detalles de las fotografías tales como ríos, casas, carreteras, límites de bosques, etc., al mapa básico, para obtener así el mapa final. Este mapa final puede ser del tipo planimétrico, el que muestra también posiciones verticales en forma de curvas de nivel. Se distinguen pues:

1. La construcción de mapas planimétricos, que a su vez pueden construirse:

- a. a base de una sola fotografía a la vez,
- b. a base de un par estereoscópico de fotografías a la vez, o sea usando la visión tridimensional.

2. La construcción de mapas topográficos, para los cuales siempre se usan un par estereoscópico de fotografías.

1a. La construcción de mapas planimétricos a base de una sola fotografía a la vez.

Por medio de un instrumento que tiene una sola fotografía puesta, son transferidos los detalles de la fotografía al mapa básico. Una vez listo, se remueve la fotografía y se pone la otra. Las fotografías en el instrumento son orientadas lo mejor posible según los puntos de control y/o los puntos adicionales, que fueron indicados en las fotografías y en el mapa básico.

Existen tres tipos de instrumentos que usan una sola fotografía para construir mapas planimétricos:

- 1) el Duoscopio que no es bueno,
- 2) los proyectores reflejantes,

Con los proyectores reflejantes la imagen de la fotografía es proyectada sobre el mapa básico, orientada más o menos según los puntos de control y los puntos adicionales. Los proyectores reflejantes generalmente dan buenos resultados, pero son muy grandes y costosos, y no son mejores que las cámaras lúcidas; por esto tampoco son usados mucho en asuntos forestales.

3) cámaras lúcidas

Quedan pues las cámaras lúcidas, en las cuales se pueden superponer dos imágenes por medio de un espejo semitransparente. Mirando con un solo ojo en un hueco pequeño del instrumento, se ve la fotografía y el mapa básico al mismo tiempo. Se sobrepone la imagen de la fotografía sobre el mapa básico, se orienta la fotografía según los puntos de control y los puntos adicionales, y se transfieren los detalles fotográficos al mapa. El "Sketch Master" es el más conocido de este tipo de instrumentos y es muy usado para asuntos forestales. Es fácil de manejar, muy pequeño, portátil y relativamente barato. La escala de las fotografías puede cambiarse un poco en la construcción del mapa (de 0.4 hasta 2.8 veces).

Hay dos desventajas grandes en la construcción de mapas a base de una sola fotografía. En primer lugar no se pueden distinguir todos los detalles sobre una fotografía como cuando pueden verse estereoscópicamente en dos. Entonces es necesario estudiarlos antes tridimensionalmente, bajo un estereoscopio, e indicar los detalles sobre las fotografías con tinta o con lápiz. La segunda desventaja es que una sola fotografía no es un mapa, no es una proyección vertical del terreno, debido al desplazamiento. El desplazamiento debido a la altura no puede ser eliminado pero sí localizado; además los errores del balanceo y del equipo fotográfico no son notados ni eliminados; por esto, los mapas construidos de esta manera no pueden ser muy exactos. Solamente si el terreno es plano y si no había balanceo ni errores del equipo fotográfico, el método da resultados aceptables.

1b. La construcción de mapas planimétricos a base de un par estereoscópico de fotografías a la vez.

En este método se pone un par de fotografías en el instrumento para estudiarse estereoscópicamente. En este caso no es necesario indicar primero los detalles sobre las fotografías. Además, no solamente se localiza el desplazamiento debido a la altura, sino que también puede ser eliminado. Según el instrumento y según las fotografías, se pueden construir mapas desde bastante precisos hasta muy precisos. Los instrumentos usados en este método pueden dividirse en tres grupos:

1) Los instrumentos basados en el principio de la línea radial

Se orienta un par estereoscópico de fotografías en el instrumento para ser estudiado tridimensionalmente y se instala el instrumento de tal manera que la posición de los puntos de control y los puntos adicionales de las fotografías correspondan con la posición de los mismos puntos en el mapa básico. Con la ayuda de las dos líneas radiales movibles del instrumento y por medio de su intersección se determina la posición de muchos puntos de las fotografías en el mapa. El mapa se hace dibujando los detalles de la fotografía entre dichos puntos del mapa básico. Si faltan puntos, se ponen más con el instrumento. Los instrumentos pueden ser muy simples o bastante grandes y caros como el "Radial Planimetric Plotter" y el "Radial Line Plotter". Pueden construirse mapas precisos pero el método exige mucho tiempo. Con este método, se elimina el desplazamiento debido a la altura. La escala de las fotografías puede cambiarse en la construcción del mapa. Existe dificultad con una área estrecha a lo largo de la línea de vuelo, porque en esta área las dos líneas radiales casi forman una sola línea y entonces se hace difícil determinar las posiciones de puntos por medio de intersecciones. Esta área debe ser estimada en su totalidad.

2) Los instrumentos que trabajan con las imágenes estereoscópicas superpuestas sobre el papel del mapa

Son una combinación de una cámara lúcida y un estereoscopio de espejos. El más conocido es el "Multiscope", que básicamente consiste de un estereoscopio grande con dos espejos semitransparentes en vez de espejos corrientes. Por medio del estereoscopio se pueden estudiar las fotografías tridimensionalmente y por medio de los dos espejos semitransparentes se pueden superponer las imágenes de las fotografías sobre el papel del mapa. Se inserta un par de fotografías, orientadas para la visión estereoscópica y de tal manera que la posición de los puntos de control y los puntos adicionales correspondan con la posición de los mismos en el mapa básico. Después se transfieren los detalles estereoscópicamente de la fotografía al mapa. Con este instrumento se trabaja rápidamente y la escala de las fotografías puede cambiarse en la construcción del mapa. El desplazamiento debido a la altura es eliminado casi completamente. Si se usa el instrumento con un solo espejo semitransparente y con un espejo corriente, en vez de usar dos espejos semitransparentes, se le utiliza como un "Sketchmaster" pero con visión estereoscópica. En fin, es un instrumento barato y versátil, que produce mapas bastantes precisos.

3) Los instrumentos que tienen incorporadas las marcas flotantes (estereómetros) que están conectadas con algún dispositivo de dibujo

No se usan mucho para la construcción de mapas planimétricos, pero sí

para mapas topográficos. Son muy precisos y caros y serán discutidos al tratar de los instrumentos para construir mapas topográficos.

## 2. La construcción de mapas topográficos.

Para la construcción de mapas topográficos siempre se usa un par estereoscópico de fotografías y los instrumentos usados con esta finalidad siempre trabajan a base de la visión tridimensional; llevan siempre incorporado el estereómetro para medir alturas y para seguir líneas que tienen la misma altura sobre el nivel del mar, las que se pasan al mapa por medio de un implemento de dibujo que se conecta con el estereómetro. Las fotografías en los instrumentos se orientan exactamente según los puntos de control. Para la construcción de mapas topográficos no se necesitan solamente los puntos de control horizontales (con las posiciones horizontales conocidas), sino también los puntos de control en el sentido vertical, con elevaciones conocidas. Una vez orientadas las fotografías, se pueden transferir los detalles de las fotografías estereoscópicamente al mapa básico. Orientar las dos fotografías siempre lleva mucho tiempo, pero una vez hecho esto, se puede quitar una y poner la otra sin necesidad de reorientar las fotografías por medio de puntos de control.

Los instrumentos que se utilizan en la construcción de mapas son muy precisos. El desplazamiento debido a la altura puede ser eliminado completamente, aunque para los errores de balanceo depende del instrumento usado. Se requieren muchos puntos de control horizontales y verticales. La escala de las fotografías puede cambiarse en la construcción del mapa. Es necesario tener personal bien entrenado para operar estos instrumentos complicados y muy caros. Los instrumentos pueden dividirse en:

### 1) Los instrumentos que utilizan un estereómetro

Son los más simples, relativamente los más baratos y los más usados para asuntos forestales. Llevan acoplado el estereómetro con el que pueden trazarse curvas de nivel, siguiendo, con la marca flotante sobre la fotografía, líneas que tienen la misma altura sobre el nivel del mar. Un instrumento de dibujo está conectado con el estereómetro. Los más importantes de este tipo son: el "Stereopret", el "Stereotope" y el "Stereoparagraph".

### 2) Los instrumentos del tipo proyección

Usan diapositivas en vez de fotografías. Son más exactos, más grandes y mucho más caros, pero a veces también usables para asuntos forestales. Ejemplos de este tipo son: el "Multiplex" y el "Kelsh plotter".

### 3) Los instrumentos óptico-mecánicos

Son muy precisos y muy caros. No son usados para asuntos forestales aunque tienen la ventaja de que necesitan relativamente pocos puntos de control y que trabajan rápidamente, por medio del sistema llamado "enlace" ("bridging"). Además pueden ser usadas las fotografías con escalas pequeñas, gracias a la gran precisión del aparato.

#### IV. LA INTERPRETACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

La interpretación es uno de los pasos más importantes en el trabajo con fotografías aéreas. Cada uno puede ver fácilmente las cosas generales sobre las fotografías: carreteras, ríos grandes, bosques, etc.; pero no es fácil distinguir las especies en un bosque, o seguir sobre una fotografía una quebrada pequeña debajo de un bosque. Son casos para los cuales se necesita mucha práctica, mucha paciencia, y especialmente, mucho conocimiento de las cosas que uno quiere ver o distinguir; por ello, solamente un técnico forestal puede interpretar fotografías con fines forestales, así como solamente un hombre que conoce bien de suelos, puede clasificarlos con la ayuda de las fotografías.

##### A. LOS FACTORES QUE DETERMINAN EL RECONOCIMIENTO DE UN OBJETO.

El reconocimiento de un objeto en las fotografías depende de:

1. La nitidez de las fotografías. Esto es primordial; si las fotografías no son nítidas, no se pueden ver muy bien los objetos. Sin nitidez, un objeto no se distingue bien de otros o no se logra ver claramente lo que es. Si la punta de la copa de un árbol no llega a apreciarse bien, se producirán errores en la medición de su altura.
2. La forma del objeto. Es claro que esa es la cualidad que nos sirve para diferenciar, por ejemplo, una casa de una carretera en las fotografías.
3. Las dimensiones del objeto. Son los medios que nos permiten distinguir un bosque de un pastizal.
4. La sombra del objeto. Muchos objetos son reconocidos a base de las sombras que proyectan en la fotografía.
5. La textura del objeto. Una laguna llena de agua y una área llena de hierba baja, que son del mismo tamaño, tienen el mismo color en las fotografías y son ambas planas, se distinguen entre sí a base de sus texturas diferentes. El agua sale más lisa y homogénea, la hierba tiene textura fina.
6. La localidad y asociación del objeto. Normalmente no se encuentran ni se buscan manglares sobre montañas, pero sí ciertas especies arbóreas de altura.
7. El tono del objeto en contraste con sus alrededores. Si un objeto es blanco en un alrededor predominantemente negro, sale muy claro y bien visible sobre la fotografía. Cuando el objeto tiene casi el mismo tono que sus alrededores, es muy importante, para el reconocimiento de este objeto y para la interpretación en general, cómo aparece el contraste entre los tonos sobre las fotografías.

Las dos únicas de estas siete características, que pueden ser influidas fácilmente por el hombre, son: la nitidez de la fotografía y el contraste en tonos.

## B. LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA NITIDEZ DE LA FOTOGRAFIA.

La nitidez depende de:

1. El lente y su montadura.
2. Los materiales fotográficos.
3. Las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía.
4. El movimiento de la cámara durante la exposición.

### 1. El lente y su montadura.

El lente y su montadura son cosas que pueden ser controladas completamente. Cada color de luz y cada distancia del objeto exigen su propio lente y montadura. Por lo general un solo lente es suficiente para enfocar todo el espectro visible, pero para la luz infrarroja es necesaria una montadura diferente.

### 2 y 3. Los materiales fotográficos y las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía.

Los materiales fotográficos y las condiciones de exposición, revelado e impresión de las fotografías son dos factores que influyen sobre la nitidez y el contraste en tonos; además son aspectos establecidos completamente por el hombre. Si se sacan del mismo negativo una fotografía brillante y una mate, la brillante da mucho más detalle y es más nítida. Las películas rápidas generalmente dan fotografías con grano grande, o sea con poca nitidez en comparación con las películas lentas. La sobre o subexposición dan fotografías de poca nitidez y muy poco contraste en tonos. Pero una ligera sobreexposición del negativo que luego se somete a una subexposición compensatoria del positivo, aumenta el contraste de tonos en el caso de las fotografías pancromáticas.

### 4. El movimiento de la cámara durante la exposición.

El movimiento de la cámara durante la exposición de la fotografía aérea es el factor que tal vez influye más en la nitidez. Este movimiento de la cámara es debido a los movimientos horizontales y verticales del avión (respectivamente a su velocidad y sus vibraciones). Por medio del instrumento de compensación del movimiento se puede dar a la cámara en el momento de tomar la fotografía un movimiento igual al del avión, pero en sentido contrario, y por medio del giroscopio se pueden eliminar en parte las inclinaciones de la cámara debidas a las vibraciones del avión. También se eliminan parcialmente las vibraciones del avión por medio de una instalación especial de la cámara.

## C. LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTRASTE DE TONOS DE LA FOTOGRAFIA.

El contraste de tonos depende de:

1. La cantidad y la calidad de la luz solar que llega al objeto.
2. El reflejo de la luz solar por el objeto.
3. El filtro usado y la sensibilidad de la emulsión de la película a la luz que pasa por aquél.
4. Los materiales fotográficos.
5. Las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía.

1. La cantidad y la calidad de la luz solar que llega al objeto.

La cantidad y la calidad de la luz solar que cae sobre el objeto influye mucho en el contraste de tonos. Esta cantidad y calidad dependen de la interceptación de la luz solar por la atmósfera y esta interceptación a su vez depende del ángulo de elevación del sol, de la cantidad de humedad y de otros factores atmosféricos. Si el sol se aleja del cenit, su luz recorre una porción más grande de la atmósfera, lo que disminuye su cantidad y aumenta en calidad amarilla (véase la Figura 11). La cantidad de vapor y otras partículas de la atmósfera determinan la absorción atmosférica, la cual es máxima para la luz de onda corta (azul) y mínima para la luz infrarroja (véase la Figura 11).

