



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉTODO GENERAL DE LA FOTOGRAMETRÍA

ING. LUIS PALOMINO RIVERA

NOTA TECNICA B1-2

METODO GENERAL DE LA FOTOGRAFIA Y MONTAJE DE UN
PAR DE FOTOGRAFIAS AEREAS PARA SU OBSERVACION CON ES-
TEREOSCOPIO

Ing. Luis Palomino Rivera

Sección de Ingeniería Topográfica y Geodésica.
Facultad de Ingeniería.

1.— ESTUDIO Y APLICACION DE LA FOTOGRAFIA AEREA

1.1 DEFINICION Y CUALIDADES DE LA FOTOGRAFIA.

La fotografía es el registro luminoso, durable e indeleble de un objeto sobre una base o soporte. Es un documento que presenta las siguientes características, muy convenientes para su uso en la solución de varios problemas de ingeniería.

- 1.1.1 El registro es instantáneo, lo que permite por una parte, el estudio de objetos en movimiento, bien sea temporal o permanente, y por otra, el estudio de los objetos desde puntos en movimiento, como aviones y satélites.
- 1.1.2 Proporciona del objeto, una información prácticamente completa y de gran precisión.
- 1.1.3 Es un documento de fácil manejo, de conservación prácticamente ilimitada y disponible en todo momento, bien sea para su aprovechamiento geométrico o cualitativo.

1.2 CAMPOS DE ESTUDIO Y APLICACION

El uso de la fotografía en la ingeniería se divide en dos partes muy importantes: el aprovechamiento cualitativo o Fotointerpretación y el aprovechamiento geométrico o Fotogrametría.

- 1.2.1 La Fotointerpretación es una técnica y para su realización se requieren dos conocimientos fundamentales que son: el conocimiento científico y técnico del proceso fotográfico para poder hacer un análisis crítico de los resultados obtenidos y un buen conocimiento de los objetos que se identifican o prospeccionan en el documento fotográfico. De un modo general, su estudio comprende las siguientes partes:

Calidad de imagen:

- . terreno.
- . luz y atmósfera
- . óptica fotográfica
- . emulsión y filtro

Fotoidentificación:

- . análisis general de la imagen
- . identificación de detalles
- . estudio de formas
- . delimitación de conjuntos
- . clasificación para inventario

INDICE

TEMAS	Página
1. ESTUDIO Y APLICACION DE LA FOTOGRAFIA AEREA.	2
2. CAMARA METRICA PARA FOTOGRAFIA AEREA.	2
3. NOCIONES DEL VUELO FOTOGRAFOMETRICO.	7
4. ORIENTACION.	13
5. RESTITUCION.	16
6. VISION ESTEREOSCOPICA.	18
7. CONDICIONES PRINCIPALES PARA VISION ESTEREOSCOPICA.	20
8. MONTAJE DE PARES FOTOGRAFICOS PARA SU EXAMEN ESTEREOSCOPICO.	22
9. EMULSIONES.	25

- Fotointerpretación:
- . definición
 - . bases fotográficas
 - . toma de fotografías
 - . aplicación de especialistas
 - . metodología
 - . automatización
 - . inventario de recursos

1.2.2 La Fotogrametría es una ciencia que se propone resolver los elementos geométricos y sus magnitudes, como: coordenadas, distancias, ángulos, áreas, volúmenes y la posición en el espacio de los elementos en estudio, por medio de fotografías tomadas para este fin.

Su estudio comprende las siguientes partes:

- Propiedades Geométricas:
- . escala
 - . imagen perspectiva del objeto
 - . defectos métricos (cámara)
- Uso directo de las fotografías:
- . fotografías aisladas
 - . examen de pares estereoscópicos
 - . determinación de distancias y desniveles
 - . alteración del modelo
 - . uso en el terreno
- Estereofotogrametría:
- . toma de fotografías aéreas
 - . reconstitución de haces perspectivos
 - . restitución
 - . instrumentos
 - . ortofotogrametría
 - . automatización
 - . organización de trabajos

1.3 APLICACIONES.

Las aplicaciones actuales de la fotografía son muy variadas y presentan desde luego conveniencias muy importantes desde el punto de vista de la economía y precisión de los resultados. Ejemplos:

- 1.3.1 Topografía :
- Levantamientos de grandes zonas de terrenos, determinación de curvas de nivel, localización de vías de comunicación, levantamientos urbanos y catastrales, determinación de posiciones geodésicas por fotografías tomadas de satélites artificiales, etc.

- 1.3.2 Arquitectura y Arqueología: Reconstitución de elementos deteriorados, archivo de formas, reproducción parcial o total de edificios.
- 1.3.3 Objetos en movimiento o transformación: Estudio de hélices, de movimiento de corrientes naturales o provocadas, formas y movimiento de nubes, resistencia de materiales por las deformaciones causadas por la acción de cargas determinadas, estudio de trayectorias de proyectiles.

En todos los casos, el método general es el mismo y las diversas operaciones a efectuar son las siguientes:

- Toma de fotografías con una cámara métrica, de la que se han determinado sus elementos internos.
- Determinación de elementos externos de diversos haces perspectivas, registrados bajo la forma de imágenes fotográficas.
- Identificación de rayos homólogos de diversos haces.
- Restitución o investigación de la intersección de rayos homólogos.

Las características de estas cuatro operaciones, dependen del problema particular a resolver.

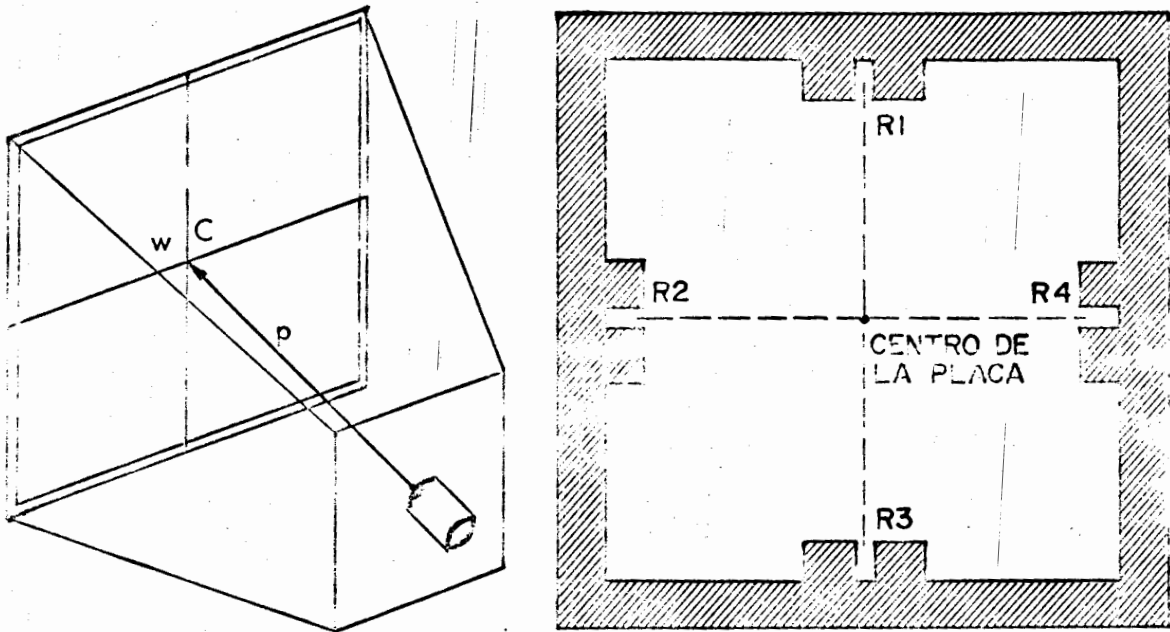
2. — CAMARA METRICA PARA FOTOGRAFIA AEREA

2.1 CONSTITUCION TEORICA DE LA CAMARA.

Se llama cámara métrica de toma de fotografías a una cámara fotográfica donde la construcción permite definir con precisión la posición de la emulsión con relación al objetivo fotográfico. La cámara métrica se compone esencialmente de un cuerpo de cámara de metal ligero (aleación poco sensible a los cambios de temperatura) — que porta adelante, el objetivo fotográfico y en la parte de atrás un plano rigurosamente liso el fondo de la cámara, donde la emulsión se apoya al momento de exposición, este plano está constituido por un cuadro o por un vidrio de caras planas y paralelas. La distancia principal p (distancia de un punto fijo del objetivo al plano del fondo de la cámara) es una constante característica de la cámara, el plano del fondo de la cámara es perpendicular por construcción al eje óptico del objetivo.

Para definir el punto principal w , se materializan sobre el fondo de la cámara, cuatro referencias R_1, R_2, R_3 y R_4 , que se imprimen sobre los clisés en cada exposición las rectas $R_1 R_3$ y $R_2 R_4$, hacen las veces de dos ejes de coordenadas rectangulares,

cuya intersección define el punto C , origen de coordenadas o centro de la placa. El punto w puede ser definido con precisión por sus coordenadas en ese sistema particular; por construcción se hace coincidir w y C , es decir que se dispone de un objetivo tal que su eje óptico perpendicular al plano del fondo de la cámara, corte al centro de la placa.