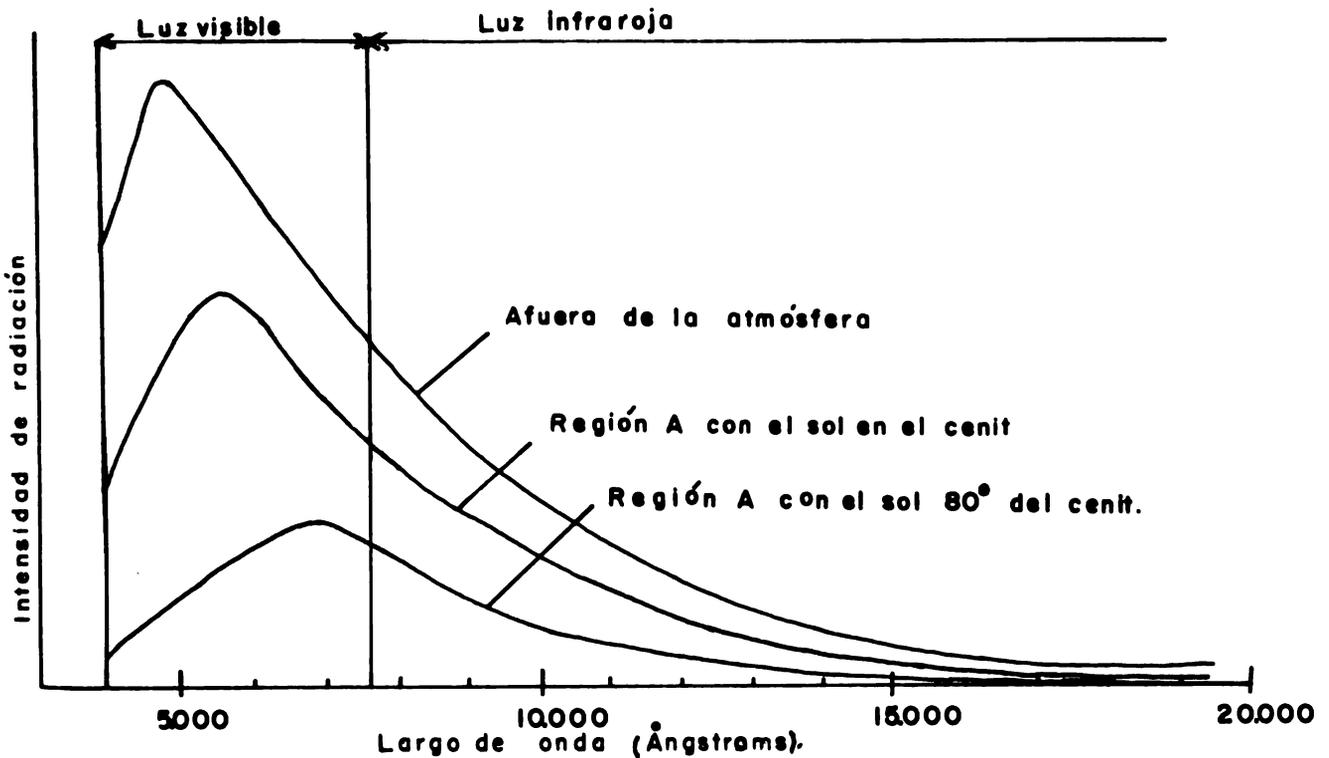


Figura 11. La interceptación atmosférica de la luz solar.

Estos factores no pueden ser cambiados por el hombre, pero se puede influir en el contraste en tonos. Esto se obtiene al volar solamente en ciertas estaciones del año, a ciertas horas del día y bajo ciertas condiciones atmosféricas, por ejemplo, después que ha llovido, cuando la atmósfera contiene poco polvo.

## 2. El reflejo de la luz solar por el objeto.

El reflejo de la luz por el objeto también afecta el tono de las fotografías. Las coníferas en general reflejan menos luz que las latifoliadas y por ello salen más oscuras en fotografías de blanco y negro (véase la Figura 12). Este reflejo de la luz por los árboles generalmente es bajo para la luz azul y roja, y alto para la luz verde-amarillo e infrarroja.

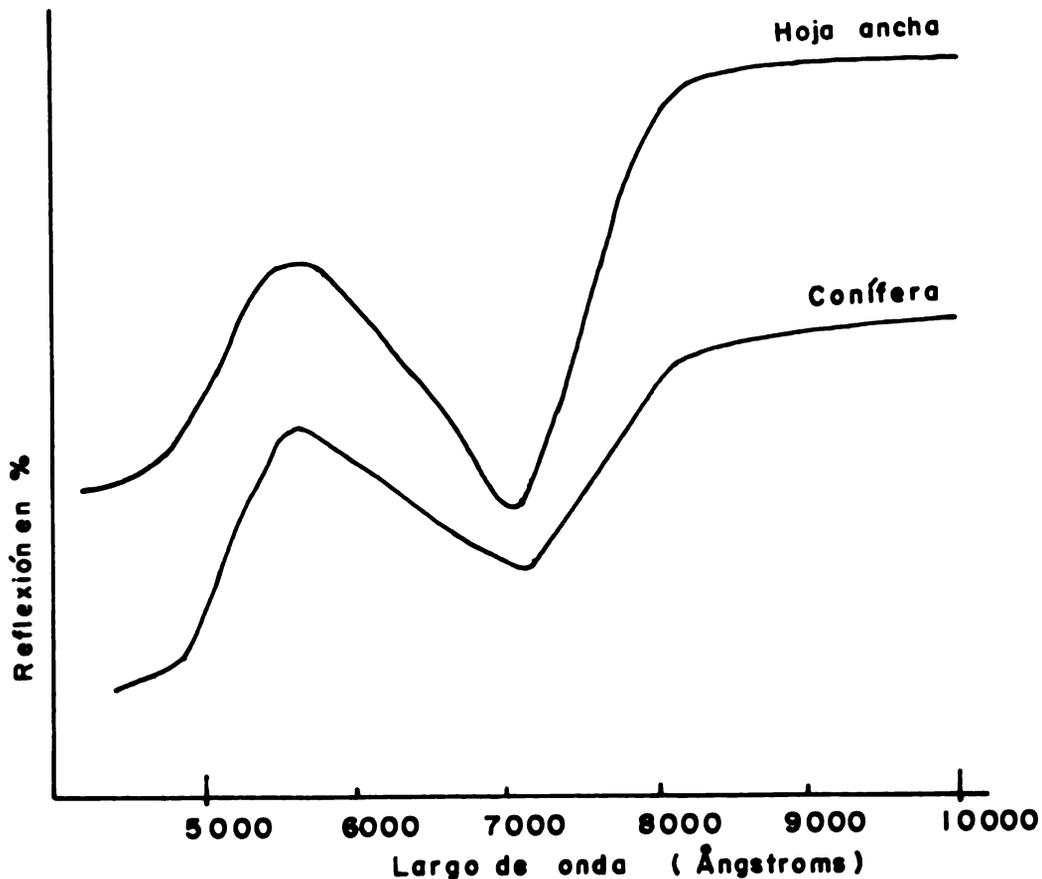


Figura 12. La reflexión de la luz por una hoja ancha y por una conífera.

En la Figura 12 se ve que esta diferencia de reflejo es máxima en la parte infrarroja del espectro. Luego, para obtener un contraste máximo de tonos entre especies, deben usarse películas sensibles a la radiación infrarroja. El uso de estas curvas espectrofotométricas está limitado por muchos factores, como la orientación relativa de la cámara y del objeto, el ángulo de incidencia del rayo de luz que alcanza al objeto, la estación del año, y las características de las hojas, todo lo cual influye en la reflexión de la luz. Resumiendo lo expuesto sobre este factor de reflexión de la luz por el objeto, puede decirse que también es posible influir en el contraste de los tonos volando a cierta hora del día y en cierta estación del año, por ejemplo, cuando las hojas de una especie estén coloradas (principio de estación seca; otoño), verdeoscuras (plena estación de lluvia; verano de calor) o verdeclaras (principio de estación de lluvia; primavera).

3. El filtro usado y la sensibilidad de la emulsión de la película a la luz que pasa por aquél.

El filtro usado y la sensibilidad de la película a la luz que pasa por el filtro, influyen mucho en el contraste de tonos, pero pueden regularse completamente. Los filtros eliminan una parte de la luz reflejada por los objetos y así acentúan la otra parte de la luz. Hay filtros para todos los colores, cada uno puede eliminar la luz del color complementario a su propio color; los filtros rojos, por ejemplo, eliminan la luz verde. Los filtros son usados para acentuar los contrastes de los tonos entre diferentes especies forestales y para reducir el efecto de la bruma.

Hay 4 tipos generales de películas: ortocromática, pancromática, infrarroja y de colores. Cada una tiene su uso especial.

La película ortocromática es sensible principalmente a los colores azules y verdes y, tomando en cuenta que la mayor parte de los detalles forestales son precisamente de color verde, se debe suponer que las fotografías tomadas con esta película darán un buen contraste entre los tonos; pero la falta de sensibilidad a la luz roja es una desventaja grande, porque significa que este color no sale en las fotografías y que la película no da una imagen normal para el ojo humano, por tal razón este tipo de película ha sido casi totalmente abandonado.

La película pancromática, sensible a todo el espectro solar visible, desde la luz azul hasta la roja, es indudablemente el tipo más usado. Registra más claramente que cualquier otra película los detalles muy pequeños, lo que es sumamente importante en el trabajo forestal. Además las imágenes registradas en ellas tienen apariencia normal para el ojo humano. El contraste entre tonos es acentuado; las coníferas generalmente salen más oscuras que las especies latifoliadas porque reflejan menos la luz visible. Se usa este tipo de película con filtro amarillo para compensar la luz azul del cielo que obscurece las imágenes, y para reducir el efecto de la neblina o de la bruma azulada.

La película infrarroja tiene una emulsión especialmente sensible a la luz infrarroja, pero también es sensible a la luz violeta, azul, verde y roja. Para evitar que esta luz violeta, azul, verde y roja, alcance a la película, se usa un filtro rojo oscuro, casi negro; así solamente la luz infrarroja alcanza la película y las fotografías obtenidas así se llaman fotografías infrarrojas reales ("true infrared photos"). Muchas veces se usa solamente un filtro amarillo claro, llamado menos azul ("minus blue"); en

este caso parte de la luz azul, verde y roja alcanza la película y las fotografías obtenidas se llaman fotografías infrarrojas modificadas.

La clorofila, principal sustancia del follaje, absorbe perfectamente todos los colores del espectro solar menos el rojo y el infrarrojo que son reflejados. Esto significa que el follaje generalmente sale en tonos ligeros y blancos sobre películas infrarrojas. Las coníferas, que en general reflejan menos luz infrarroja que las latifoliadas, salen entonces oscuras. Las sombras se registran sobre las fotografías infrarrojas en forma negra total, y por lo tanto son acentuadas. Esto puede ayudar mucho en la interpretación de fotografías y en el reconocimiento de especies, pero también significa que no pueden verse los detalles de objetos que estén en la sombra. Esto es especialmente molesto en terrenos con muchas inclinaciones, cuando éstas están en la sombra. El agua absorbe mucha luz infrarroja, o sea que refleja poco. Eso significa que los lagos, ríos, etc., se registran en colores negros totales, lo que está muy bien para delimitar costas y ríos. Las sombras de nubes son confundidas a veces con lagos. El hecho que el agua absorbe la luz infrarroja significa que mientras más húmedo es un objeto, más oscuro se registra en la fotografía. Eso tiene valor para evaluaciones del contenido de la humedad. Finalmente la radiación infrarroja puede penetrar mejor que la luz visible en la bruma y la niebla y, por lo tanto, cabe recomendar películas sensibles a esta radiación para regiones donde la bruma muchas veces impide la toma de fotografías corrientes, caso por demás frecuente en muchas zonas tropicales. Resumiendo, puede decirse que las fotografías infrarrojas registran los objetos de una manera bastante diferente de lo que es normal para el ojo humano.

Las películas infrarrojas producen más diferencias en tonos y más contrastes que las películas pancromáticas, pero se pierden detalles. Las películas pancromáticas reproducen mejor los detalles pequeños y son más nítidas. Para distinguir entre especies, las películas infrarrojas son magníficas, pero para contar copas por ejemplo, las fotografías pancromáticas son definitivamente superiores. Las fotografías infrarrojas modificadas representan un compromiso entre estos dos tipos, porque tienen características intermedias entre las fotografías pancromáticas e infrarrojas: mantienen las variaciones en tonos que ocurren normalmente en las fotografías infrarrojas:

Las películas de colores son muy costosas pero tienen posibilidades enormes. Hasta ahora los problemas principales, fuera del costo, se concentran sobre la nitidez, que es bastante pobre; sobre la bruma y cielo azul que causan fotografías demasiado azules y muy poco nítidas; y sobre la exposición apropiada.

4 y 5. Los materiales fotográficos y las condiciones de exposición, revelado e impresión de la fotografía.

Estos factores ya se discutieron antes (vea los factores que influyen en la nitidez de la fotografía). Falta discutir la estación climática del año como una de las condiciones de exposición. Ya se ha mencionado algunas veces la importancia de la estación del año en la toma de fotografías aéreas. Es imposible recomendar películas y filtros sin tomar en cuenta la estación, si los árboles están en flor, con o sin hojas, el color de las hojas, etc.

--- El invierno en las zonas templadas es en muchos aspectos comparable con la estación seca de muchas zonas tropicales; toda o parte de la vegetación está sin hojas. Eso puede servir para distinguir entre especies con hojas o sin ellas (coníferas versus especies latifoliadas). También se prefieren fotografías durante este tiempo para la construcción de mapas catastrales y para fines geológicos y de suelos. Una desventaja de esta estación es que, especialmente en fotografías de escala pequeña, es casi imposible ver la vegetación sin hojas o distinguir detalles en ellas. En los trópicos esta estación, en general, no es desfavorable para tomar fotografías. Generalmente son preferidas las películas pancromáticas.

--- El verano en las zonas templadas es en muchos aspectos comparable con la plena estación lluviosa de muchas zonas tropicales; el follaje de la vegetación está en condiciones de colores normales. En las zonas templadas esta estación generalmente es favorable para tomar fotografías, pero en los trópicos generalmente es desfavorable. Se obtiene el máximo de información en cuanto a la vegetación. Pueden usarse todos los tipos de películas.

--- La primavera y el otoño en las zonas templadas son en muchos aspectos comparables con los fines y principios de la estación seca y de la estación lluviosa de los trópicos; muchas veces hay un período con hojas coloradas o árboles en flor, lo que es excelente para distinguir las especies. En las zonas templadas generalmente estas estaciones son malas para tomar fotografías, pero en los trópicos son favorables. Lo difícil es tomar las fotografías exactamente en el tiempo en que ciertos árboles florecen o tienen follaje colorado porque este tiempo no dura más que algunos días. Otra dificultad es que durante este tiempo la misma especie puede variar en color, de verde normal hasta cualquier otro color, especialmente en terrenos con muchas variaciones en alturas. Son preferidas las películas pancromáticas.

#### D. EL EQUIPO PARA LA INTERPRETACION.

El equipo que se usa para la interpretación consiste de un estereoscopio, fotografías aéreas, lápices, lápices de cera o plumas. Hay casi una ciencia aparte que estudia cuales lápices o cuales tintas deben usarse según los fines, las temperaturas y las superficies de fotografías, y cuales líquidos deben ser usados para borrar. Otra ayuda para interpretaciones son los estereogramas, que consisten de pares estereoscópicos de fotografías aéreas, con objetos conocidos indicados y descritos en un papel que acompaña a las fotografías. Los objetos pueden ser rodales, especies, formaciones geológicas, etc., y la descripción puede indicar altura, densidad, volumen, y cualquier dato que se ha sacado de la interpretación o del trabajo de campo. Los estereogramas no son solamente útiles para la interpretación, sino que también ayudan en la medición de alturas. Con una cantidad de estereogramas, clasificados según algún método, se puede construir una clave que puede servir como referencia en las interpretaciones y clasificaciones. También se usan los estereogramas para entrenar al personal.

#### E. LOS PUNTOS IMPORTANTES EN LA INTERPRETACION.

Finalmente en la interpretación de fotografías aéreas, hay 3 puntos importantes que deben tomarse en cuenta:

1. Es mejor interpretar solamente una cosa a la vez, por ejemplo en el siguiente orden:

características de transporte  
" drenaje  
" topografía  
" vegetación natural  
" agricultura  
" ganadería  
" ciudades

etc.

2. La interpretación debe comenzar con cosas generales y grandes, y terminar con las cosas específicas y los detalles.
3. La interpretación debe comenzar con las cosas conocidas y terminar con las cosas desconocidas. De esta manera, la interpretación resulta un trabajo sistemático, como debe ser.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## V. LOS USOS DE LAS FOTOGRAFÍAS AERIAS EN ASUNTOS FORESTALES

Con fines forestales pueden usarse fotografías aéreas en:

- A. La construcción de mapas
- B. Los inventarios
- C. El manejo de bosques

### A. La construcción de mapas

Con las fotografías aéreas pueden construirse varias clases de mapas con fines forestales:

- mapas planimétricos
- mapas topográficos
- mapas forestales
- mapas de suelos
- mapas geológicos
- mapas de uso actual y potencial de la tierra.

Estos mapas pueden construirse con más rapidez que antes, cuando se trabajaba en el terreno, y con una exactitud igual o mayor. Los tipos de bosques, asociaciones vegetales, etc., pueden indicarse ahora en un mapa básico en forma muy rápida y exacta.

### B. Los inventarios

El uso de fotografías para inventarios es relativamente nuevo, y aunque todavía subsisten muchas dificultades y limitaciones, ya constituye una actividad muy importante en muchos servicios o empresas forestales.

En el aspecto de inventarios pueden usarse fotografías para:

1. La medición de superficies boscosas
2. La medición de alturas de árboles y de rodales
3. La medición de diámetros de copas
4. La medición de la densidad o espesura de un bosque ("crown closure", "crown density")
5. La enumeración de las copas y la determinación del número de árboles por unidad de superficie
6. La determinación de volúmenes por unidad de superficie.

Para determinar el volumen por unidad de superficie hay dos posibilidades:

- a. La primera posibilidad consiste en tomar el rodal homogéneo como base. En este caso se trata de correlacionar el volumen del rodal con su altura promedio como una variable, y el diámetro promedio de las copas, o la densidad del rodal como la otra variable. En los trópicos los bosques casi siempre tienen una densidad de 100% y los árboles de un rodal no tienen una altura uniforme, sino que tienen muchas veces 2 o más estratos. En este caso puede correlacionarse el volumen por unidad de superficie de cada estrato

con su respectiva altura promedio y su densidad. En los casos en que no se puede distinguir en las fotografías más que el estrato superior, se busca la relación entre el volumen del estrato superior con su altura promedio y su densidad. Después se averigua la relación entre el volumen del estrato superior y el volumen total del rodal.

b. La segunda posibilidad consiste en tomar el árbol mismo como base. Se trata de correlacionar el volumen del árbol con el diámetro de la copa (en vez de tomar el diámetro a la altura del pecho, que no puede medirse en fotografías aéreas) y su altura total. Así se construye una tabla de volumen aéreo. Con la ayuda de ésta puede determinarse el volumen de árbol en árbol y así el volumen por unidad de superficie. También puede calcularse dicho volumen por unidad de superficie buscando en la fotografía el árbol promedio, determinando su volumen con la tabla de volumen aéreo y multiplicando este valor por el número de árboles por unidad de superficie. Aquí también puede presentarse el caso de que solamente puede determinarse el volumen del estrato superior; la solución se encuentra otra vez buscando la relación entre el volumen del estrato superior y el volumen total. Resumiendo, puede decirse que hay varios caminos para determinar volúmenes a base de fotografías aéreas y que los resultados de las investigaciones hasta ahora parecen prometedores, aunque los errores a veces son muy grandes. Para muchas regiones, sin embargo, donde no hay dinero para inventarios terrestres, ni aun para los inventarios más simples, los resultados que se obtienen con fotografías aéreas son más que suficientes.

7. La medición de variables que pueden dar una idea acerca de aquellos aspectos que no pueden medirse sobre las fotografías, como son, por ejemplo, el crecimiento, la forma de los árboles, la ramificación, la altura comercial, la clase de sitio y la regeneración. La clase de sitio, por ejemplo, puede relacionarse con la posición topográfica (cima de colina, pendiente superior, pendiente baja, valle, etc.) y con la condición general de la vegetación; hasta pueden tomarse en cuenta los resultados de la interpretación de las fotografías para fines de suelo. Pero en general puede decirse que las mediciones en el terreno siempre serán necesarias y que estas variables indirectas no dan más que una aproximación.

8. La identificación de formaciones, asociaciones y tipos forestales o ecológicos, grupos de especies y especies individuales.

9. La relación con los inventarios terrestres. Bajo el punto 7 se anotó que no pueden medirse algunos aspectos importantes sobre las fotografías aéreas, como por ejemplo el crecimiento; otras, como por ejemplo el volumen, el que sólo puede medirse con grandes errores. Entonces hay que reconocer que el trabajo terrestre siempre será necesario. Es muy raro que se usen fotografías aéreas sin trabajo terrestre. Pero este trabajo terrestre es caro y debe ser reducido al mínimo, lo que se obtiene por medio de fotografías aéreas. Puede decirse que el inventario más eficiente es aquél en el cual la interpretación y el inventario a base de fotografías aéreas son combinados con el trabajo de campo. En los inventarios integrados se usan las fotografías para dividir y clasificar el bosque heterogéneo en rodales homogéneos, para determinar las superficies de los rodales clasificados, para determinar el número y la distribución de los lotes de muestreo que se deben medir en el campo, para localizarlos en el terreno y para coleccionar todos aquellos datos que se necesiten y que pueden medirse o estimarse en las fotografías. El inventario terrestre se limita a comprobar la precisión de los datos obtenidos de las fotografías aéreas, y a dar información sobre

datos que no podían obtenerse de las mismas, como por ejemplo, el crecimiento, calidad de la madera, etc.

El paso más importante es la división del bosque heterogéneo en rodales homogéneos. Eso permite que se pueda hacer el inventario terrestre con menos lotes de muestreo y con mayor exactitud que en el caso de un inventario en el bosque heterogéneo en su totalidad. Las 4 variables más usadas para dividir el bosque heterogéneo en rodales homogéneos son:

- a. tipo de bosque o especies
- b. altura de los árboles
- c. espesura o densidad del bosque
- d. clase de sitio (según la situación topográfica)

Puede añadirse el diámetro de la copa, pero generalmente se lo usa en estimaciones de volumen.

Construir una clave de clasificación es muy simple. Tómese por ejemplo un bosque en una región montañosa con dos especies solamente: Cordia alliodora y Tabebuia pentaphylla. Estas dos especies ocurren en rodales puros y mezclados, en rodales de una o de dos edades y en rodales de todas clases de espesura. En las fotografías se divide el bosque según:

a. Las especies. Un rodal puro de Cordia alliodora es representado por C; igualmente un rodal puro de Tabebuia pentaphylla es representado por T. Las mezclas, en que una especie está representada en más del 20% se indica por una combinación de estas dos letras de la siguiente manera:

- C = cuando el 80-100% de la masa total es Cordia alliodora  
Ct = cuando 60-79% de la masa total es Cordia alliodora y el resto es Tabebuia pentaphylla  
cT = cuando el 20-39% de la masa total es Cordia alliodora y lo demás es Tabebuia pentaphylla.

b. Según la altura, en clases de altura de, por ejemplo, 10 metros:

- clase 1 = repoblado y arbolado no más de 10 m. de altura  
clase 2 = arbolado con alturas entre 11 y 20 m.  
clase 3 = arbolado con alturas entre 21 y 30 m.  
clase 4 = arbolado con alturas entre 31 y 40 m.  
etc.

c. según la espesura o densidad:

- clase I = espesura muy aclarada (0-20%)  
clase II = espesura aclarada (20-40%)  
clase III = espesura media (40-60%)  
clase IV = espesura semicerrada (60-80%)  
clase V = espesura cerrada (80-100%)

d. según la clase del sitio:

- clase de sitio S = cima de colinas (sitio seco)  
clase de sitio Ja = inclinaciones altas (sitio bastante seco)  
clase de sitio Jb = inclinaciones bajas (sitio bastante húmedo)  
clase de sitio P = áreas en los valles (sitio húmedo)

Según esta clave de clasificación, C<sub>3</sub>t<sub>2</sub>IIIP significa: el rodal consiste de 60-79% de Cordia alliodora con una altura de 21-30 m., creciendo con Tabebuia pentaphylla de altura 11-20 m.; el rodal tiene una espesura de 40-60% y está creciendo sobre un sitio húmedo.

Según las circunstancias es posible hacer un menor o mayor número de clasificaciones usando menos o más variables. También podrían añadirse datos del trabajo del campo.

### C. El manejo de bosques

En el manejo de bosques es donde las fotografías aéreas pueden alcanzar su uso más importante. Las fotografías aéreas dan una imagen más exacta del bosque que cualquier mapa o persona. Así proporcionan un archivo de información, por lo cual se ahorran muchos viajes al bosque y dentro de él.

Los diferentes usos posibles pueden resumirse bajo los siguientes puntos:

1. Uso de las fotografías como memorias forestales. Las fotografías contienen una información que no puede reducirse fácilmente en forma de mapas o en palabras y, sin embargo, son fáciles de archivar. Así servirían para contestar muchas preguntas sobre el pasado y la situación actual del bosque: ¿Cómo está la situación del bosque ahora en tal o cual sitio? ¿Cómo fue en el pasado? ¿Qué es lo que el personal forestal tiene que hacer y dónde? (Al indicar al encargado dónde, las explicaciones y los mapas no son necesarios; se evita así cualquier confusión).
2. Uso de las fotografías en reconocimientos de plagas y enfermedades. En los sitios donde el bosque es atacado por insectos o enfermedades, en general no hay hojas, o hay hojas con descoloraciones. Tales diferencias con los rodales sanos son visibles en las fotografías. En el caso de una epidemia, los entomólogos y patólogos pueden averiguar si los ataques están extendiéndose, dónde hay terrenos potencialmente en peligro y dónde se deben empezar el combate y concentrar las medidas de control, etc.
3. Uso de las fotografías en reconocimientos de silvicultura. Pueden usarse las fotografías para indicar la historia del bosque, para estudiar las plantaciones, para examinar si los árboles están en flor o si tienen semillas, para reconocimientos de la regeneración, para ver donde han habido explotaciones, fuego, u otros daños en el pasado, etc.
4. Uso de las fotografías en la administración de compra y venta de madera y de bosques. Por ejemplo, si se quiere vender o comprar cierta parte del bosque no es necesario que el dasónomo vaya al bosque para verlo; una mirada a las fotografías le dice de qué tipo de rodal se trata y dónde está. También, al tratar con mucha gente, es fácil referirse a las fotografías en discusiones sobre el precio.
5. Uso de las fotografías en la localización de caminos. Pueden determinarse todos los trayectos posibles. Son estimadas las pendientes y, cuando es necesario, son medidas sobre las fotografías. También se estiman y se evalúan las condiciones geológicas y pedológicas. Después se estudian los cursos de agua y las condiciones de humedad del suelo. Los dos o tres trayectos mejores pueden ser indicados también sobre tierras que no son de la misma propiedad. Finalmente en la discusión con todos los interesados,

se selecciona el trayecto definitivo, según las sumas que la gente esté dispuesta a pagar para que el camino atravesase sus terrenos y según los factores técnicos.

Las carreteras grandes justifican frecuentemente no sólo el uso de fotografías a escala pequeña (1:20.000 hasta 1:60.000), que muchas veces ya existen y con las cuales se determinan los trayectos posibles, sino también el uso de fotografías de escala muy grande (1:5.000) de los dos o tres trayectos más favorecidos. Con esas últimas fotografías puede calcularse hasta la cantidad de suelo que debe ser removida o colocada en ciertas partes del trayecto.

6. Uso de las fotografías para el inventario de productos forestales, como trozas o madera para pulpa y papel. En Canadá, por ejemplo, donde mucha madera es transportada y guardada en el agua, puede distinguirse fácilmente en el agua y medir o estimar su volumen. Muchas veces se usan para este fin, fotografías tomadas desde puntos altos en los alrededores.
7. Uso de las fotografías para planear recreación, para localizar áreas potenciales de recreo (como lagunas, ríos, sitios de campamento y montañas para trepar) y para planear el desarrollo de esas áreas.
8. Uso de las fotografías para reconocimientos catastrales, para localizar límites de propiedades y para relocalizar límites perdidos.
9. Uso de las fotografías en la protección de bosques contra el fuego, para proyectar su control en las actividades del combate de fuegos y en la evaluación del daño causado. En algunas regiones es costumbre, si hay un fuego grande, sacar una fotografía aérea, digamos desde un helicóptero, revelarla dentro del mismo por un proceso automático y muy rápido, y darla (a veces en paracaídas) a la gente que combate el fuego, todo eso dentro de unos 30 minutos.
10. Uso de las fotografías en el manejo de la vida silvestre y del pastoreo en el bosque; para hacer un reconocimiento de los pastos presentes y para evaluar las condiciones actuales para la vida silvestre y el ganado; la situación de ríos, lagos y las fuentes de forraje; también para planear actividades y para cambiar estas condiciones.

Hay numerosos usos más para las fotografías aéreas. Desde luego podrían enumerarse muchos más en campos ajenos a la dasonomía. Con el adelanto en la fotogrametría, la fotointerpretación y especialmente en la calidad de las fotografías, gracias a películas mejores, equipo fotográfico más exacto y aviones más estables, pueden vislumbrarse muchos usos más en el futuro.

EJERCICIO 1.

LA VISION ESTEREOSCOPICA

Materiales necesarios

Estereoscopio de bolsillo con su tenedor y unas ilustraciones o fotografías estereoscópicas, que quepan en el tenedor. Impresiones tridimensionales de tipo anaglifo o vectógrafo con los anteojos correspondientes.