Como todo aparato fotográfico, la cámara métrica tiene los accesorios indispensables: diagrama, obturador y filtro. Las propiedades de estos accesorios no influyen en las características métricas de la cámara, sin embargo, en fotogrametría aérea, las cámaras equipadas de un obturador focal, no pueden ser consideradas como cámaras métricas.

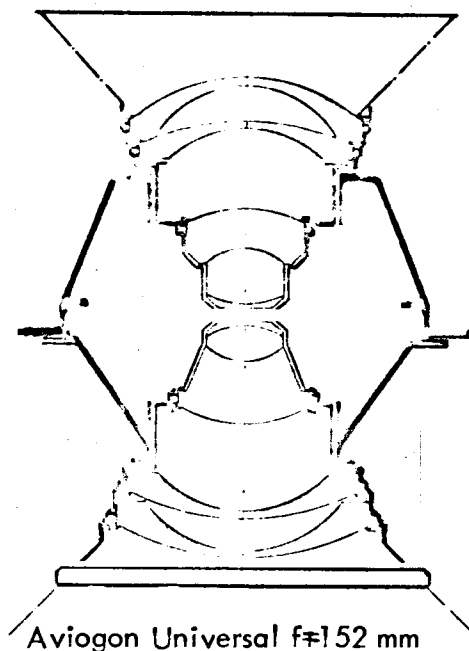
2.2 DIFICULTADES DE REALIZACION PRACTICA.

El esquema anterior es un esquema teórico que representa el ideal que todo constructor se esfuerza en realizar de la mejor manera posible. Pero en la práctica, la realización de las condiciones geométricas del esquema teórico no pueden ser obtenidos -- más que con una cierta aproximación; como la cámara métrica es la pieza de base de todo sistema fotogramétrico, puesto que define los haces perspectivas sobre los que se realizan las medidas, importa precisar las razones de las dificultades de realización y los límites que se pueden lograr actualmente.

2.3 OBJETIVO FOTOGRAFICO.

En fotogrametría y sobre todo en fotogrametría aérea, que es el caso más severo, las cualidades que se buscan para un objetivo fotográfico son las siguientes:

- excelente nitidez
- campo angular amplio
- gran claridad
- poca curvatura de campo
- poca distorsión, o por lo menos muy simétrica



La realización simultánea de estas condiciones es muy difícil, pues implica una corrección muy minuciosa de diversas aberraciones (entre otras dificultades) lo que ocasiona que un objetivo fotogramétrico esté formado por varios lentes o grupos de lentes en los que los índices y los radios de curvatura guardan relaciones muy complejas. Por las dificultades de realización no se pueden aceptar simplemente las propiedades teóricas de un tipo de objetivo, sino que es necesario controlar minuciosamente cada objetivo: la nitidez en el conjunto del campo, la curvatura de campo, la claridad y la distorsión deben ser objeto de mediciones rigurosas para que la comparación con las cualidades teóricas permita decidir si el objetivo es aceptable o no para los trabajos fotogramétricos.

2.4 FONDO DE LA CAMARA.

El cuadro o vidrio de apoyo de la emulsión debe definir un plano; es difícil de lograr una superficie de estas características para un área de unos 400 cm² rigurosamente plana. Por otra parte, el soporte de la emulsión (placa o película) no es rigurosamente plano y su apoyo sobre el fondo de la cámara tampoco es riguroso, de donde resulta que el plano de la emulsión está definido por una aproximación que en las mejores condiciones llega a algunos centésimos de milímetro.

Por otra parte, la emulsión misma no es un plano puesto que está formado por una capa de cierto espesor y la imagen de un punto está constituido realmente por un volumen tridimensional de plata.

Finalmente, las referencias o marcas fiduciales son colocadas con cierta imprecisión; definen también dos rectas donde la ortogonalidad no es perfecta y por lo tanto, el punto de intersección no define rigurosamente el centro de la placa o centro del campo. Como en el caso del objetivo, el fondo de la cámara debe ser objeto de un minucioso control antes de su utilización. La planisidad debe ser asegurada con una tolerancia mínima (algunos centésimos de milímetro) y la ortogonalidad de las líneas de referencia con una tolerancia de orden de 0.5 centígrado

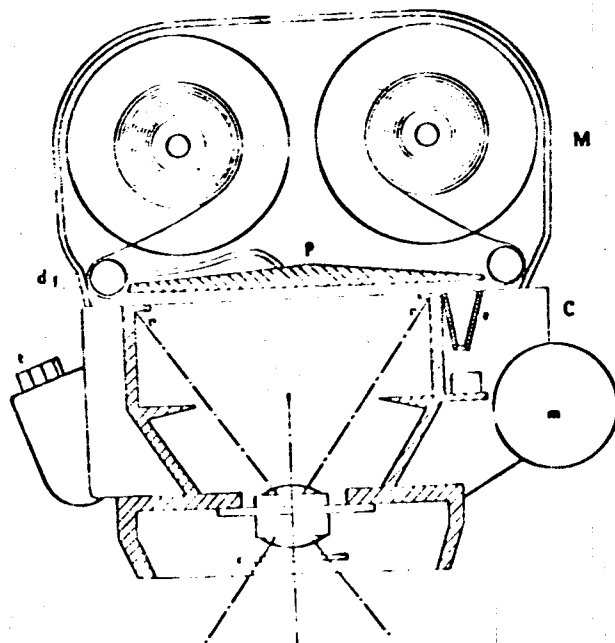
2.5 CONJUNTO OBJETIVO-FONDO DE LA CAMARA.

El objetivo debe ser montado sobre la cámara de modo que su eje óptico sea perpendicular al plano de la emulsión; si el eje óptico está mal definido y el plano de la emulsión también, esta ortogonalidad solo puede ser aproximada. Es necesario distinguir en efecto, que el eje óptico del objetivo y el eje mecánico de la cámara pueden no ser coincidentes, ni ser ni uno ni otro, perpendiculares al plano del fondo de la cámara.

El objetivo y el fondo de la cámara están ligadas rígidamente el uno al otro, sin defectos, si existen, son permanentes y características de la cámara métrica. Los defectos de montaje pueden, dado el caso, modificar las características ópticas del objetivo y en particular introducir las disimetrías de la ley de la distorsión.

2.6 ESQUEMA DE UNA CAMARA FOTOGAMETRICA.

- M: magazine intercambiable
- C: cuerpo de la cámara
- p: plato de presión
- d: dispositivo de depresión (planisidad de la película)
- e: registro de las características de la fotografía: nivel, misión, fecha, número de orden, etc.
- t: comando del tiempo de exposición.
- m: motor.

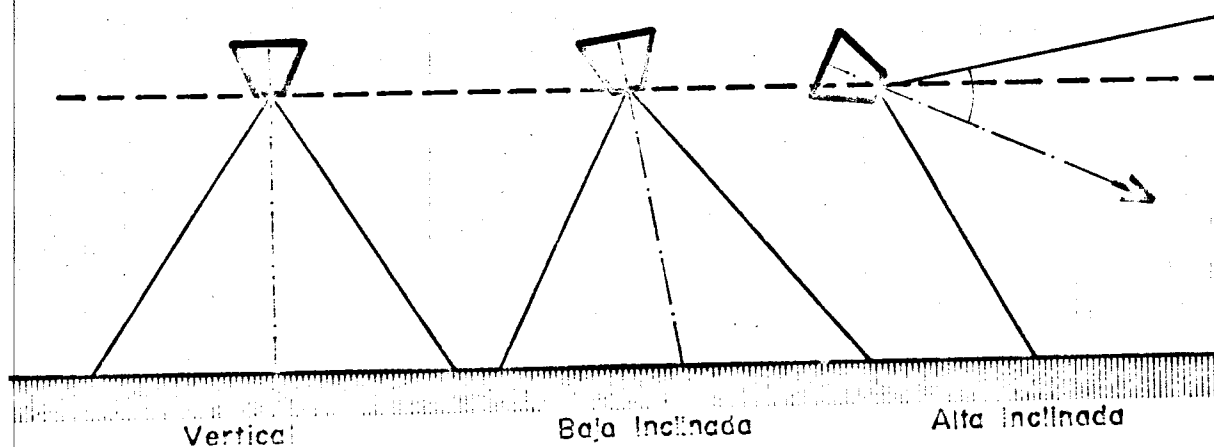


3. — NOCIONES DEL VUELO FOTOGRAMETRICO

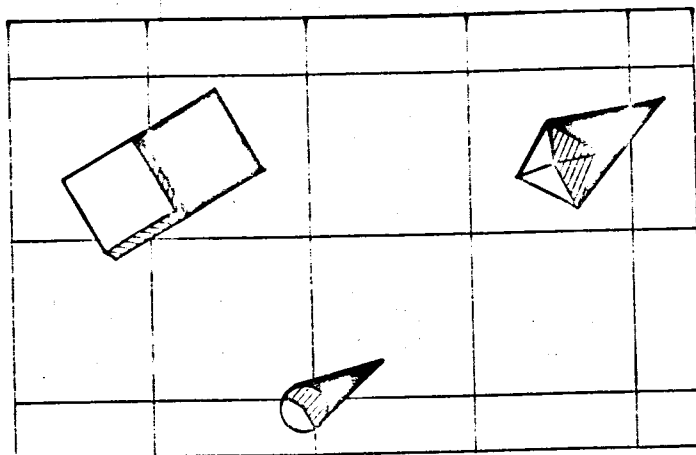
3.1 CLASIFICACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS.

Las fotografías aéreas se clasifican en tres categorías de acuerdo a la inclinación de la cámara fotogramétrica.

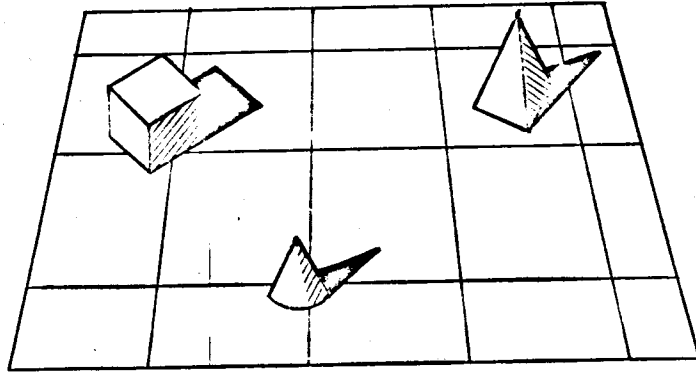
Se tienen:



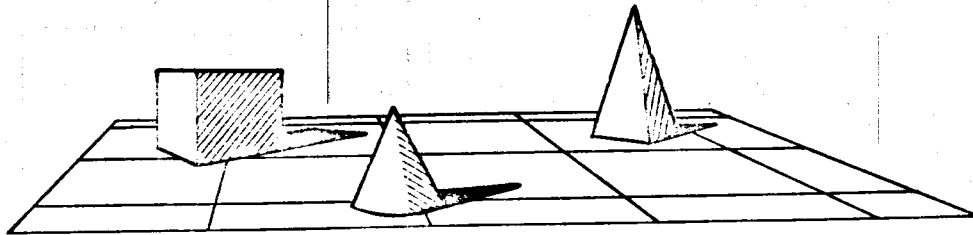
3.1.1 Fotografía vertical. El eje óptico de la cámara es casi coincidente con la vertical del lugar. Se aceptan 5° como máximo de separación entre ambos.



3.1.2 Fotografía baja inclinada. El eje óptico está inclinado respecto a la vertical del lugar, pero el horizonte no aparece en la fotografía.



3.1.3 Fotografía alta inclinada o panorámica. El horizonte aparece en la fotografía. Es necesario, para esta fotografía que el ángulo de inclinación sea mayor que un ángulo recto menos la mitad del ángulo de campo de la cámara utilizada.



3.2 ESCALA DE UNA FOTOGRAFIA DE EJE VERTICAL.

Considerando un terreno plano y horizontal, la fotografía representa una perspectiva donde el terreno es también horizontal y consecuentemente, paralelo al terreno.

Se puede establecer la siguiente relación:

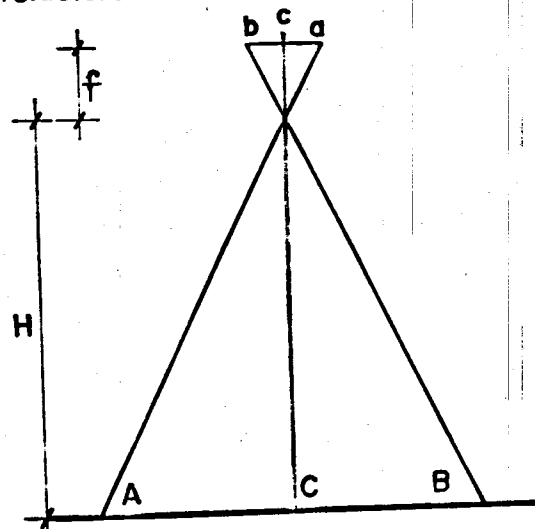
$$E = \frac{ab}{AB}$$

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f}{H}$$

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

En la que:

E: escala.



A, B, C: puntos sobre el terreno.

a, b, c: imágenes de A, B, C en la foto.

H : altura de vuelo del avión.

f : distancia focal de la cámara.

El caso anterior es ideal porque el terreno en general presenta diversas elevaciones y H tiene diferentes valores, de tal modo que, una fotografía puede tener tantas escalas como puntos de diferente altura se consideren. Por tanto, se acepta como escala media la siguiente.

$$E_m = \frac{f}{H_m}$$

en la que:

E_m : es la escala media.

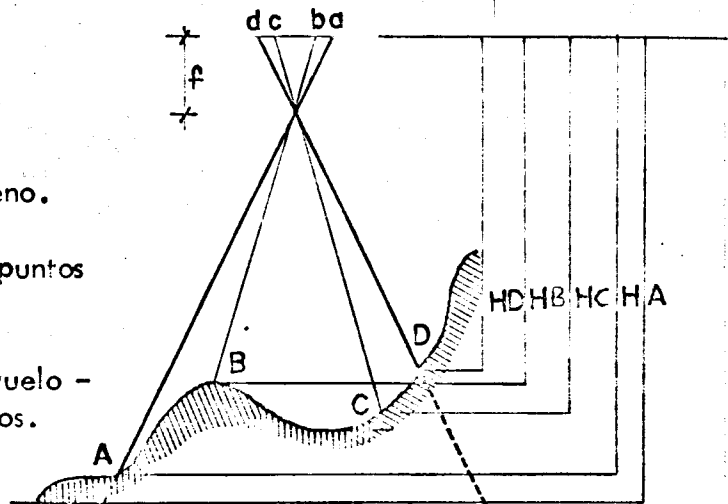
A, B, C, D: puntos del terreno.

a, b, c, d: imágenes de los puntos en la foto.

$H_A, H_B \dots H_D$: altura de vuelo de los puntos.

H_m : altura media de vuelo.

f: es la distancia focal de la cámara.



Elección de escala para el vuelo fotogramétrico. La regla general es de adoptar para la escala, el valor más pequeño posible con las exigencias técnicas a satisfacer, lo que permite reducir el precio de costo y obtener el aprovechamiento más rápido y económico.

La elección para trabajos topográficos debe ser aquella que permita identificar la mayor parte de detalles en el plano y obtener la precisión planimétrica y altimétrica que requiera la topografía que se pretende.

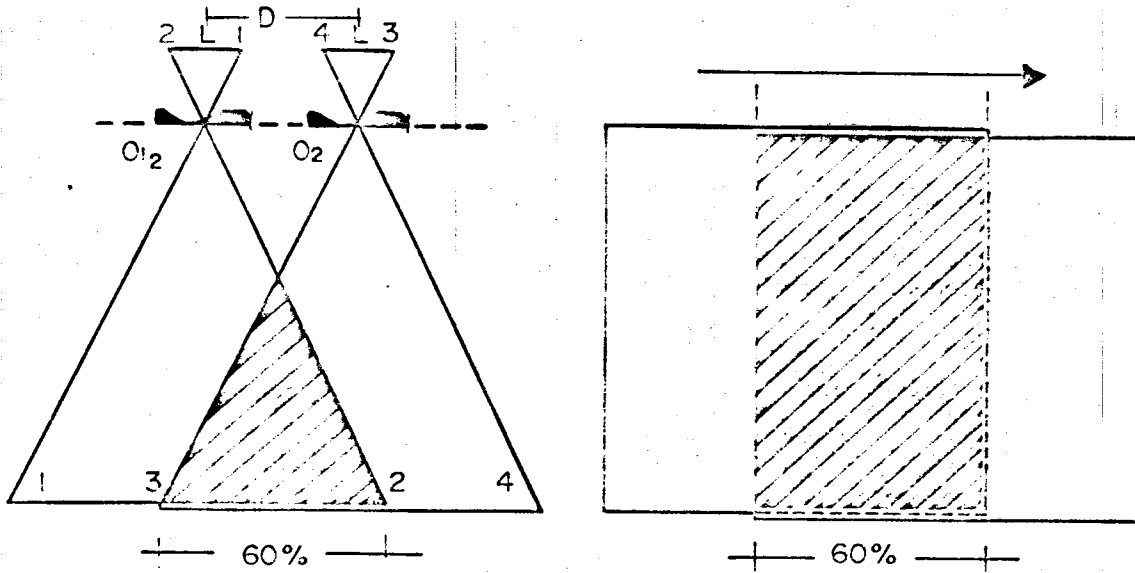
3.3 FORMATO.