Instrucciones

1. Ponga el estereoscopio en su tenedor.
2. Inserte la ilustración o la fotografía estereoscópica en el tenedor.
3. Vea si puede obtener una imagen tridimensional. Cuál objeto es el más alto, cuál el más bajo? Estime la altura desconocida de un objeto (A), en comparación con la altura más o menos conocida de otro objeto (B), como por ejemplo una casa de un solo piso (altura entre 5 y 10 metros).
4. Tome los anaglifos o los vectógrafos y póngase los anteojos con los vidrios colorados o polarizados.
5. Vea si puede obtener una imagen tridimensional. Repita la instrucción N<sup>o</sup> 3. Compare si hay diferencia en nitidez o en la representación de detalles pequeños entre las ilustraciones o las fotografías estereoscópicas y las impresiones tridimensionales. ¿En cuál es más fácil delinear objetos?

## EJERCICIO 2.

### LA ORIENTACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS PARA LA VISION ESTEREOSCOPICA

#### Materiales necesarios

Estereoscopio de espejos. Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Regla. Dos agujas. Lápiz de cera o pluma especial. Cinta adhesiva transparente.

#### Instrucciones

1. Busque las marcas fiduciales de las fotografías. Están en las esquinas o en el medio de los márgenes. Busque también el número que cada fotografía debe tener. La fotografía con el número más bajo se llamará fotografía (A), la otra será la fotografía (B).
2. Conecte con la regla exactamente las dos marcas fiduciales de la fotografía (A) que están diagonalmente opuestas, y trace suavemente una línea recta de más o menos 3 cm. a lo largo de la regla con una aguja en el centro de la fotografía. Haga lo mismo con las otras dos marcas fiduciales de la fotografía (A).
3. Indique la intersección de las dos líneas con un hueco pequeño por medio de la aguja. Este punto es llamado el punto principal. A veces este punto ya está indicado en las fotografías por una cruz en el centro. En este caso marque el centro de esta cruz con una aguja.
4. Haga lo mismo con la fotografía (B).
5. Busque en la fotografía (A) el sitio del punto principal de la fotografía (B) e indique, lo más exacto posible, este sitio tentativamente, con un lápiz de cera. Este punto casi nunca está exactamente en el sitio correcto, porque fue hallado ocularmente, cuando debió ser transferido estereoscópicamente. Haga lo mismo con la otra fotografía.
6. Conecte, tentivamente, los dos puntos sobre cada fotografía con una línea usando el lápiz de cera.
7. Coloque las dos fotografías debajo del estereoscopio de tal manera que las dos líneas formen una sola línea recta imaginaria, y que el eje longitudinal del estereoscopio (que conecta los centros de los lentes) sea más o menos paralelo con esta línea. Además la fotografía (A), con el número más bajo, debe estar al lado izquierdo.
8. Mueva las dos fotografías a lo largo de la línea imaginaria, o sea, de tal manera que las líneas sobre las dos fotografías siempre queden en una sola línea, hasta que se obtenga la visión tridimensional.
9. Fije las fotografías sobre la mesa con la cinta adhesiva transparente. Así la orientación tentativa de las fotografías está lista.

10. Para determinar la posición correcta del punto principal de la fotografía (A) sobre la fotografía (B), este punto debe ser transferido estereoscópicamente de la siguiente manera: mire a través del estereoscopio. El punto que se va a transferir debe estar más o menos en el centro del campo de visión, para trabajar más fácilmente.
11. Coloque la punta de una aguja en el hueco del punto principal de la fotografía (A) de tal manera que esta aguja esté casi horizontal, y forme un ángulo recto con la línea de vuelo indicada.
12. Coloque la punta de la otra aguja de la misma manera sobre la fotografía (B) en el sitio donde el punto principal de la fotografía (A) fue indicado tentativamente.
13. Mueva la punta de la aguja sobre la fotografía (B) un poco a lo largo de la línea indicada, siempre con la aguja en ángulo recto con esta línea. Mueva la punta hasta que coincida, en la imagen tridimensional, con la punta de la aguja de la fotografía (A). En este momento se ve solamente una punta que parece flotar. Si se mueve ligeramente la aguja sobre la fotografía (A), es posible aterrizar esta punta flotante. Si se mueve demasiado, las dos imágenes se separan. Allí donde esté la aguja sobre la fotografía (B) al momento de aterrizar la imagen fusionada de las puntas de las agujas, también está la posición correcta del punto principal de la fotografía (A) sobre la fotografía (B).
14. Marque ahora este punto con un hueco pequeño. Este punto sobre la fotografía (B) corresponde entonces al punto principal de la fotografía (A) y se le llama punto principal transferido.
15. Transfiera de la misma manera el punto principal de la fotografía (B) a la fotografía (A). Trabajando con una línea de vuelo completa, cada fotografía de esta línea tiene un punto principal y dos puntos principales transferidos de las dos fotografías contiguas.
16. Borre los puntos y las líneas trazadas según las instrucciones Nos. 5 y 6.
17. Con la regla conecte el punto principal con el punto transferido sobre cada fotografía y trace una línea de más o menos 1 cm. encima del margen de la fotografía. Esta línea que conecta el punto principal y el punto transferido se llama línea de vuelo ("course line"). Para no interferir la vista sobre las fotografías, no se traza toda la línea. La distancia entre el punto principal y el punto transferido se llama longitud basal.
18. Para orientar definitivamente las fotografías para la visión estereoscópica, se repite el procedimiento indicado en las instrucciones Nos. 7, 8 y 9.
19. Una vez bien orientadas las fotografías, cualquier punto puede ser transferido siguiendo las instrucciones Nos. 10, 11, 12, 13 y 14.
20. Finalmente trace las cuatro líneas siguientes sobre cada fotografía:  
  
Una línea que divida en dos la distancia entre el punto principal y el punto transferido derecho y que esté paralela al margen derecho de la fotografía.

Otra línea que divida en dos la distancia entre el punto principal y el punto transferido izquierdo y que esté paralela al margen izquierdo de la fotografía.

Una línea que divida en dos la superposición lateral superior y que esté paralela al margen superior de la fotografía.

Una línea que divida en dos la superposición lateral inferior y que sea paralela al margen inferior de la fotografía.

Estas 4 líneas se llaman "líneas de demarcación" ("match lines"). El área dentro de ellas es la que sirve para la fotointerpretación.

### Preguntas

1. ¿Por qué la longitud basal de la fotografía izquierda es muchas veces desigual a la longitud basal de la fotografía derecha? ¿Si es igual, ¿qué indica eso?
2. ¿Por qué se prefiere trabajar solamente con el área central de las fotografías, delimitadas por las líneas de demarcación?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

### EJERCICIO 3

#### LA DETERMINACION DE ESCALA, DISTANCIAS HORIZONTALES, SUPERFICIES, NUMERO DE ARBOLES POR UNIDAD DE SUPERFICIE, DIAMETRO DE COPAS Y DENSIDADES DE BOSQUES SOBRE FOTOGRAFIAS AEREAS

##### Materiales necesarios

Estereoscopio de espejos. Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Regla. Papel plástico transparente con los siguientes dibujos: dos líneas rectas que forman una cuña, malla de cuadrados y de puntos, juego de círculos con varios diámetros y escalas de densidades conocidas. Mapa de la región de las fotografías.

##### Instrucciones

1. Seleccione dos puntos en esquinas opuestas de las fotografías, que tengan más o menos la misma altura sobre el nivel del mar (use la visión estereoscópica), la misma distancia hasta el punto principal pero que estén situados en lados diametralmente opuestos al punto principal, y sean fáciles de encontrar sobre el mapa o en el terreno.
2. Mida sobre la fotografía, con la regla, la distancia (a) entre estos dos puntos.
3. Mida la distancia (b) entre los dos mismos puntos sobre el mapa con escala ( $E_m$ ) conocida.
4. Calcule la escala ( $E_f$ ) de las fotografías con la fórmula:

$$E_f = \frac{a}{b} \cdot E_m$$

5. Si no hay mapa de la zona de las fotografías, se debe medir la distancia (b) en el terreno, y luego determinar la escala de las fotografías según:

$$E_f = \frac{a}{b}$$

6. Si la altura de vuelo (H) sobre el terreno es conocida, se puede calcular la escala según:

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

en que (f) es el largo focal del lente usado. Generalmente la altura de vuelo indicada en las fotografías es la altura de vuelo sobre el nivel del mar ( $H_m$ ). En este caso la elevación ( $H_t$ ) del terreno debe ser conocida para calcular la escala según:

$$E = \frac{f}{H_m - H_t}$$

Viceversa si la altura de vuelo no es conocida, puede calcularse por medio de la escala determinada en las instrucciones 1 - 5, con la fórmula:

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

7. La escala varía con la altura de vuelo sobre el terreno o sea con la elevación del terreno. Pero una vez calculada la altura de vuelo, o la escala para cierta elevación, se puede calcular la escala de cualquier otra elevación sin necesidad de repetir el procedimiento descrito en las instrucciones 1 - 5 para cada una. Por ejemplo, sabiendo la altura de vuelo ( $H_a$ ) sobre algún punto o terreno (A) con elevación ( $h_a$ ), se puede calcular la escala correspondiente a esta elevación ( $h_a$ ) según:

$$E_a = \frac{f}{H_a} \quad (\text{instrucción 6});$$

viceversa, sabiendo la escala ( $E_a$ ) de esta elevación se puede calcular la altura de vuelo ( $H_a$ ) sobre esta elevación (instrucción 6). La escala ( $E_b$ ) de cierto terreno (B) con otra elevación puede ser determinada si se sabe la diferencia en elevación ( $H_{ab}$ ) entre (A) y (B). Esta diferencia de elevación puede ser determinada sobre la fotografía por medio de la diferencia de paralaje (ejercicio 7). La escala ( $E_b$ ) se calcula según:

$$E_b = \frac{f}{H_a \pm h_{ab}}$$

El signo es positivo (+) si (B) está situado más bajo que (A), y negativo (-) si tiene una elevación más alta.

8. Suponiendo que la altura de vuelo ha sido constante, la escala en la fotografía de cualquier elevación puede ser determinada según uno de los métodos descritos, teniendo un mapa de la zona (instrucciones 1 - 4 y 7), midiendo una sola distancia en el campo (instrucciones 1, 2, 5, y 7), o sabiendo la altura de vuelo sobre cierto punto en el terreno (instrucciones 6 y 7).

9. Ahora puede ser determinada cualquier distancia horizontal sobre las fotografías. Para medir distancias grandes, use la regla. Para medir distancias pequeñas como anchuras de ríos, de carreteras, etc., use las dos líneas rectas que forman una cuña y una de las cuales tiene marcas con cifras indicando las distancias comprendidas entre ellas. Para ello ponga la cuña de tal manera que el objeto esté comprendido entre las dos líneas de la cuña y mueva la cuña hasta que las dos líneas toquen exactamente a los dos bordes del objeto que se quiere medir. Lea la cifra que está donde un borde del objeto toca la línea con las marcas. Tal cifra indica la distancia en este sitio entre las dos líneas y será la anchura del objeto. Si la cuña fue construida para fotografías con escala específica ( $E_1$ ), las cifras indicadas son solamente correctas para fotografías con esta escala. Si la fotografía tiene otra escala ( $E_2$ ), la distancia hallada debe ser multiplicada por:

$$\frac{E_1}{E_2}$$

Si la cuña no está preparada para una escala específica, las cifras son dadas en unidades absolutas, y se usa la cuña como la regla, o sea, se multiplica la medición hallada por el factor ( $\frac{1}{E \text{ fotografía}}$ ).

10. Uno de los métodos para medir superficies sobre fotografías consiste en el uso de una malla. Seleccione una área irregular sobre las fotografías y ponga la malla al azar sobre ella. Cuente el número (n) de cuadrados

o de puntos de la malla que caen en el área. Multiplique este número por la superficie ( $f_2$ ) que representa cada cuadrado o punto de la malla, y el inverso del cuadrado de la escala ( $E_2$ ) de la fotografía para calcular la superficie ( $s_2$ ).

En fórmula se expresa así:

$$s_2 = n \cdot f_2 \cdot \frac{1}{(E_2)^2}$$

Por ejemplo, si cada cuadrado o punto de la malla es igual o representa 3 cm<sup>2</sup>,  $f_2 = 3$  cm<sup>2</sup>; luego la superficie será calculada en cm<sup>2</sup>. A veces la malla está construida para fotografías con cierta escala ( $E_1$ ), y por consiguiente cada cuadrado o punto de la malla corresponde a una superficie ( $f_1$ ) ya calculada para la escala ( $E_1$ ). En el caso de que la escala ( $E_2$ ) de la fotografía sea diferente de la escala ( $E_1$ ) de la malla, la superficie ( $s_2$ ) del área se calcula según:

$$s_2 = n \cdot f_1 \cdot \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^2$$

11. Para determinar en un bosque el número de árboles por unidad de superficie (en el caso forestal siempre por ha.), determine la escala (E) de la fotografía para este bosque. Trace sobre algún papel o plástico transparente un círculo con diámetro conocido de (d) cm. ((d) debe ser más pequeño de 1 cm. para trabajar fácilmente) o con una superficie determinada de (s) cm<sup>2</sup>. Ponga el círculo sobre el bosque y cuente (use la visión tridimensional) el número ( $n_1$ ) de copas que caen dentro de este círculo. El número ( $n_2$ ) de árboles por ha. se calcula según:

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot 10^8 \cdot 4 \times E^2}{\pi d^2} \quad \text{si (d) está dado en cm. o según:}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot 10^8 \cdot E^2}{s} \quad \text{si (s) está dado en cm}^2.$$

12. Para determinar el diámetro de la copa se puede usar una regla, pero no es muy exacto. Mejor es usar la misma cuña mencionada en la instrucción 9, pero eso no trabaja rápido. Generalmente se usa un papel transparente con una hilera de círculos. Cada uno de estos círculos tiene un diámetro que es un poco más pequeño que su anterior, por ejemplo en 0.01 mm. Busque estereoscópicamente el círculo que coincida mejor con la copa del árbol y que entonces tendrá el mismo tamaño. Los tamaños de los círculos pueden indicar el diámetro de copas ya calculado para cierta escala o pueden indicar el diámetro en unidades absolutas.

13. Para determinar la densidad de un rodal se usa una malla con los puntos muy juntos, p.e., 50 por cm<sup>2</sup>, dibujados sobre un material transparente. Ponga esto al azar sobre una de las dos fotografías y cuente (mirando estereoscópicamente) el número (n) de los puntos que caen sobre las copas, ramas o troncos. La densidad es entonces:

$$\frac{n}{50} \cdot 100$$

Si el rodal es más pequeño que 1 cm<sup>2</sup>, tome solamente 1/2 o 1/4 del cm<sup>2</sup>. Más fácil y más rápido es preparar escalas de espesuras conocidas. Estas deben ser construidas por escala y por tipo de bosque. Compare esta escala de espesura estereoscópicamente con el rodal y busque la densidad que más se acerca a la densidad del rodal.