El tamaño de las fotografías ha variado con el desarrollo que han tenido las cámaras fotogramétricas y en general los instrumentos de fotogrametría. En Europa se usa el formato de 19x19 cm. con superficie útil de 18x18 cm. En América se utiliza el formato de 23x23 cm. (9" x 9").

3.4 RECUBRIMIENTO.

Los vuelos fotogramétricos son realizados de modo que todo punto del terreno figure por lo menos en dos fotografías consecutivas para que puedan ser sometidas a visión estereoscópica.

3.4.1 Traslape longitudinal. Se acostumbra un recubrimiento o traslape de 60% - en las fotografías de una misma línea de vuelo.



Si el terreno es sensiblemente horizontal y la altura de vuelo es constante, el intervalo de tiempo para cada toma de las fotografías, es el siguiente:

$$D = \frac{40 L H}{100 F} \quad v = \frac{D}{t}$$

L: es el largo de la fotografía en el sentido del vuelo. Por lo tanto:

$$t = \frac{D}{v}$$

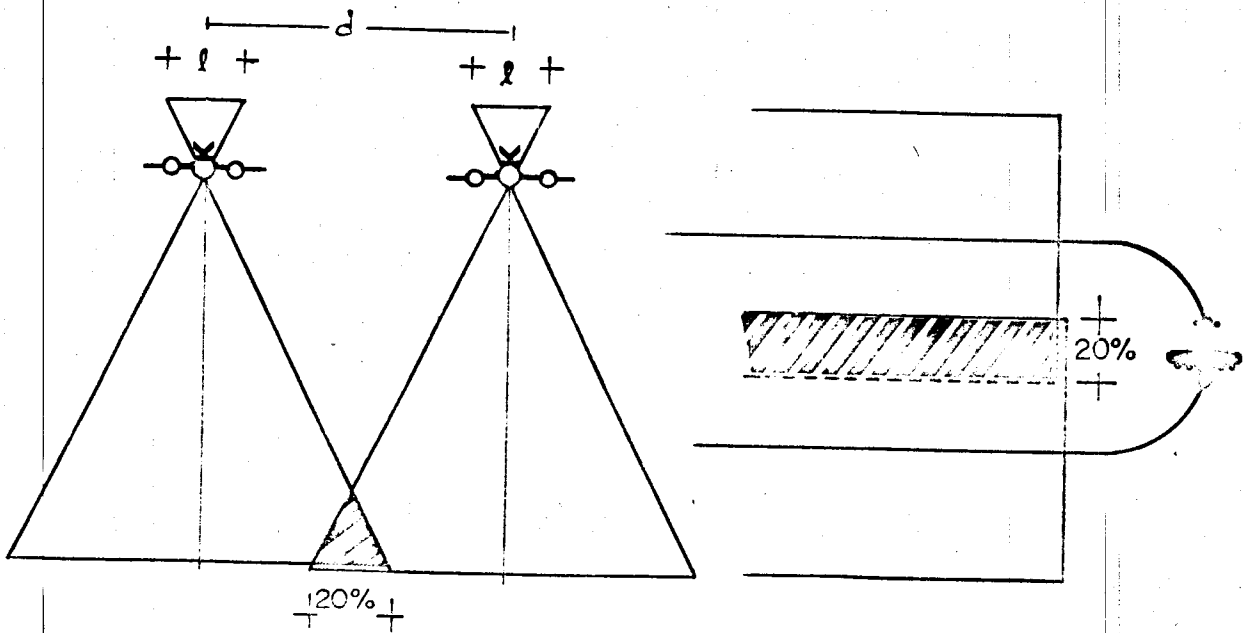
t : intervalo de toma.

D: distancia entre tomas.

v: velocidad del avión.

3.4.2 Traslape transversal. El traslape recomendable para fotografías de dos líneas de vuelo consecutivas es de 20%.

La figura siguiente muestra la parte frontal de dos líneas de vuelo. Considerando un traslape del 20% , se tiene:



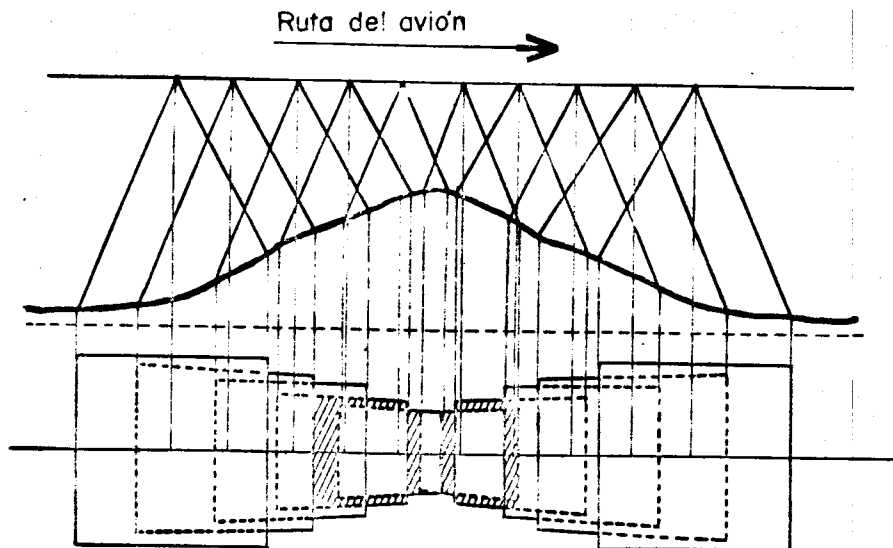
$$d = \frac{80 \lambda H}{100 f}$$

λ : ancho de la fotografía.

Para formato cuadrado $\lambda = L$

3.5 INFLUENCIA DEL RELIEVE DEL TERRENO.

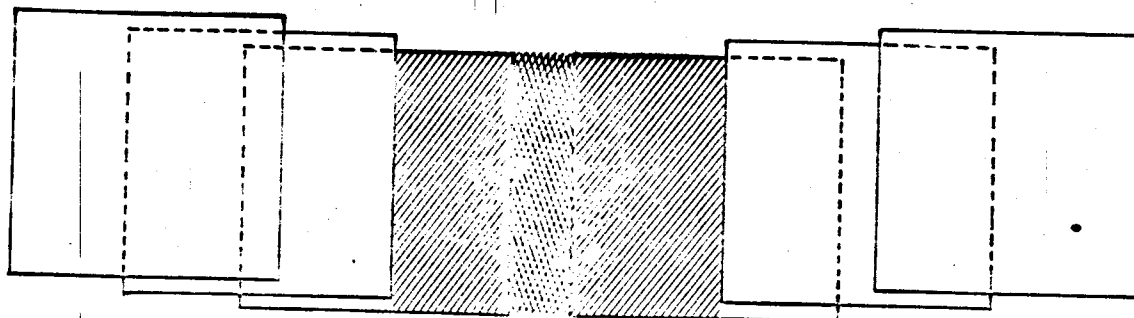
Si el terreno presenta relieve, la escala varía notablemente de un punto a otro, en la misma fotografía y la superficie cubierta es menor si la altura del terreno es mayor, por lo que, para obtener los recubrimientos indispensables conviene calcular los intervalos de toma de fotografías y las distancias entre bandas para las regiones más elevadas del terreno.



3.6 FALLAS.

Son las anomalías en la cobertura fotográfica que se producen por incidentes diversos, como son: errores de navegación, disparo del obturador y nubes.

Las fallas pueden ser: completas (no aparece el terreno en ninguna fotografía) y de recubrimiento estereoscópico (el terreno aparece sólo en una fotografía).



▨ Falla completa
▧ Falla estereoscópica

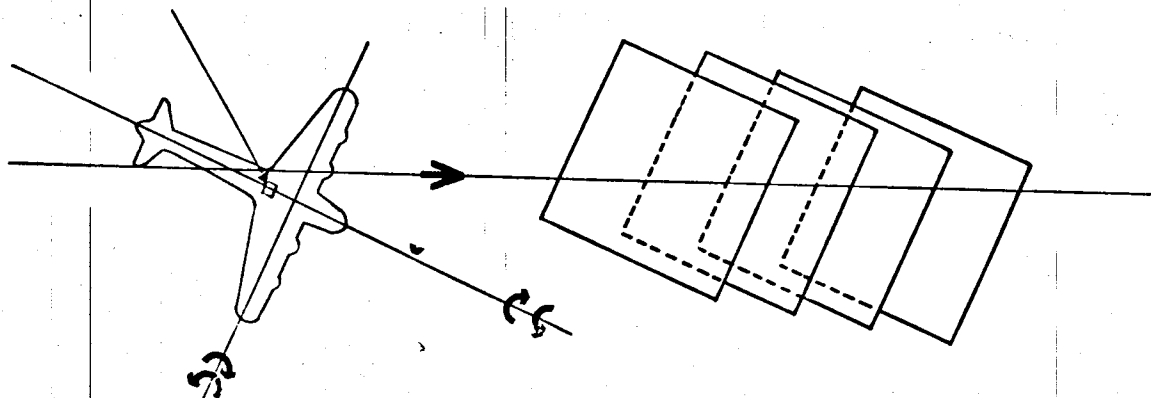
3.7 GIROS.