Preguntas

1. ¿Por qué los puntos mencionados en la instrucción 1 deben tener la misma elevación, y por qué deben estar a distancias iguales y opuestos diametralmente del punto principal? ¿En qué casos son estas precauciones innecesarias?
2. ¿Bajo cuáles condiciones solamente se pueden medir grandes distancias horizontales sobre fotografías según la instrucción 9? ¿Por qué se pueden medir siempre distancias pequeñas?
3. ¿En qué casos solamente se pueden medir superficies sobre fotografías, según la instrucción 10? ¿Son exactamente las mismas condiciones que en la pregunta 2? ¿Cómo se miden superficies y grandes distancias horizontales si no se cumplen estas condiciones?
4. Dé el desarrollo de las fórmulas usadas en la instrucción 11.
5. ¿Cuáles pueden ser las fuentes de errores si se determina el diámetro de copas con los círculos según la instrucción 12?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

EJERCICIO 4

LA DETERMINACION DE ALTURAS POR MEDIO DEL DESPLAZAMIENTO EN  
UNA SOLA FOTOGRAFIA

Materiales necesarios

Una fotografía aérea. Aguja. Regla.

Instrucciones

1. Indique el punto principal de la fotografía con la aguja.
2. Busque algún objeto del que se pueda ver bien la base y el punto más alto. Además, el punto más alto del objeto debe estar en el terreno perpendicularmente sobre la base.
3. Mida sobre la fotografía la distancia (r) desde el punto principal hasta el punto más alto del objeto.
4. Mida la distancia (d) entre la base del objeto y el punto más alto sobre la fotografía.
5. Determine más o menos la altura de vuelo (H) sobre la base del objeto (vea Ejercicio 3, instrucción 6 y 7).
6. Calcule la altura (h) del objeto con la fórmula:

$$\frac{d}{r} = \frac{h}{H}$$

Preguntas

1. ¿Cuáles son las desventajas de este método para determinar alturas?
2. Dé el desarrollo de la fórmula usada en la instrucción 6 (use una figura del modelo tridimensional indicando la posición de la fotografía al momento de tomarse en el terreno).

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 5

### LA DETERMINACION DE ALTURAS POR MEDIO DEL DESPLAZAMIENTO EN UN PAR ESTEREOSCOPICO DE FOTOGRAFIAS

#### Materiales necesarios

Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Lápiz de cera o pluma especial. Regla. Dos agujas. Estereoscopio. Cinta adhesiva transparente.

#### Instrucciones

1. Indique el punto principal (A) de la fotografía (a) (con el número más bajo) y el punto principal (B) de la otra fotografía (b).
2. Transfiera el punto (B) a la fotografía (a): da el punto (B<sub>1</sub>). También pase el punto (A) a la fotografía (b): da el punto (A<sub>1</sub>).
3. Trace completamente la línea de vuelo conectando (A) con (B<sub>1</sub>) sobre la fotografía (a) y (B) con (A<sub>1</sub>) sobre la fotografía (b). Esta línea la consideramos como el X-eje.
4. Oriente las fotografías para el estudio estereoscópico y fije las fotografías en esta posición con la cinta adhesiva transparente.
5. Levante y trace con lápiz de cera en los puntos (A) y (B) líneas perpendiculares sobre la línea de vuelo o sobre el X-eje. Estas líneas las consideramos como Y-ejes.
6. Busque algún objeto en el cuál se pueda ver claramente la base (C) y el punto más alto (D) sobre la fotografía (a) y también (C<sub>1</sub>) y (D<sub>1</sub>) sobre la fotografía (b). En el terreno, el punto (D) debe estar situado perpendicularmente sobre (C).
7. Projete sobre el X-eje de la fotografía (a) los puntos (C) y (D) para obtener los puntos (E) y (F) respectivamente; luego projete los mismos puntos sobre el Y-eje para obtener los puntos (G) y (H) respectivamente.
8. Haga lo mismo sobre la fotografía (b) o sea: projete sobre el X-eje los puntos (C<sub>1</sub>) y (D<sub>1</sub>) para obtener los puntos (E<sub>1</sub>) y (F<sub>1</sub>), y sobre el Y-eje para obtener los puntos (G<sub>1</sub>) y (H<sub>1</sub>) respectivamente.
9. Mida las distancias (AE), (AF), (BF<sub>1</sub>) y (BE<sub>1</sub>).
10. La llamada diferencia de paralaje (dP), que da una medida para la determinación de la altura del objeto, se calcula según:
$$dP = \left| (AF + BF_1) - (AE + BE_1) \right|$$
11. El llamado paralaje absoluto (P) de la base del objeto se calcula según:
$$P = AE + BE_1$$
12. Determine más o menos la altura de vuelo (H) sobre la base del objeto.

13. Calcule la altura (h) del objeto según:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

14. Verifique que el paralaje absoluto del punto (C) también puede ser determinado, y más fácilmente, como  $(AB - CC_1)$ , siempre suponiendo que las dos fotografías están bien orientadas (o sea con  $AB_1$  y  $BA_1$  en una sola línea).

15. Verifique también que la diferencia de paralaje (dP) puede ser determinada más fácilmente según:

$$dP = (AB - DD_1) - (AB - CC_1)$$

16. Mida  $(CE)$  y  $(C_1E_1)$ . Estas dos distancias deben ser iguales, o sea,

$$CE - C_1E_1 = 0$$

### Preguntas

1. ¿Cuáles son las desventajas para determinar las alturas así?
2. ¿Según usted, es importante o no que las fotografías orientadas estén a una distancia determinada, o es solamente importante que  $(AB_1)$  y  $(BA_1)$  estén en una sola línea?
3. ¿Si la diferencia  $(CE - C_1E_1)$  de la instrucción 16 no es igual a cero, qué significa eso?
4. ¿Cuál es la diferencia básica entre el método de determinar alturas según el ejercicio 4 y el método descrito aquí?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

EJERCICIO 6

LA DETERMINACION DE ALTURAS CON EL ESTEREOMETRO

Materiales necesarios

Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Estereoscopio con estereómetro. Dos agujas. Cinta adhesiva transparente. Lápiz de cera o pluma especial.

Instrucciones

1. Oriente el par estereoscópico y fije las fotografías con cinta adhesiva transparente.
2. Ponga el estereómetro bajo el estereoscopio de tal manera que uno de los dos puntos que van a formar el punto flotante esté sobre una fotografía y el otro sobre la segunda fotografía del par. Además, su eje longitudinal debe estar paralelo a la línea de vuelo (y entonces también al eje longitudinal del estereoscopio). Esto es necesario para evitar el Y-paralaje.
3. Observe el modelo estereoscópico. En este modelo se ven los dos puntos separados del estereómetro. Moviendo el tornillo del estereómetro se pueden juntar o separar los dos puntos. Mueva el tornillo hasta que los dos puntos coincidan y formen un sólo punto. Este punto ocupa una posición en el modelo estereoscópico y parece flotar.
4. Moviendo el tornillo del estereómetro muy poco, el punto flotante sube o baja en el modelo estereoscópico. Si se mueve el tornillo demasiado, los dos puntos fusionados se separan y otra vez se ven dos puntos, ninguno de los cuales ocupa una posición en el modelo estereoscópico. Averigüe eso. Haga "aterrizar" al punto flotante sobre diferentes puntos en el terreno, como copas de árboles, techos de casas, el suelo, etc.
5. Tome un objeto que se vea claramente sobre las fotografías y que tenga alguna altura. Haga "aterrizar" el punto flotante sobre el punto más alto del objeto y lea el valor (a) indicado por el micrómetro conectado con el tornillo. Después haga "aterrizar" el punto flotante en la base del objeto o ponga el punto flotante de tal manera que esté a la misma elevación de la base. Lea también este valor (b). La diferencia de paralaje (dP) del objeto se determina según:

$$dP = a - b$$

6. Mida la (dP) del mismo objeto (n) veces y apunte en una columna los n diferentes valores obtenidos. Calcule el promedio (c) de estos (n) valores y determine el error estándar del promedio (e) según:

$$e = \sqrt{\frac{\sum [c - (a - b)]^2}{n - 1}}$$

Si en este caso la operación fue repetida 10 veces para el mismo objeto, entonces n = 10. El error estándar del promedio (e) debe ser menos de 0.02 mm. para que sea aceptable la (dP) medida.

7. Determine el paralaje absoluto (P) de la base del objeto (Ejercicio 5) y la altura de vuelo (H) sobre esta base. Calcule la altura (h) del objeto según:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

8. Si el terreno es casi plano se puede sustituir el promedio

$$\frac{b_1 + b_2}{2}$$

de las dos longitudes basales de las fotografías por (P) y la fórmula para calcular la altura será:

$$\frac{h}{H} = \frac{\frac{dP}{\frac{b_1 + b_2}{2}}}{+ dP}$$

Una vez que se sabe el paralaje absoluto (P) de un punto o de una elevación (A), se puede determinar el paralaje absoluto (P<sub>b</sub>) de cualquier otro punto o elevación (B), midiendo la (dP<sub>ab</sub>) entre los puntos (A) y (B) y aplicando la fórmula:

$$P_b = P_a \pm dP_{ab} ;$$

el signo es positivo si el punto (B) está más alto que el punto (A) y negativo cuando está más bajo. Se ve fácilmente que los puntos con la misma elevación tienen el mismo paralaje absoluto.

9. Determine ahora de la misma manera (instrucciones 5 - 8) la diferencia en elevación entre dos puntos diferentes en el terreno, o sea, mida la (dP) entre los dos puntos, el paralaje del punto más bajo, la altura de vuelo sobre el punto más bajo y aplique la fórmula de paralaje:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

10. Trate de dibujar sobre la fotografía una línea que conecte puntos de elevaciones iguales por medio del punto flotante. Se ve que eso da un medio para el trazo de curvas de nivel y la construcción de mapas topográficos. Para eso se conecta el estereómetro con algún instrumento de dibujo y se sigue con el punto flotante sobre la fotografía una ruta de tal manera que el punto flotante toque el suelo. La línea que resulte tendrá la misma elevación en cualquier punto y entonces será una curva de nivel.

### Preguntas

1. ¿Por qué puede (P) ser sustituido por  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  en la instrucción 8?  
¿Puede hacerse eso para la base de cualquier objeto si el terreno es más o menos plano?
2. ¿Sería grande el error de la altura del objeto que resultaría si se sustituye el paralaje absoluto (P) de la base del objeto por  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  en terrenos con mucho relieve? ¿Dé una medida matemática para este error. ¿Qué altura es determinada básicamente si se sustituye (P) por  $\frac{b_1 + b_2}{2}$ ?

3. ¿Es  $(b_1)$  automáticamente igual a  $(b_2)$  si el terreno es completamente plano?
4. ¿En un par dado de fotografías aéreas, cree usted que cierto  $(dP)$  corresponde con cierto  $(h)$ , o sea, si dos objetos tienen la misma  $(dP)$ , tendrán también la misma altura?
5. Explique cómo el Y-paralaje puede ser introducido en la medición de la  $(dP)$  con el estereómetro, aunque las imágenes de los objetos sobre las fotografías estén completamente libres de Y-paralaje.
6. ¿En qué caso no se puede determinar la altura según este método?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

EJERCICIO 7

LA DETERMINACION DE ALTURAS CON LA CUÑA DE PARALAJE

Materiales necesarios

Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Estereoscopio. Cuña de paralaje. Lápiz de cera. Regla. Cinta adhesiva transparente.

Instrucciones

1. Oriente las fotografías para el estudio estereoscópico.
2. Busque algún objeto que se vea claramente en las fotografías.
3. Ponga la cuña de paralaje sobre las fotografías de tal manera que una de las dos líneas convergentes de la cuña esté sobre una fotografía y la otra sobre la otra fotografía del par estereoscópico. La cuña debe estar completamente plana contra las fotografías y su eje longitudinal debe estar en ángulo recto con la línea de vuelo para que las marcas correspondientes de las dos líneas se junten en la imagen estereoscópica.
4. Trate de ver que una parte de las líneas coincida y forme una sola línea inclinada en el modelo estereoscópico. Es aconsejable, si no se ve eso, practicar con el estereoscopio y con la cuña sobre un papel blanco.
5. Mueva la cuña hasta que la línea inclinada esté al lado del objeto. Determine el punto, sobre esta línea inclinada, que tiene la misma altura que el punto más alto del objeto y lea la cifra (a) correspondiente a este punto en la línea. Lo mismo para la base del objeto que da otro dato (b). La diferencia de paralaje es:

$$dP = a - b$$

Haga esto también 10 veces y calcule el error estándar del promedio como en el Ejercicio 6, instrucción 6. Este error, lo mismo que para el estereómetro, debe ser otra vez menor de 0.02 mm.

6. Determine el paralaje absoluto (P) de la base del objeto  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  si el terreno es plano, y la altura de vuelo (H) sobre la base del objeto.
7. Calcule la altura (h) del objeto según:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

8. Haga lo mismo para dos puntos (A) y (B) sobre el terreno con elevaciones diferentes. O sea, ponga la cuña de tal manera que la línea indicada esté al lado del punto (A), determine el punto sobre la línea que tiene la altura que (A) y lea el dato correspondiente; mueva la cuña hasta que la línea indicada esté al lado del punto (B) y haga lo mismo. Determine la (dP) como la diferencia absoluta de las dos lecturas. Determine el paralaje absoluto (P) del punto más bajo y la altura de vuelo (H) sobre el punto más bajo.

Calcule la diferencia en elevación (h) entre el punto (A) y (B) con la fórmula de paralaje:

$$\frac{h}{H} = \frac{dP}{P + dP}$$

Preguntas

1. ¿Cuáles son las ventajas y cuáles son las desventajas de la cuña de paralaje frente al estereómetro? ¿Cree usted que es posible construir mapas topográficos con este instrumento? ¿Es posible dibujar curvas de nivel sobre las fotografías con la cuña? Si la última contestación es positiva, hágalo.
2. Averigüe si las cifras indicadas en una de las dos líneas que forman la cuña son iguales a las distancias de divergencia entre esas líneas.
3. ¿Hay posibilidad de introducir el Y-paralaje en la medida de la (dP) con la cuña de paralaje o no?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 8

### LA DETERMINACION DE ALTURAS POR MEDIO DE LA SOMBRA DEL OBJETO

#### Materiales necesarios

Una fotografía aérea. Regla. Aguja. Lápiz de cera. Tablas de logaritmos, senos, cosenos y tangentes. Tabla de efemérides solares.