Las fotografías tomadas en un vuelo fotogramétrico representan perspectivas del terreno, con giros y movimientos que tuvo el avión en el momento de la toma. Se distinguen los que a continuación se indican:

3.7.1 1) Deriva: es la desviación angular del eje longitudinal del avión y la línea de vuelo.

3.7.2 2) Inclinación: es el ángulo de inclinación del eje longitudinal del avión y la línea de vuelo (horizontal).

3.7.3 3) Balanceo: es el ángulo formado por el eje transversal del avión y la vertical del lugar.



4. — ORIENTACION

Si se consideran dos fotografías consecutivas con una distancia entre cada punto de toma igual a D , al proyectar sus diapositivas sobre una superficie plana, se producen dos conos proyectivos que al cortarse sus rayos homólogos, forman una reproducción fiel del terreno, siempre y cuando los haces proyectados tengan exactamente la misma posición que cuando fueron tomados en el vuelo. La escala de la maqueta estereoscópica formada depende el valor de D .

La operación por la cual se consigue que los conos proyectivos tengan la misma posición que cuando fueron tomados, se llama Orientación de las cámaras o proyectores. Puede ser interna o externa.

4.1 ORIENTACION INTERNA.

Es la operación gracias a la cual, por medio de las placas correspondientes, se reproduce en cada proyector un haz de rayos idéntico al que impresionó la placa en el momento de la toma.

Para que la orientación interna sea correcta se deberán cumplir las siguientes condiciones:

- 4.1.1 Si se trata de proyección óptica, los objetivos de los proyectores deben ser características iguales a los de las cámaras fotogramétricas usadas en el vuelo.

La distancia focal de los proyectores debe ser igual a las de las cámaras correspondientes. En los aparatos de restitución, la distancia focal de los proyectores puede variar entre ciertos límites. En cada uno hay que ajustar la distancia focal que corresponde a la fotografía que se coloca.

- 4.1.2 El eje óptico del proyector debe ser perpendicular a la placa y pasar por su punto principal. La perpendicularidad se obtiene dentro de ciertos límites de tolerancia, al ser construido el aparato. El paso por el punto principal se obtiene mediante el centrado de la placa sobre el portaplacas del proyector, por medio de las marcas fiduciales.

4.2 ORIENTACION EXTERNA.

La orientación externa sería inmediata si se pudiera conocer la posición exacta de los puntos de toma y la posición que tuvo la cámara en aquel momento, es decir, la desviación azimutal por la deriva, la inclinación del fuselaje en el sen

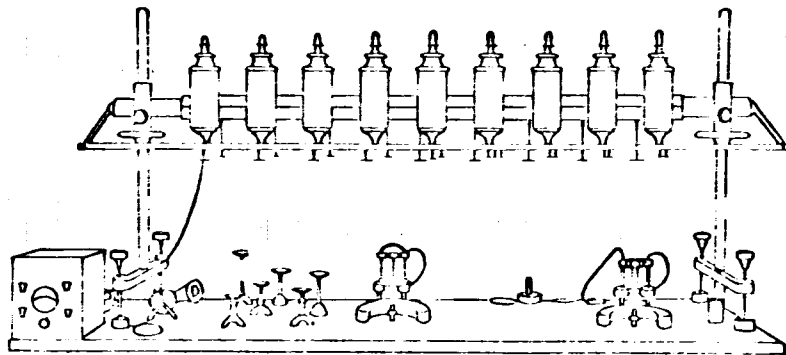
tido de la línea de vuelo y el balanceo en torno al eje del fuselaje del avión; sin embargo, no existen instrumentos que permitan medir o conocer estos datos con la precisión requerida, de ahí que se hayan tenido que idear métodos para efectuar dicha orientación. De hecho se consigue ésta, con el auxilio del mismo instrumento restituidor y con algunos puntos del terreno cuya posición se determina mediante operaciones geodésicas de campo.

La condición ideal del vuelo fotogramétrico sería que el eje óptico de la cámara estuviera rigurosamente vertical en los momentos de cada toma fotográfica. Esto es imposible de obtener con los elementos actuales, sin embargo, se aceptan ciertos límites (5° de separación máxima entre el eje óptico y la vertical, para fotos verticales).

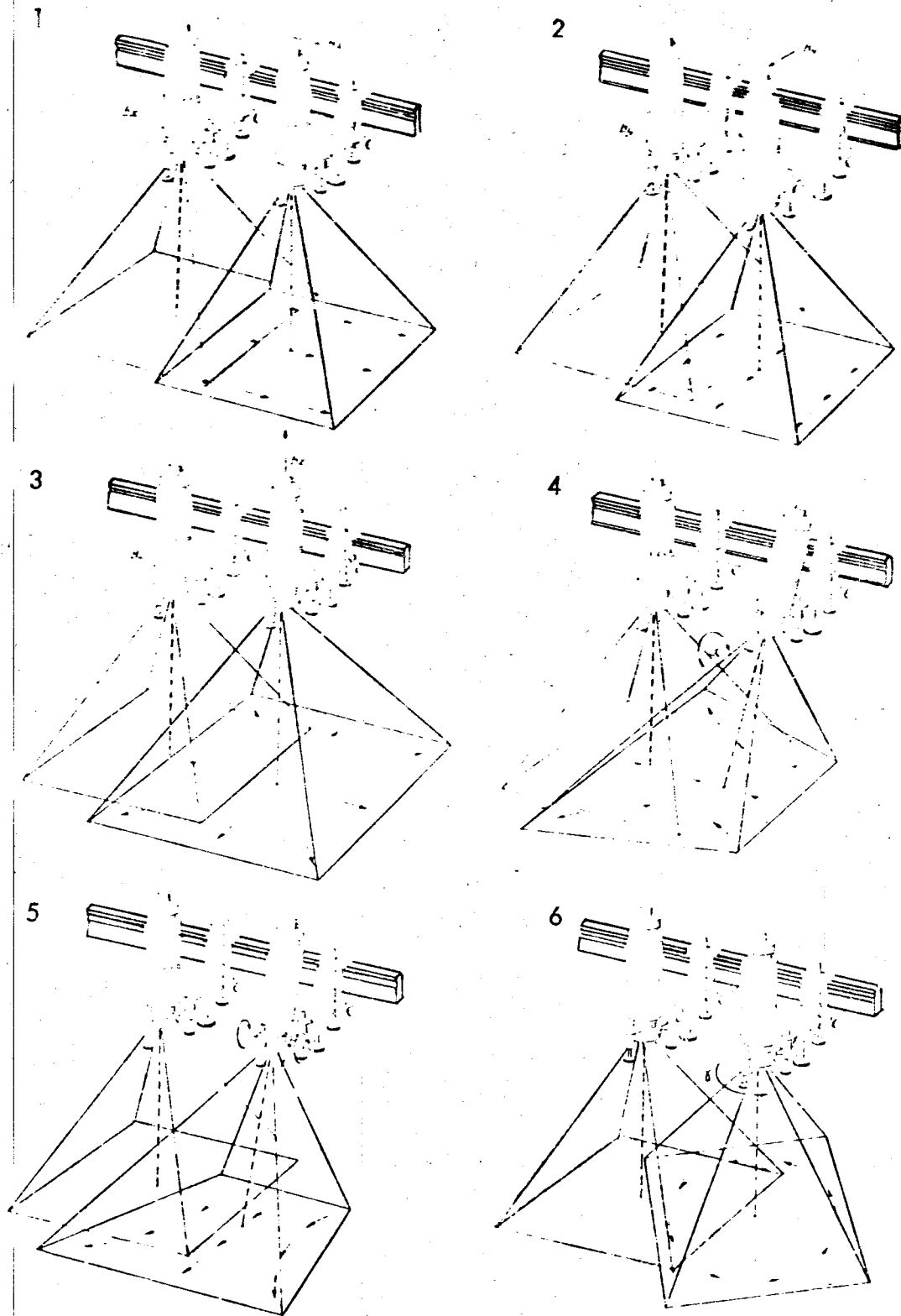
La orientación externa se consigue mediante dos operaciones llamadas orientación relativa y orientación absoluta.

4.2.1 Orientación Relativa. Tiene por objeto colocar los dos haces proyectivos de rayos en posición perspectiva. Estarán, por lo tanto, uno con respecto al otro, en la misma posición relativa que cuando se tomaron las fotografías; los rayos correspondientes se intersectarán y formarán un modelo óptico o modelo estereoscópico del terreno. Según la Geometría, bastará que se efectúe la intersección simultánea de cinco pares de rayos correspondientes para que los demás se intersecten también. La orientación relativa consistirá en conseguir la intersección simultánea de cinco rayos correspondientes.