#### Instrucciones

1. Busque algún objeto de cierta altura, tal como un árbol, del cual se pueda ver claramente su base y su sombra.
2. Determine la escala (E) de la fotografía en el sitio donde se encuentre el árbol.
3. Mida con la regla la longitud (s) de la sombra lo más exacto que sea posible.
4. Busque la hora y la fecha en que la fotografía fue tomada. Eso debe estar indicado en uno de los márgenes de la fotografía, o en la parte de atrás.
5. Busque en la tabla de efemérides solares la declinación aparente (a) del sol en la fecha de la toma de la fotografía.
6. Busque en un mapa la latitud (b) y la longitud de la región fotografiada.
7. Calcule la diferencia (c) entre la longitud de la región y la longitud del sol a la hora de la toma de la fotografía según los siguientes subpasos:
  - a. convierta la hora local de la toma de la fotografía al tiempo civil de Greenwich, sumando (o restando) 4 minutos a la hora local por cada grado de longitud que la región esté al oeste (o este) de la longitud cero de Greenwich.
  - b. busque en la tabla de efemérides solares la ecuación del tiempo y sume o reste esta cantidad según la indicación de la tabla al medio día (las 12:00) aparente de Greenwich.
  - c. calcule la diferencia absoluta entre la hora hallada en 7a y 7b.
  - d. convierta la hora hallada en 7c otra vez a grados de longitud, sabiendo que el sol estaba (a las 12:00 + la ecuación del tiempo) sobre la longitud cero (0°) de Greenwich y sabiendo que el sol se "mueve" 1 grado de longitud al oeste cada 4 minutos. Eso da la longitud del sol al momento de la toma de la fotografía.
  - e. calcule la diferencia (c) entre la longitud de la región de la fotografía y la longitud del sol.

8. Calcule el ángulo (X) de la elevación del sol con la fórmula:

$$\text{sen } X = (\text{cos } a) (\text{cos } b) (\text{cos } c) \pm (\text{sen } a) (\text{sen } b)$$

El signo es positivo (+), si el sol estaba al mismo lado del ecuador que la región al momento de tomarse la fotografía, y negativo (-), si estaba al otro lado.

9. Busque en cualquier tabla apropiada el valor de la tangente de (X).

10. Calcule la altura (h) del objeto con la fórmula:

$$h = \frac{s}{E} \cdot \tan X$$

### Ejemplo

Fotografía de la región de Turrialba, Costa Rica; fue tomada el 15 de marzo, 1960, a las 10:15 de la mañana.

Instrucción 1: Se escoge un árbol cuya base y sombra pueden apreciarse.

Instrucción 2: La escala (E) de la fotografía para el sitio donde está el árbol resulta ser 1:9850.

Instrucción 3: La medición de la longitud (s) de la sombra indica 0.6 mm., o sea,  $s = 0.6 \text{ mm.}$

Instrucción 4: La hora y la fecha están dadas arriba.

Instrucción 5: Según la tabla de efemérides solares la declinación aparente del sol el 15 de marzo 1960 es  $22^{\circ} 01' 04''$ , o sea,  $a = 22^{\circ} 01' 04''$ .

Instrucción 6: La latitud de Turrialba es  $9^{\circ} 54' 10''$  norte y la longitud es  $83^{\circ} 41'$  oeste. Entonces:  $b = 9^{\circ} 54' 10''$ .

Instrucción 7a: Costa Rica, como muchos otros países, tiene una diferencia de tiempo fijo con respecto a la hora civil de Greenwich. Esta diferencia es de 7 horas. Entonces no es necesario convertir la longitud  $83^{\circ} 41'$  a horas y minutos. Así la hora local de Costa Rica de 10:15 corresponde a la hora  $10:15 + 7:00 = 17:15$  de Greenwich.

Instrucción 7b: La columna ecuación del tiempo de la tabla de efemérides solares indica que para el 15 de marzo de 1960, hay que sumar 8 minutos 59 segundos al medio día aparente de Greenwich. Eso significa que el sol este día no estaba sobre la longitud de  $0^{\circ}$  a las 12:00 en punto, sino a las 12:08 y 59 seg., o redondeando a las 12:09.

Instrucción 7c: La diferencia entre las 17:15 y las 12:09 es 5 horas y 6 minutos.

Instrucción 7d: 5 horas y 6 minutos corresponden a  $76^{\circ} 30'$ , o sea que a las 17:15 hora de Greenwich (= a las 10:15 hora local de Costa Rica) el sol estaba en la longitud  $76^{\circ} 30'$  oeste.

Instrucción 7e:  $c = 83^{\circ} 41' - 76^{\circ} 30' = 7^{\circ} 11'$ .

Instrucción 8:  $\text{sen } X = (\cos a) (\cos b) (\cos c) - (\text{sen } a) (\text{sen } b) = (\cos 20^\circ 01' 04'') (\cos 90^\circ 54' 10'') (\cos 70^\circ 11') - (\text{sen } 20^\circ 01' 14'') (\text{sen } 90^\circ 54' 10'')$ .

$$\begin{array}{rcl} \log \cos 20^\circ 01' 14'' & = & 9.99973 - 10 \\ \log \cos 90^\circ 54' 10'' & = & 9.99348 - 10 \\ \log \cos 70^\circ 11' & = & 9.99658 - 10 \\ \log \cos a + \log \cos b + \log \cos c & = & \underline{29.98979 - 30} \\ (\cos a) (\cos b) (\cos c) & = & 0.97676 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \log \text{sen } 20^\circ 01' 14'' & = & 8.54666 - 10 \\ \log \text{sen } 90^\circ 54' 10'' & = & 9.23547 - 10 \\ \log \text{sen } a + \log \text{sen } b & = & \underline{17.78213 - 20} \\ (\text{sen } a) (\text{sen } b) & = & 0.00606 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{sen } X = 0.97676 - 0.00606 = 0.97070 \\ X = 76^\circ 5' 43'' \end{array}$$

Instrucción 9:  $\tan X = 4.03936 = 4.04$

Instrucción 10:  $h = \frac{0.6}{1:9850} \cdot 4.04 \text{ mm.} = 23876 \text{ mm.}$  o, redondeando, la altura del árbol es de 24 m.

### Preguntas

1. ¿Por qué debe aplicarse una ecuación del tiempo al medio día aparente de Greenwich en la Instrucción 7b?
2. ¿Cuáles son las desventajas de este método para determinar alturas en comparación con los métodos descritos en los Ejercicios 6 y 7?
3. ¿Cuáles son las posibles fuentes de errores en la determinación de alturas según este método?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 9

### LA DETERMINACION DE GRADIENTES

#### Materiales necesarios

Estereoscopio. Estereómetro. Un par estereoscópico de fotografías aéreas. Dos agujas. Lápiz de cera. Papel o plástico transparente. Regla.

#### Instrucciones

1. Indique el punto principal (A) sobre la fotografía (a) con el número más bajo del par y el punto principal (B) sobre la fotografía (b).
2. Transfiera el punto principal (A) a la fotografía (b), lo que da el punto transferido ( $A_1$ ); también el punto principal (B) a la fotografía (a) lo que da el punto transferido ( $B_1$ ).
3. Oriente las fotografías para el estudio estereoscópico.
4. Busque alguna pendiente para determinar la gradiente. Marque sobre la fotografía con un hueco pequeño el punto más bajo de la pendiente ( $C_a$ ) y el punto más alto ( $D_a$ ). Transfiera y marque los mismos puntos con un hueco pequeño sobre la fotografía (b), lo que da los puntos ( $C_b$ ) y ( $D_b$ ).
5. Tome un pedazo de papel o plástico transparente de tamaño más o menos igual a una fotografía y póngalo sobre la fotografía (a).
6. Señale sobre el material transparente los puntos (A), ( $B_1$ ), ( $C_a$ ) y ( $D_a$ ).
7. Trace líneas sobre el material transparente conectando (A) con ( $B_1$ ), (A) con ( $C_a$ ) y (A) con ( $D_a$ ).
8. Ponga el mismo pedazo de papel o plástico transparente sobre la fotografía (b) de tal manera que,
  - a) el punto ( $B_1$ ) indicado sobre el material transparente coincida con el punto (B) de la fotografía.
  - b) la línea  $AB_1$ , indicada sobre el material transparente, coincida con la línea de vuelo ( $BA_1$ ) de la fotografía.
9. Señale sobre el material transparente los puntos ( $C_b$ ) y ( $D_b$ ).
10. Trace líneas sobre el material transparente conectando (B) con ( $C_b$ ) y (B) con ( $D_b$ ).
11. La intersección, sobre el material transparente de las líneas ( $AC_a$ ) y ( $BC_b$ ) da un punto (C). Este punto (C) indica la posición correcta (no desplazada) de los puntos ( $C_a$ ) y ( $C_b$ ) combinados, con respecto al punto principal (B). Los puntos ( $C_a$ ) y ( $C_b$ ) no coincidieron sobre el material transparente por estar desplazados. La intersección de las líneas ( $AD_a$ )

y ( $BD_b$ ) indica así la posición correcta del punto (D) con respecto al punto (B).

12. Mida, lo más exacto posible, con la regla la distancia ( $d$ ) entre los puntos (C) y (D) sobre el material transparente. Esta distancia es la proyección ortogonal de la pendiente (CD) sobre un plano horizontal que pasa a través del punto principal (B). Entonces la distancia ( $d$ ) es de una escala igual a la escala de la fotografía en el punto (B).

13. Mida con el estereómetro sobre las fotografías la diferencia de paralaje ( $dP$ ) entre los dos puntos de la pendiente, o sea, entre el punto C (la imagen fusionada de  $C_a$  y  $C_b$ ) y el punto D (la imagen fusionada de  $D_a$  y  $D_b$ ).

14. Determine sobre las fotografías el paralaje absoluto ( $P_c$ ) del punto (C), (representado por ( $C_a$ ) en la fotografía (a) y por ( $C_b$ ) en la fotografía (b), y el paralaje absoluto ( $b_1$ ) del punto (B) (es igual a la longitud basal de la fotografía (a)).

15. Calcule la tangente del ángulo de inclinación ( $i$ ) de la pendiente (CD) con la fórmula:

$$\tan i = \frac{f \cdot dP \cdot b_1}{(P_c + dP) \cdot d \cdot P_c} \quad (1)$$

Esta fórmula es obtenida en la siguiente manera:

$$\tan i = \frac{h_{cd}}{D_t}$$

( $h_{cd}$ ) puede ser calculado con la fórmula de paralaje según:

$$h_{cd} = \frac{dP}{P_c + dP} \cdot (H - h_c) \quad (2)$$

y ( $D_t$ ), que es igual a la distancia ( $d$ ) pero en el terreno se calcula según:

$$D_t = d \cdot \frac{1}{E} = d \cdot \frac{H - h_b}{f} \quad (3)$$

Combinando las dos fórmulas, se obtiene:

$$\tan i = \frac{h_{cd}}{D_t} = \frac{dP}{P_c + dP} \cdot \frac{f}{d} \cdot \frac{H - h_c}{H - h_b} \quad (4)$$

También se ve en el modelo estereoscópico que

$$\frac{(H - h_c)}{f} = \frac{B}{P_c}$$

o sea:

$$H - h_c = \frac{B \cdot f}{P_c} \quad (5)$$

De la misma manera se ve que:

$$\frac{(H - h_b)}{f} = \frac{B}{b_1}$$

o sea:

$$H - h_b = \frac{B \cdot f}{b_1} \quad (6)$$

Sustituyendo  $(H - h_c)$  y  $(H - h_b)$  en la fórmula (4) con los valores obtenidos en (5) y (6), se obtiene:

$$\frac{h_{cd}}{D_t} = \frac{dP}{P_c + dP} \cdot \frac{f}{d} \cdot \frac{B \cdot f}{P_c} \cdot \frac{b_1}{B \cdot f} = \frac{dP}{P_c + dP} \cdot \frac{f}{d} \cdot \frac{b_1}{P_c}$$

Explicación de los símbolos usados:

- $h_{cd}$  = la diferencia en elevación en el terreno entre los puntos C y D.
- $D_t$  = la distancia horizontal entre C y D en el terreno.
- $H$  = altura de vuelo sobre el nivel del mar.
- $h_c$  = elevación del punto C.
- $h_b$  = elevación del punto B.
- $B$  = base aérea (distancia de la longitud basal en el terreno).
- $f$  = largo focal del lente

### Preguntas

1. Explique con palabras lo que se está haciendo en las instrucciones 6-12.
2. ¿En qué se basa la suposición hecha en la instrucción 11: la intersección de las líneas  $(AC)$  y  $(BC_b)$  da la posición correcta del punto  $(C)$ ? ¿Es siempre verdadera esta presuposición o no?
3. ¿El método descrito en este ejercicio da como resultado la tangente del ángulo de inclinación, o sea, el ángulo  $(e)$  mismo. Las pendientes son expresados a veces en porcentajes? Calcule el porcentaje de la pendiente  $(CD)$ .
4. ¿Bajo qué condiciones coinciden los puntos  $(C_a)$  y  $(C_b)$  sobre el material transparente? Si coinciden, también deben  $(D_a)$  y  $(D_b)$  coincidir?

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 10

### LA CONSTRUCCION DE UN MAPA BASICO POR MEDIO DE LA TRIANGULACION CON LINEAS RADIALES

#### Materiales necesarios

Por lo menos dos líneas de vuelos de fotografías aéreas preferiblemente con algunos puntos de control terrestre sobre ellas. Estereoscopio. Dos agujas. Papel o plástico transparente del tamaño de una línea de vuelo. Un juego de templetas mecánicas. Lápiz de cera. Compás.

#### Instrucciones

1. Indique los puntos principales de todas las fotografías y transfiera los a las fotografías contiguas. Eso da 3 puntos por fotografía.
2. Trace las líneas de vuelo solamente en los márgenes de las fotografías (más o menos de 1 cm. de largo).
3. Si existen puntos de control terrestre sobre las fotografías indíquelos con un hueco pequeño y un triángulo con lápiz de cera. Transfiera los.
4. Seleccione dos puntos adicionales sobre cada fotografía, de tal manera que uno esté en el lado superior y otro en el lado inferior y de tal manera que cada uno esté más o menos en el medio de la superposición lateral y sobre una línea perpendicular a la línea de vuelo desde el punto principal. Estos son los puntos laterales.
5. Transfiera los puntos laterales a las fotografías contiguas. Eso resulta en un total de 6 puntos laterales por fotografía, o sea, con el punto principal y los dos puntos principales transferidos hay un total de 9 puntos por fotografía (sin contar los posibles puntos de control terrestre).
6. Enumere todos los puntos principales y los 2 puntos originalmente seleccionados como puntos laterales de una manera lógica y sistemática. Por ejemplo en la primera fotografía, dé el número ( $A_1$ ) al punto principal, el número ( $B_1$ ) al punto lateral del lado superior y el número ( $C_1$ ) al punto lateral del lado inferior. En la segunda fotografía el punto principal será indicado con el número ( $A_2$ ) y los dos puntos laterales con los números ( $B_2$ ) y ( $C_2$ ) respectivamente. Después dé a los puntos transferidos el mismo número que su punto original; por ejemplo, si el punto principal de la fotografía 2 tiene el número ( $A_2$ ), sus puntos transferidos sobre las fotografías 1 y 3 también deben tener el número ( $A_2$ ). Además siempre comience con la fotografía del número más bajo, o sea, trabaje de la izquierda hacia la derecha.
7. El próximo paso consiste en determinar las posiciones correctas (no desplazadas) de todos los puntos principales y de todos los puntos laterales con respecto a algún punto principal o con respecto a puntos de control terrestre. Para eso se construye una red grande de líneas radiales. En la Instrucción 8 esta red se construye por medio de templetas mecánicas y en la

Instrucción 9 por medio de algún material transparente.