4.2.2 Orientación Absoluta. Tiene por objeto ajustar el modelo óptico obtenido por la orientación relativa, al sistema de coordenadas que corresponde al terreno fotografiado. Consta principalmente de la determinación de dos elementos: la escala del modelo y la inclinación absoluta de ambas cámaras, o sea, la posición en el espacio del eje z.



Multiplex de 9 proyectores



1, 2, 3, 4, 5, 6 : Conos proyectivos de un Multiplex.

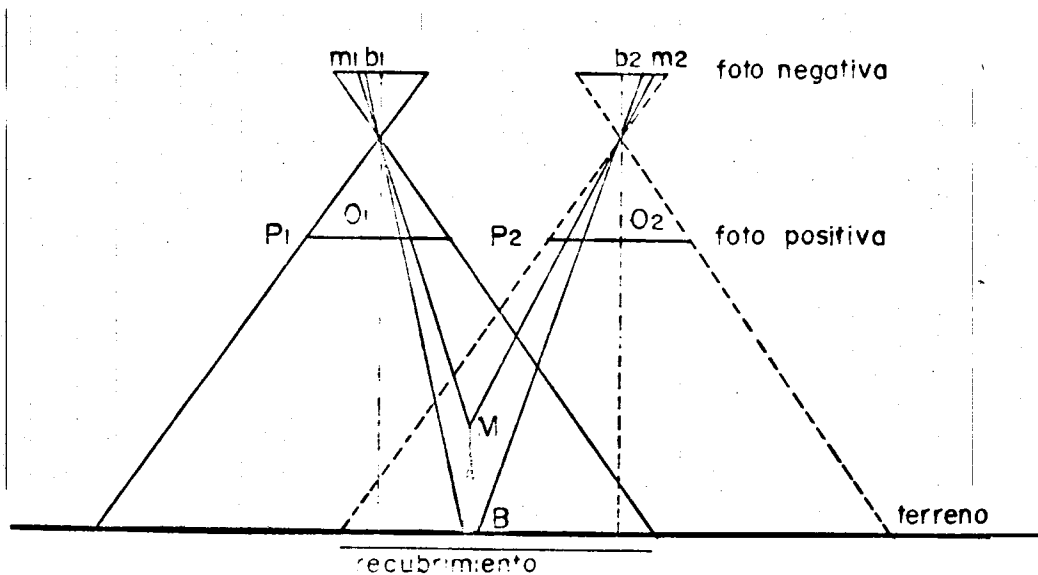
1, 2 y 3 : Translación respecto a X, Y, Z,
4, 5 y 6 : Rotación en torno a Y, X, Z, respectivamente.

5.— RESTITUCION

La restitución o búsqueda del conjunto de puntos de intersección de los rayos homólogos de dos haces perspectivas es la última etapa de la solución del problema fotogramétrico.

En los procedimientos clásicos de medición directa, la determinación de un punto de intersección, se puede hacer por cálculo, o por medios gráficos. En el caso de haces perspectivas definidos, para éstos el inconveniente de obligar a efectuar la restitución por puntos aislados.

Siempre que se pretenda del objeto fotografiado una representación por líneas continuas (que es el caso más frecuente en las aplicaciones prácticas), habrá evidentemente un interés considerable para buscar un método automático que permita la determinación casi instantánea de las coordenadas del punto M , por intersección de los rayos homólogos de los dos puntos m_1 y m_2 de las dos fotografías.



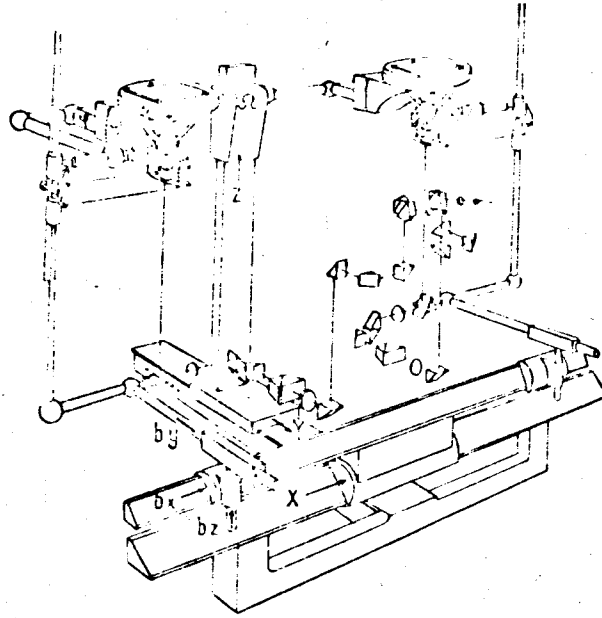
Se ha llegado a la realización del método recurriendo a medios mecánicos, de modo que cuando un observador efectúa la visión estereoscópica, los mecanismos dan del punto observado, la posición buscada; es ésta, la analogía mecánica que realizan los instrumentos de restitución. Un instrumento de esta índole, debe por lo tanto contar con las siguientes partes generales:

1. Mecanismos que permitan reconstituir los dos haces perspectivas a partir de las dos imágenes fotográficas relativas a un mismo objeto y sus elementos internos, supuestos determinados con la precisión adecuada.
2. Mecanismos que permitan materializar un sistema de referencia y a partir de los elementos externos de los dos haces perspectivas (supuestos determinados al comienzo) de reestablecer a una escala dada la posición de los

dos haces reconstituídos en ese sistema de referencia, ligado a aquellos - del espacio.

3. Un dispositivo de observación que permita el examen estereoscópico del - par de fotografías.
4. Un mecanismo restituidor que permita materializar mecánicamente dos rayos homólogos y su punto de intersección y que dé la posición de ellos en el sistema de referencia del aparato.

Después de algunos años, gracias al desarrollo del cálculo electrónico, otra - solución ha llegado a ser posible, la solución analítica, que permite sustituir a la analogía mecánica por una determinación instantánea de coordenadas del punto de intersección por medio de cálculo automático, cuando el observador realiza la observación estereoscópica.



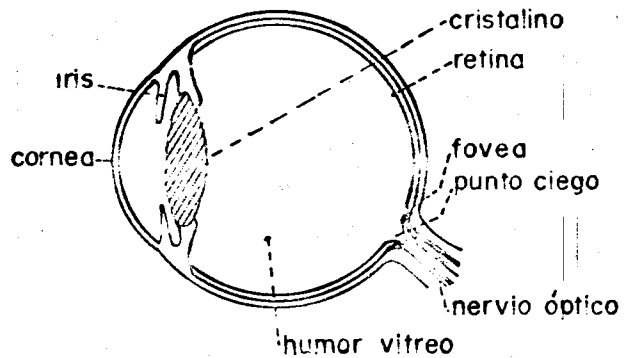
Esquema de un Restituidor Óptico denominado Estereoplanógrafo Zeiss C-8

6.— VISION ESTEREOSCOPICA

6.1 DESCRIPCION DEL OJO HUMANO.

El ojo es un globo sensiblemente esférico, sus elementos principales son:

Córnea: membrana transparente.
Cristalino: lentilla formada por capas superpuestas, tales que su curvatura puede variar.
Iris: pantalla sensible donde se forman las imágenes. Es el ensanchamiento del nervio óptico que transmite las imágenes recibidas al cerebro.



La retina está formada por células sensibles a la luz con repartición no uniforme, pues la mayor concentración se encuentra en una pequeña área llamada mancha amarilla, cuyo centro es particularmente sensible y se denomina fóvea. A la mancha amarilla y a la fóvea les corresponde un ángulo de visión de 10° y 1° respectivamente.

6.2 ACCOMODACION.

Para un ojo normal, el cristalino en reposo produce en la retina una imagen nítida de los objetos lejanos ("punctum remotum" al infinito). La visión de los objetos cercanos es posible gracias a que el cristalino puede modificar su convergencia sin cambiar la distancia a la retina. A este fenómeno se le llama acomodación.

La acomodación del cristalino puede aumentar hasta un cierto límite que corresponde a una distancia mínima de observación ("punctum proximum") que depende de la edad del observador.

6.3 AGUDEZA VISUAL.

Esta cualidad se puede definir como la aptitud del ojo para separar, sobre el fondo, el más pequeño detalle posible. En las mejores condiciones de observación, a las fotografías aéreas les corresponde un ángulo de $2'$.

La visión fina sólo existe en un pequeño ángulo sólido de 1° , correspondiente a la fóvea, el resto del campo sólo produce visión indirecta.

6.4 VISION BINOCULAR NATURAL.

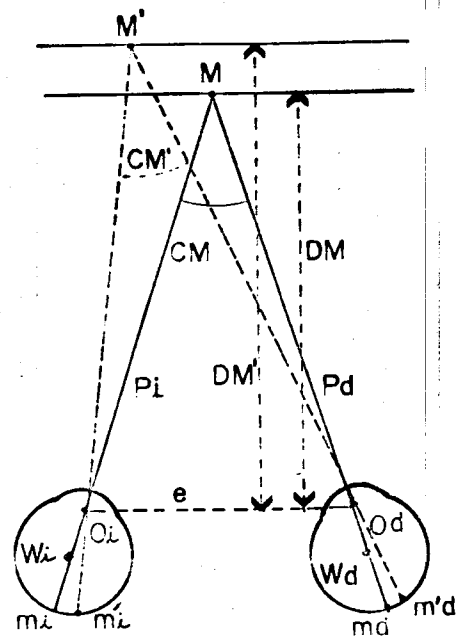
Un observador normal dispone de dos ojos separados un intervalo e llamado distancia interpupilar, que en los adultos varía de 56 mm a 72 mm. Se admiten 64 mm, como valor promedio de e . La distancia interpupilar varía ligeramente según la distancia de observación, porque los centros de rotación de los ojos no coinciden con los centros de las pupilas.

6.5 PARALAJE ESTEREOSCOPICA.

Las imágenes de un objeto cercano formadas en la retina de cada ojo, son diferentes por el hecho de que los puntos de observación están separados por el intervalo e . Considerando un punto M a la distancia D . Al observar, después de la acomodación, las imágenes se forman sobre la fovea en m_i y m_d .

Si el punto M se desplaza un poco respecto a la misma distancia D_M , el ángulo $\angle C_M = \angle M O_d$ no cambia. A este ángulo se le llama para laje angular de M con relación a O_i y O_d .

Si se considera otro punto M' a distancia diferente, el ángulo $\angle C_{M'}$ le corresponde un valor diferente de C_M .



$$C_{M'} + P_i = C_M + P_d \quad \text{de donde: } P_i - P_d = C_M - C_{M'}$$

$P_i - P_d$ es la diferencia de paralaje estereoscópica angular entre M y M' , este valor es longitudinal, es decir, en el sentido de la línea de los ojos.

6.6 FUSIONAMIENTO BINOCULAR.

Quando los ángulos P_i y P_d son pequeños hay una percepción directa de diferencia de alejamiento muy rápida y de gran sensibilidad; cuando esto sucede, se dice que hay fusiónamiento binocular.

6.7 AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCOPICA.

Es el valor más pequeño de la paralaje estereoscópica, para la cual, el observador puede indicar, sin lugar a dudas, una diferencia de distancia. En el caso de un objeto de fuerte contraste fotográfico, la experiencia muestra que un buen observador percibe una diferencia de distancia entre dos puntos angularmente muy cercanos (en el ángulo sólido de 1° que corresponde a la fovea) cuando la paralaje es estereoscópica entre esos dos puntos es de $10''$.

|| Cuando los objetos tienen contraste normal, se puede considerar que el valor de la paralaje estereoscópica es de $20''$.

7.— CONDICIONES PRINCIPALES PARA VISION ESTEREOSCOPICA

7.1 CONDICIONES.

1. Cada fotografía del par deberá haber sido tomada desde un punto diferente (imágenes diferentes).
2. Las fotografías al ser montadas para su examen estereoscópico deberán guardar la misma orientación y posición relativa que cuando fueron tomadas.
3. Al observar las fotografías, cada ojo deberá observar la fotografía correspondiente.

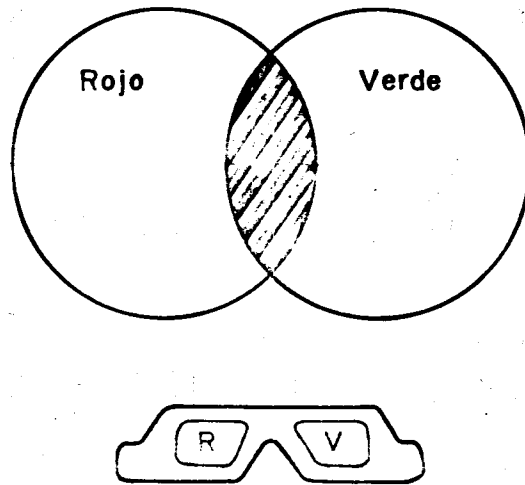
La primera condición queda cubierta con la planeación y realización del vuelo fotogramétrico.

La segunda condición puede ser resuelta siguiendo las recomendaciones que se indican en la página 22 que trata del montaje de pares estereoscópicos.

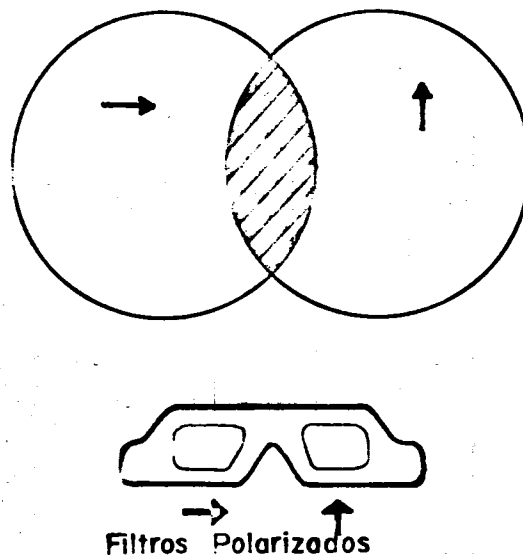
La tercera condición se puede cumplir mediante elementos físicos que permitan observar las fotografías simultáneamente y cada una con y el ojo que le corresponda.

Para lograr que cada ojo del observador vea la fotografía que le corresponde y ambas simultáneamente, se utilizan: anaglifos, filtros polarizados o estereoscopios.

En el caso de los anaglifos* se requiere que cada imagen sea impresa en color rojo o verde con separación minuciosamente calculada para que al ser observadas con los anaglifos, los filtros dejen pasar la imagen que le corresponda ver a cada ojo. Este método se emplea en la elaboración de material didáctico, comercial y para difusión general; en fotogrametría se utiliza en los restituidores denominados Multiplex y Balplex (casi en desuso) y en los restituidores DP-1, DP-2 y DP-3 -- Zeiss.



En el caso de los filtros polarizados se aprovecha la propiedad que tiene la luz polarizada de vibrar en un solo sentido. Cada fotografía es proyectada con polarización con sentido de vibración diferente (90°) sobre una pantalla metálica, de tal manera que al observar las imágenes con filtros polarizados, cada filtro permita pasar a cada ojo la imagen que le corresponda. Este procedimiento se utiliza en diapositivas y películas, en colores o blanco y negro.

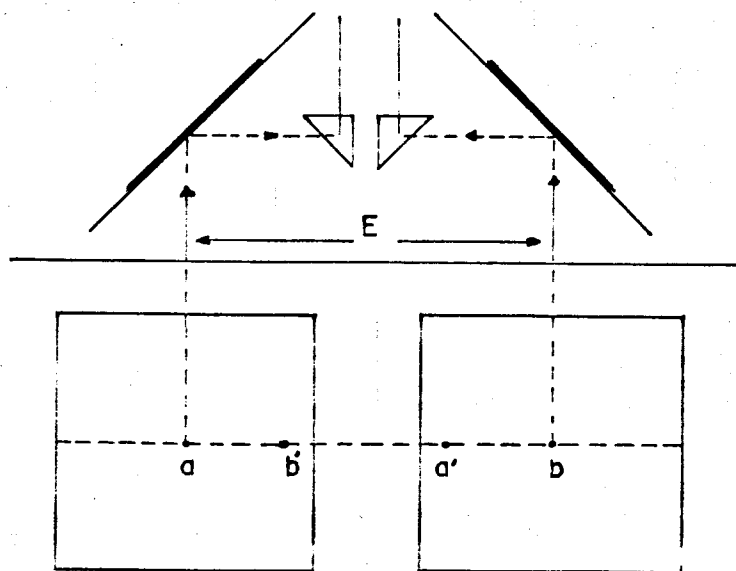


En el caso de los estereoscopios, se recurre a la óptica, para separar las imágenes al momento de su observación.

* anaglifos: anteojos con filtros de colores complementarios rojo y verde. Se les llama también lentes dicromáticos.

Los estereoscopios pueden ser de visión directa (de bolsillo o portátiles), compuestos por dos oculares de igual distancia focal y con un dispositivo para colocar los centros de los oculares a la distancia interpupilar e del observador.

Se fabrican también estereoscopios de espejos con aumento variable que permiten ver una área mayor que el estereoscopio portátil y en algunos casos, la totalidad del cubrimiento estereoscópico del par.