8. El equipo necesario para la construcción de templetes mecánicos consta de reglillas metálicas flexibles de tamaños diferentes, perinolas, tuercas, agujas, un matrillo y dos llaves para apretar tuercas. Cada reglilla tiene un hueco en un lado para la tuerca y una ranura al otro lado para la perinola. Se arma para cada fotografía un templete y se junta con los de las fotografías contiguas para formar así una red de templetes y a la vez una red de líneas radiales. Este procedimiento es descrito en más detalles en los siguientes subpasos:

- a. Ponga una fotografía sobre un pedazo de madera y sitúe con el martillo una aguja en cada uno de los 9 puntos de la fotografía y en los puntos de control si los hay.
- b. Ponga una tuerca sobre la aguja del punto principal y perinolas sobre las agujas de los demás puntos.
- c. Tome una reglilla y póngala con el hueco sobre la tuerca y con la ranura sobre la perinola. Use una reglilla para cada perinola, o sea, para cada punto fuera del punto principal.
- d. Fije las reglillas, o sea, las direcciones (los ángulos) del punto principal hacia los demás puntos, por medio de un tornillo sobre la tuerca.
- e. Escriba con un crayon sobre la reglilla, al lado de la ranura, el número del punto a que corresponde la ranura.
- f. Saque las agujas y las perinolas. El conjunto de las ocho reglillas (si hay puntos de control serán más), que quedan fijadas con el tornillo sobre la tuerca, se llama un templete.
- g. Construya un templete para cada fotografía. Una todos los templetes en un conjunto de tal manera que todas las ranuras que corresponden a los mismos puntos principales coincidan lo mejor posible y que las que correspondan a los mismos puntos laterales, se crucen. En las intersecciones de todas las ranuras se pone una perinola que indica la posición correcta de estos puntos con respecto al punto principal. El conjunto de todos los templetes forma una red de templetes o sea una red de líneas radiales.

h<sub>1</sub>. Si no hay puntos de control terrestre, construya una red de templetes para la primera línea de vuelo y una los templetes de las fotografías de la próxima línea de vuelo, uno por uno, con esta red. Entonces no termine primero las redes de cada una de las líneas de vuelo para juntarlas después; eso causa casi siempre dificultades en el acoplamiento. Finalmente ponga la red de templetes sobre un papel del mismo tamaño e indique la posición de cualquier tuerca y perinola sobre este papel por medio de una aguja clavada con el martillo.

h<sub>2</sub>. Si hay puntos de control, indíquelos en una escala apropiada sobre un papel blanco en un sistema de coordenadas. La escala del sistema de coordenadas debe corresponder a la escala de las fotografías. Ponga una aguja y una perinola en cada punto de control indicado en el papel blanco y use estos puntos como núcleos para juntar los templetes y construir la red correspondiente. Finalmente señale otra vez, clavando una aguja con un

martillo, las posiciones de todos los demás puntos sobre el papel en blanco.

Lo que se ha hecho, es construir una red grande de líneas radiales por medio de las reglillas, e indicar las intersecciones de estas líneas sobre papel para obtener así un mapa básico incontrolado (Instrucción  $h_1$ ) o controlado (Instrucción  $h_2$ ).

9. Si no hay equipo para construir templetas mecánicas se puede obtener una red grande de líneas radiales con papel o plástico transparente según el siguiente proceso:

a. Conecte con la regla el punto principal y uno de los puntos laterales y trace una línea de más o menos 4 cm., o sea, 2 cm. a cada lado del punto lateral. Es la línea radial. Haga lo mismo para todos los puntos laterales de todas las fotografías.

b. Tome un pedazo de material transparente que sea de la misma longitud de la línea de vuelo pero un poco más ancho.

c. Ponga la primera fotografía de la línea de vuelo N<sup>o</sup> 1 debajo y al principio del material transparente. Indique sobre este material el punto principal ( $P_1$ ), la línea de vuelo ( $L_1$ ) entre ( $P_1$ ) y el punto principal transferido al lado derecho de ( $P_1$ ) y las partes de las líneas radiales a través de los puntos principales.

d. En el caso que no haya puntos de control, indique sobre el material transparente la longitud basal promedio  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  de la fotografía (1) y de la fotografía (2) sobre ( $L_1$ ) desde ( $P_1$ ). Al fin de esta distancia  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  se supone que esté el punto principal ( $P_2$ ) de la fotografía (2).

En este caso la escala de la red de las líneas radiales será igual a la escala de la longitud basal promedio de las dos fotografías. En caso que haya puntos de control, la distancia (d) entre los puntos principales ( $P_1$ ) y ( $P_2$ ) sobre el material transparente es tomada de tal manera que corresponda con alguna escala deseada.

e. Quite la primera fotografía y ponga la segunda fotografía debajo el material transparente de tal manera que su punto principal coincida con el punto ( $P_2$ ) señalado sobre el material transparente. Además, la parte izquierda de la línea de vuelo en la fotografía (2), debe coincidir con la línea correspondiente ( $L_1$ ) del material transparente. Indique sobre el material transparente la parte derecha ( $L_2$ ) de la línea de vuelo de la fotografía (2), y las partes de las líneas radiales a través de los puntos laterales. Indique sobre ( $L_2$ ) un punto ( $P_3$ ) a una distancia  $\frac{b_1 + b_2}{2}$  o a una distancia (d) desde el punto ( $P_2$ ).

Este punto ( $P_3$ ) sirve como el punto principal de la fotografía (3).

f. Repita el procedimiento descrito en instrucción 9e sucesivamente en todas las fotografías de la línea de vuelo.

g. La intersección de las diferentes líneas radiales correspondientes a un mismo punto da otra vez la posición correcta de los puntos

laterales con respecto a los puntos principales. Si las diferentes líneas radiales no se cruzan exactamente en un solo punto, se toma el punto en el medio del área pequeña formada por las líneas radiales.

h. Si hay dos puntos de control (A) y (B), el uno más o menos al principio de la línea de vuelo y el otro más o menos al fin, un error de cierre (error de escala) entre la distancia (AB) (sobre el mapa básico) y ( $A_1B_1$ ) (sobre el material transparente) puede ser corregido de la siguiente manera:

$h_1$ . Ponga el material transparente sobre el mapa básico de tal manera que el punto ( $A_1$ ) sobre este material coincida con el punto (A) del mapa básico y ( $A_1B_1$ ) con (AB).

$h_2$ . Sobre el material transparente trace con un compás medio círculo tomando ( $B_1$ ) como centro y ( $B_1B$ ) como radio.

$h_3$ . Trace desde ( $A_1$ ) la línea ( $t_1$ ) que es tangente a este medio círculo.

$h_4$ . La posición de cualquier punto ( $X_1$ ) sobre el material transparente puede ser corregida de la siguiente manera. Marque este punto mediante una aguja a través del papel transparente sobre el mapa básico: punto (X). Ponga una aguja a través del punto (A) y ( $A_1$ ) y gire el material transparente hasta que ( $A_1B_1$ ) cubra el punto (X). Determine la proyección de ( $X_1$ ) sobre la línea ( $t_1$ ): punto ( $X_1t$ ). Trace el medio círculo sobre el material transparente con (X) como centro y ( $XX_1t$ ) como radio. La intersección de esta línea con la línea ( $A_1B_1$ ) da la posición corregida y correcta del punto ( $X_1$ ) sobre el material transparente y, mediante una perforación con aguja, también sobre el mapa básico. Note que en realidad hay dos puntos de intersección del medio círculo con la línea ( $A_1B_1$ ). Según el signo de corrección se selecciona uno de estos dos: si (B) está más lejos de (A) que de ( $B_1$ ), se elige el punto de intersección más alejado de (A), y viceversa.

i. Use un pedazo diferente de material transparente para cada línea de vuelo y repita las instrucciones 9a - 9h.

j. En el caso de diferentes líneas de vuelo, la red de líneas radiales dibujada sobre el material transparente tiene una escala diferente para cada línea de vuelo. La escala para la segunda línea de vuelo (y después la tercera, etc.) puede ser igualada a la escala de la primera línea de vuelo según el mismo procedimiento seguido en la Instrucción 9h., o sea, según el siguiente procedimiento:

$j_1$ . Tome el primer punto lateral ( $W_1$ ) sobre la fotografía (1) de la línea de vuelo 1, que también está en la primera fotografía de la próxima línea de vuelo, por estar en la superposición lateral de las dos fotografías. El punto ( $W_1$ ) sobre la fotografía (1) de la segunda línea de vuelo se llama ( $W_2$ ).

$j_2$ . Elija otro punto lateral ( $V_1$ ) en la última fotografía de la línea de vuelo 1 que corresponda con ( $V_2$ ) de la línea de vuelo 2.

- j<sub>3</sub>. Tome un pedazo de material transparente que sea suficientemente largo para cubrir el de la línea 1 más el de la línea 2.
- j<sub>4</sub>. Ponga el pedazo de material transparente de la línea 1 debajo de este pedazo grande y señale sobre él los puntos ( $W_1$ ) y ( $V_1$ ).
- j<sub>5</sub>. Quite el pedazo de material transparente de la línea 1 y ponga el de la línea 2 debajo del pedazo grande de tal manera que coincidan los puntos ( $W_1$ ) y ( $W_2$ ) y las líneas ( $W_1V_1$ ) y ( $W_2V_2$ ) también (esta Instrucción es igual a la Instrucción h<sub>1</sub>).
- j<sub>6</sub>. Siga las Instrucciones h<sub>2</sub> - h<sub>4</sub> para llevar cada punto (X) sobre el material transparente de la segunda línea de vuelo a la escala del pedazo de material transparente de la primera línea de vuelo.
- k. El resultado final es una serie de pedazos de material transparente todos de la misma escala y para cada línea de vuelo uno.
- l. Junte los diferentes pedazos de tal manera que los mismos puntos laterales sobre dos pedazos diferentes coincidan lo mejor posible.
- m. Indique todos los puntos clavando una aguja con un martillo sobre un papel blanco que está puesto debajo del conjunto de pedazos, para construir así el mapa básico. Si hay puntos de control, este conjunto debe ser puesto de tal manera que los puntos de control del papel y del material transparente coincidan.
10. Entonces con uno de los métodos descritos en las Instrucciones 8 y 9, el mapa básico puede ser construido completamente por medio de las líneas radiales. Fíjese que con el método descrito en la Instrucción 9 se compensan solamente los errores, en las fotografías, que trabajan linealmente en la línea de vuelo. Eso limita mucho este método. En el método descrito en la Instrucción 8 los errores que trabajan lateralmente también son compensados; además esta compensación se hace completamente de una manera mecánica, libre de toda apreciación humana. También el método de la Instrucción 8 es mucho más rápido y simple.

### Preguntas

1. ¿Explique brevemente sobre qué presuposición está basada la construcción de mapas por medio de triangulaciones con líneas radiales? ¿Es siempre verdad esta presuposición?
2. ¿Cuáles son los errores, mencionados en la instrucción 10, que trabajan longitudinalmente y cuáles trabajan lateralmente?

GUARDE EL MAPA BASICO PREPARADO Y DEJE TODOS LOS PUNTOS  
INDICADOS SOBRE LAS FOTOGRAFIAS.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 11

### LA INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS Y LA CONSTRUCCION DE UNA CLAVE DE CLASIFICACION

#### Materiales necesarios

Las mismas fotografías usadas en el Ejercicio 10. Estereoscopio. Pluma especial o lápices de cera de diferentes colores.

#### Instrucciones

1. Indique sobre todas las fotografías las líneas laterales con lápiz de cera (Ejercicio 2).
2. Indique todas las carreteras y caminitos con un color.
3. Indique todos los ríos con otro color.
4. Indique los límites de ciudades o zonas, tales como edificios, pastos, cultivos agrícolas, bosques y todo lo que según usted merece indicarse separadamente. Los límites deben ser indicados con líneas muy finas con diferentes colores o de diferentes maneras cuando sea necesario (líneas enteras, líneas de puntos, líneas gruesas, etc.). También indique cada división con algún símbolo.
5. Estudie el bosque sobre las fotografías cuidadosamente. Construya una clave de clasificación para los rodales del bosque, que incorpore por lo menos dos de las siguientes características: tipo de bosque, especie o grupo de especies, altura, densidad, diámetro de la copa y topografía. Las dos o más características seleccionadas deben ser mensurables o susceptibles de reconocerse sobre las fotografías y deben ser de importancia primordial para dividir el bosque en partes más o menos homogéneas.
6. Divida el bosque sobre las fotografías en rodales más o menos homogéneos, según las características usadas en su clave de clasificación. Indique los límites de los rodales con pluma o lápiz de cera e indique cada uno de los rodales con el símbolo de su clave de clasificación, o con una cifra correspondiente a la clase en la clave.
7. Cuando sea posible, los resultados de la clasificación deben ser comprobados en el terreno. Para eso indique antes sobre las fotografías el trayecto terrestre que quiere seguir para visitar todos los rodales en los que quiere averiguar algo.
8. Cambie la clasificación del bosque y/o la clave de clasificación según su comprobación terrestre.

DEJE LAS INDICACIONES, LAS DIVISIONES Y LAS CLASIFICACIONES  
SOBRE LAS FOTOGRAFIAS

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

## EJERCICIO 12

### LA CONSTRUCCION DE UN MAPA PLANIMETRICO CON EL SKETCHMASTER

#### Materiales necesarios

Las mismas fotografías usadas en los Ejercicios 10 y 11. El mapa básico preparado en Ejercicio 10. Sketchmaster. Lápiz duro.

#### Instrucciones

1. Tome la primera fotografía de la primera línea de vuelo e insértela en el Sketchmaster.
2. Ponga el mapa básico debajo del Sketchmaster.
3. Mueva la fotografía y el mapa hasta que, mirando en el Sketchmaster, cuatro puntos contiguos indicados sobre la fotografía (puntos laterales, punto principal y un punto transferido) y situados en forma de un rectángulo, estén sobrepuestos lo mejor posible sobre los mismos puntos indicados en el mapa básico preparado en el Ejercicio 10. Si las fotografías han sido tomadas con mucho balanceo, no se pueden sobreponer los puntos muy bien.
4. Transfiera todos los detalles indicados sobre las fotografías, en el Ejercicio 11, al mapa básico con el lápiz duro.
5. Haga lo mismo para las otras partes de la fotografía.
6. Haga lo mismo para todas las fotografías.
7. Indique con un símbolo todas las divisiones sobre el mapa, según la clave de clasificación desarrollada en Ejercicio 11 y colóree el mapa usando para cada símbolo un color diferente. Explique los símbolos y los colores usados en la leyenda del mapa, así como la escala, la dirección del norte, su nombre, la fecha de la construcción del mapa y la fecha de las fotografías usadas. Con eso el mapa está listo.

#### Preguntas

1. ¿Por qué no es posible sobreponer exactamente los puntos laterales y los puntos principales de las fotografías, con sus puntos correspondientes en el mapa básico, si las fotografías han sido tomadas con balanceo? ¿En qué otros casos tampoco es posible?
2. ¿Hay errores debidos a la topografía en el mapa? ¿Por qué los hay? ¿Son grandes estos errores? ¿Cómo pueden ser disminuidos? ¿Pueden ser eliminados por completo?
3. ¿En qué caso resulta el mapa preparado absolutamente libre de errores?

APENDICE A

LISTA BASICA DE LITERATURA RECOMENDADA PARA LA FOTOGRAMETRIA

Libros

BAUMANN, H. Forstliche Luftbild - Interpretation. (Interpretación forestal de fotografías aéreas). Baden, Selbstverlag der Forstdirektion Südwürttemberg - Hohenzollern, 1957. v. 2. 109 p. \$7.00

Observaciones: Libro muy detallado sobre los factores que influyen en la calidad de las fotografías, el reconocimiento de objetos y la interpretación misma; con muchas fotografías aéreas sueltas, que sirven como ejemplos. Todo dedicado exclusivamente a la ciencia forestal.

COMISION FORESTAL DEL ESTADO DE MICHOACAN. Fotogrametría aplicada a la formulación de inventarios forestales. Morelia, México, 1959. 108 p. Gratis.

Observaciones: Experiencias con fotografías aéreas en el inventario de los bosques de pinos de Michoacán, México. Da algunos principios de la fotogrametría, una descripción del trabajo de campo en combinación con las fotografías aéreas, el método de la construcción de los planes y el sistema de muestreo usado en el inventario.

LUEDER, D. R. Aerial photographic interpretation: principles and applications. (Interpretación fotográfica aérea: principios y aplicaciones.) New York, McGraw-Hill, 1959. 462 p. \$17.50

Observaciones: Libro de texto detallado para la interpretación de las fotografías aéreas, especialmente para fines geológicos y de suelos.

SCHVIDEFSKI, K. An outline of photogrammetry (Un esbozo de la fotogrametría) Translation by John Fosberry. New York, Pitman Publishing Corporation, 1959. 326 p. \$13.00

Observaciones: Libro de texto que describe muy en detalle todo lo que se puede medir en fotografías aéreas y cómo.

SPURR, S. H. Forest photogrammetry and aerial mapping; a bibliography 1887-1955. (Fotogrametría forestal y la construcción de mapas con fotografías aéreas; una bibliografía 1887-1955.) Michigan, School of Natural Resources, University of Michigan, 1956. 60 p. Gratis

Observaciones: Una lista con toda la literatura publicada desde 1887 hasta 1955 de la fotogrametría forestal y de la construcción de mapas con fotografías aéreas.

\_\_\_\_\_ Photogrammetry and photo-interpretation, with a section on

applications to forestry. (Fotogrametría e interpretación, con una sección sobre las aplicaciones a la ciencia forestal.) 2ª ed. New York, Ronald Press, 1960. 472 p. \$12.00

Observaciones: Excelente libro de texto sobre la fotogrametría y la interpretación en general, con especial énfasis en la dasonomía. Da todos los principios.

TROREY, L. G. Handbook of aerial mapping and photogrammetry. (Manual de la construcción de mapas con fotografías aéreas y de la fotogrametría.) 2ª ed. Cambridge, University Press, 1952. 180 p. \$ 7.50

Observaciones: Libro de texto que describe detalladamente cómo se construyen mapas a base de fotografías aéreas. También da todos los métodos para hacer mediciones en fotografías aéreas, no solamente en fotografías verticales, sino también en las oblicuas.

### Publicaciones periódicas

I. T. C. Publications (Holanda). I.T.C., Kanaalweg 3, Delft, Holanda. Irregular. \$5.00 por año

Observaciones: Estas publicaciones dan resultados nuevos de las investigaciones de este prestigioso centro de fotogrametría e interpretación.

PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING (EE. UU.) American Society of Photogrammetry, 1515 Massachusetts Ave. N.W., Washington 5, D.C. Trimestral. \$6.00 por año.

Observaciones: Revista profesional excelente, que trae lo último en fotogrametría. Cubre todos los campos, inclusive la dasonomía.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

APENDICE B

GLOSARIO DE LOS TERMINOS TECNICOS Y LOS EQUIVALENTES INGLES

A.

Anaglifo "anaglyph" Dos fotografías que forman un par estereoscópico, impresas en una sola impresión en dos colores complementarios.

B.

Balanceo "tilt" La desviación del eje óptico de la cámara de la vertical al momento de la toma de la fotografía aérea (del tipo vertical).

Barra de paralaje "parallax bar" (véase estereómetro)

Base aérea "airbase" La distancia en el terreno entre los dos puntos principales, o sea, corresponde a la longitud basal en las fotografías.

C.

Compensado "ratioed" Se dice de una fotografía que está compensada cuando la variación de escala, debida a las diferencias en la altura de vuelo, ha sido eliminada.

Cuña de paralaje "parallax wedge" Instrumento que sirve para medir diferencias de paralaje y que consiste de dos líneas convergentes dibujadas sobre algún material transparente, una de las cuales tienen cifras indicando las distancias de divergencia entre ellas.

D.

Desplazamiento "displacement" El hecho de que un objeto no tiene en la fotografía la posición, respecto al punto principal, que debe tener; debido al balanceo, a su altura, al relieve o al equipo fotográfico.

Desplazamiento angular "crab" La desviación angular de la línea de las fotografías, del vuelo del avión.

Densidad o espesura "density", "crown density" (De un rodal) El porcentaje del espacio en el rodal ocupado por las copas de los árboles.

Diferencia de paralaje "parallax difference" (Entre dos puntos) La diferencia algebraica entre los paralajes absolutos de los dos puntos.

**E.**

Espesura o densidad	"density", "crown density"	(de un rodal) Véase densidad.
Escala de densidad	"density scale"	Una serie de diagramas o de recortes de fotografías aéreas, representando rodales de varias densidades.
Estereómetro	"stereometer"	Instrumento que sirve para medir las diferencias de paralaje y que consiste de dos pedazos de vidrio cada uno con un punto en su mitad, de los cuales uno es fijo mientras que el otro pedazo es móvil y conectado con el anterior por medio de una barra que está calibrada en centésimos o décimos de milímetro indicando la distancia entre los dos puntos.
Enlace	"bridging"	Es el término usado en la construcción de mapas a base de un par estereoscópico de fotografías aéreas, que indica que no se orienta cada vez el par en el instrumento, sino que se remueve la primera fotografía del par y se inserta la otra fotografía que forma un par con la que quedó.

**F.**

**G.**

**H.**

**I.**

Isocentro	"isocenter"	El punto en las fotografías aéreas situado en la intersección de la línea formada por el plano de la fotografía balanceada y el plano ocupado por la fotografía, si ésta hubiera sido horizontal, y la línea que une el punto nadir y el punto principal.
-----------	-------------	---

**J.**

**K.**

**L.**

Línea basal	"base line"	La línea que une el punto principal y el punto principal transferido en una sola fotografía aérea.
Línea de vuelo	"flight line", "course line"	La línea que une los puntos principales sucesivos de todas las fotografías aéreas tomadas seguidamente.
Línea de demarcación o línea lateral	"match line"	La línea que divide en dos la superposición lateral o la distancia entre el punto principal y el punto principal transferido,

y que es paralela al margen de la fotografía correspondiente.

Línea radial "radial line"

Línea que conecta el punto principal con cualquier otro punto.

Longitud basal "base length"

La distancia entre el punto principal y el punto principal transferido en una sola fotografía aérea.

### M.

Malla o  
cruadrícula "grid"

Implemento para medir superficies que consiste simplemente de líneas, trazadas sobre algún material transparente, que forman una malla de cuadrados "square grid" o de rectángulos o que consiste solamente de una serie de puntos espaciados mecánicamente (malla de puntos, "dot grid"): cada cuadrado, rectángulo o punto representa cierta superficie.

### N.

Nadir "nadir point"

Véase punto nadir.

### O.

### P.

Paralaje "parallax"

El desplazamiento combinado de un objeto en un par estereoscópico de fotografías aéreas.

Paralaje absoluto "absolute parallax"

(de un punto) Es la suma de las distancias, paralelas a la línea de vuelo, de las dos imágenes del punto hasta los respectivos puntos principales.

X-paralaje "X-parallax"

Paralaje absoluto estereoscópico "absolute stereoscopic parallax"

(de un objeto) Es la diferencia algebraica de las distancias, paralelas a la línea de vuelo, de las dos imágenes del objeto hasta los respectivos puntos principales, o sea, es igual a la diferencia de paralaje entre los dos extremos del objeto; otra manera de decir lo mismo: el paralaje absoluto estereoscópico de un objeto es la suma de los desplazamientos de la imagen del objeto, paralelo a la línea de vuelo.

X-paralaje "X-parallax"

Pseudoscópico "pseudoscopic"

Es la visión tridimensional inversa, o sea, se ven las montañas como huecos en la tierra, los ríos como divisiones de aguas, etc.

Punto de reflexión solar "solar reflection point"

Es el punto en la fotografía donde está la imagen del sol.

Punto de sombra	"shadow point"	
Punto sin sombra	"no-shadow point, hotspot"	Es el punto en la fotografía aérea donde el desplazamiento debido a la altura del objeto es igual a la sombra y está en su misma dirección, con el resultado de que la sombra no es visible.
Punto isocentro	"isocenter"	Véase isocentro.
Punto lateral	"wing point"	Es el punto situado más o menos en el medio de la superposición lateral y sobre una línea perpendicular a la línea de vuelo desde el punto principal (o desde uno de los dos puntos principales transferidos).
Punto nadir	"nadir point"	Es el punto en la fotografía aérea donde una línea perpendicular al suelo toca la película a través del centro del lente.
punto vertical	"vertical point"	
punto perpendicular	"plumb point"	
Punto perpendicular	"plumb point"	Véase punto nadir.
Punto principal	"principal point"	Es el centro óptico de la fotografía aérea.
Punto principal transferido	"conjugate principal point"	Es el punto principal, transferido de una de las fotografías de un par estereoscópico a la otra.
Punto sin sombra	"no-shadow point"	Véase punto de sombra.
Punto vertical	"vertical point"	Véase punto nadir.

Q.

R.

Rectificado	"rectified"	Se dice de una fotografía aérea de tipo vertical que ha sido rectificadas, cuando el balanceo ha sido eliminado.
-------------	-------------	--

S.

Superposición	"overlap"	Entre dos fotografías aéreas: es aquella parte que resulta fotografiada en ambas fotografías.
Superposición lateral	"lateral overlap"	Es la superposición entre fotografías de líneas de vuelo adyacentes.
Superposición longitudinal	"longitudinal overlap"	Es la superposición entre fotografías adyacentes de una misma línea de vuelo.

T.

Templete "templet" El conjunto de reglillas, armado a base de una sola fotografía y representando las diferentes líneas radiales entre el punto principal y los puntos adicionales (puntos laterales, puntos de control y puntos transferidos).

U.

V.

Vectógrafo "vectograph" Véase anaglifo, pero en vez de colores complementarios, se usa luz polarizada; por ejemplo una imagen es impresa con luz polarizada a 90°.

W.

X.

X-paralaje "X-parallax" El desplazamiento paralelo a la línea de vuelo. (Véase paralaje absoluto.)

Y.

Y-paralaje "Y-parallax" Desplazamiento perpendicular a la línea de vuelo.

Y-paralaje "Y-parallax" (de un punto) La diferencia entre las distancias perpendiculares de sus dos imágenes de la línea de vuelo.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

APENDICE C

TERMINOS TECNICOS INGLES - ESPAÑOL \*

<u>A.</u>	Absolute parallax Airbase Anaglyph	paralaje absoluto base aérea anaglifo
<u>B.</u>	Base length Base line Bridging	longitud basal línea basal enlace
<u>C.</u>	Conjugate principal point Course line Crab Crown density Crown density scale	punto principal transferido línea de vuelo desplazamiento angular densidad, espesura escala de densidad
<u>D.</u>	Density Density scale Displacement Dodging (automatic)  Dot grid	densidad, espesura escala de densidad desplazamiento regulación automática de la luz usada en la impresión del negativo malla de puntos
<u>F.</u>	Flight line	línea de vuelo
<u>G.</u>	Grid	malla o cuadrícula
<u>H.</u>	Hotspot	punto de sombra, punto sin sombra
<u>I.</u>	Isocenter	isocentro, punto isocentro
<u>K.</u>		
<u>L.</u>	Lateral overlap Longitudinal overlap	superposición lateral superposición longitudinal
<u>M.</u>	Match line	línea de demarcación o línea lateral
<u>N.</u>	Nadir point No-shadow point	punto nadir punto sin sombra, punto de sombra
<u>O.</u>	Overlap	superposición
<u>P.</u>	Parallax Parallax bar Parallax difference	paralaje barra de paralaje, estereómetro diferencia de paralaje

\* Para la definición de los términos, véase el glosario en español.

Parallax wedge	cuña de paralaje
Plumb point	punto perpendicular, punto nadir, punto vertical
Principal point	punto principal
Pseudoscopic (visión or image)	visión o imagen pseudoscópica

Q.

<u>R.</u>	Radial line	línea radial
	Ratioed	compensado
	Rectified	rectificado

<u>S.</u>	Shadow point	punto de sombra, punto sin sombra
	Slot	ranura
	Solar reflection point	punto de reflexión solar
	Stereogram	estereograma
	Stereometer	estereómetro

<u>T.</u>	Templet	templete
	Tilt	balanceo

U.

<u>V.</u>	Vertical point	punto vertical, punto nadir, punto perpendicular
-----------	----------------	---

<u>W.</u>	Wing point	punto lateral
-----------	------------	---------------

<u>X.</u>	X-parallax	X-paralaje
-----------	------------	------------

<u>Y.</u>	Y-parallax	Y-paralaje
-----------	------------	------------

Z.

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0



IICA  
526.982  
157

3344

I I C A

Manual de fotogrametría forestal.

FECHA	PRESTADO A
Dic 29	M. Jorquera

I I C A  
526.982  
157

3344

Inst. Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Manual de fotogrametría forestal.



IICA  
526.982  
157

3344

I I C A

Manual de fotogrametría forestal.

FECHA

PRESTADO A

Dic 29

M. Jorquera

I I C A  
526.982  
157

3344

Inst. Interamericano de Ciencias  
Agrícolas.

Manual de fotogrametría forestal.

IICA CH