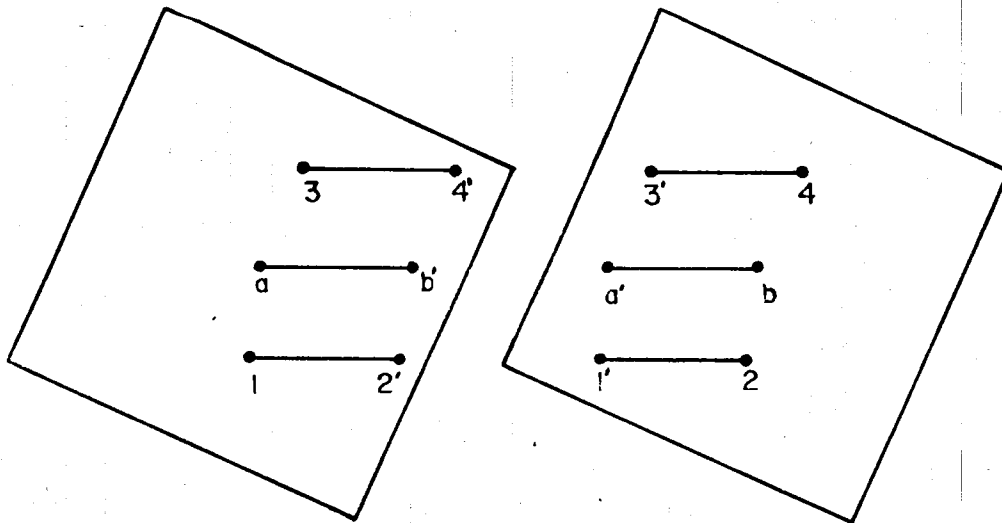


8.— MONTAJE DE PARES FOTOGRAFICOS PARA SU EXAMEN ESTEREOSCOPICO

Las condiciones geométricas y ópticas a cumplir para un examen estereoscópico correcto de un par de fotografías aéreas de ejes verticales, son las siguientes:

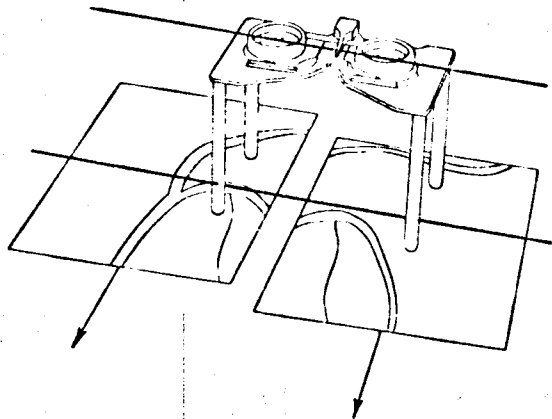
9.1 CONDICIONES GEOMETRICAS.

1. Todas las líneas rectas que pasan por los puntos homólogos de dos fotografías consecutivas deben ser paralelas entre ellas y paralelas a la base de vuelo.
2. La separación entre los puntos homólogos debe ser igual a la distancia E que existe entre los centros ópticos de los oculares del estereoscopio, misma que debe ser muy cercana al valor e de la distancia interpupilar de los ojos del observador. En los estereoscopios de espejos e es sustituido por una distancia característica del instrumento.



9.2 CONDICIONES OPTICAS.

1. El enfoque de los oculares del estereoscopio se debe hacer cuidadosamente comenzando por alejar las imágenes al infinito.
2. La línea definida por los centros ópticos de los oculares del estereoscopio debe ser paralela a la recta formada por los puntos principales del estereograma (línea de vuelo).



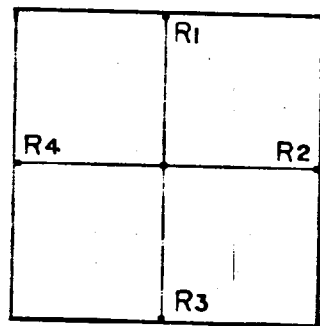
9.3 MANERA PRACTICA PARA MONTAR LAS FOTOGRAFIAS.

Sean dos fotografías sucesivas A y B. Cada fotografía se considera que tiene por un lado la emulsión-imagen y por el otro la parte blanca del papel.

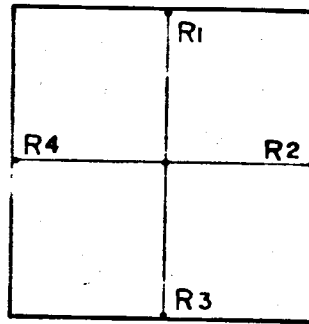
El montaje de las fotografías se puede hacer empíricamente para cumplir con las condiciones 9.1 antes descritas, sin embargo, no es conveniente el montaje de esta manera, aunque algunas veces cuando el vuelo fotogramétrico es de mala calidad se tienen que hacer tanteos en el acomodo de las fotografías. Es conveniente habituarse a hacer un montaje ortodoxo, donde se tenga la certeza de que se cumplen las condiciones geométricas para la observación.

A continuación se describen los pasos a seguir para el montaje correcto de las fotografías:

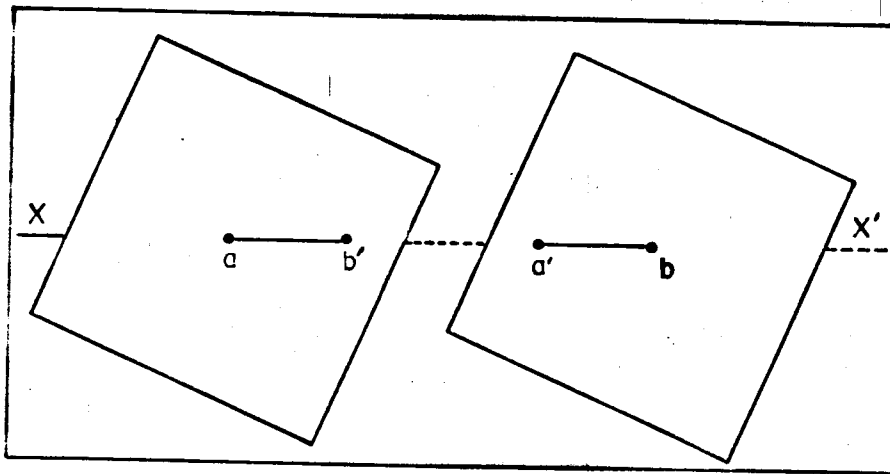
1. Se localizan las marcas fiduciales R_1, R_2, R_3, R_4 de cada fotografía y se pican con una aguja.
2. Al tacto se localizan las picaduras en la parte blanca del papel en ambas fotografías y se circundan con un lápiz grueso.
3. En la parte blanca de cada fotografía se trazan las rectas $R_1 R_3$ y $R_2 R_4$ - en la intersección de éstas queda definido el punto principal de cada fotografía: a para A y b para B.
4. En la parte blanca se pican los puntos a y b de cada fotografía y se localizan al tacto en la parte de la emulsión. Se circundan con un lápiz grueso.
5. Se observan minuciosamente los detalles que definen a los puntos a y b en la imágenes fotográficas y en la foto A se localiza y pica con una aguja el punto transferido b' que corresponde al b de la foto B. En la foto B se localiza y pica el punto a' transferido que corresponde al punto a de la foto A.
6. En la parte blanca de las fotografías se localizan las picaduras de b' en A y de a' en B. Se trazan las rectas ab' en A y $a'b$ en B (representan la dirección de la línea de vuelo).
7. Se traslapan las fotografías de tal manera que ab' y $a'b$ sean colineales y la distancia entre los puntos a y a' (y los puntos homólogos de las fotografías) sea igual a la distancia interpupilar del observador. $aa' = bb' = e$
8. Es recomendable unir las fotografías con alguna cinta adhesiva, de tal modo que se pueda intercambiar la sobreposición de la zona estereoscópica (par).
9. Si el fotointerprete va a trabajar en campo, es recomendable que utilice un tablero de apoyo de dimensiones adecuadas donde pueda apoyar las fotografías que va a utilizar. Es conveniente que el tablero tenga una línea de referencia $X-X'$ en la parte media y tenga algún dispositivo para sujetar el material (fotos, hojas de datos, etc.)



Fotografía A



Fotografía B



9. — EMULSIONES

Las emulsiones fotográficas son unas sustancias que tienen la propiedad de reaccionar químicamente a las radiaciones del espectro luminoso. Después del proceso fotográfico (revelado, fijación, lavado, secado...), producen la imagen por medio de puntos (granos de la emulsión), tales que la densidad óptica es función de la cantidad y de la composición de la luz recibida. Las emulsiones están calculadas científicamente y fabricadas para ser sensibles a ciertas radiaciones del espectro visible o invisible al ojo humano.

9 .1 EMULSION PANCROMATICA.

Es sensible a todo el espectro visible y tiene una respuesta muy equilibrada -- donde la sensibilidad media está situada en las proximidades de los 550 nanómetros es empleada en los trabajos de interpretación y de fotogrametría. Su empleo es casi universal, pues permite al usuario tener una memoria visual muy extensa, acorde con la realidad. Es además la más económica.

9 .2 EMULSION INFRARROJA.

Esta emulsión posee una gama más grande y abierta de posibilidades. Cubre -

una gran parte de los rayos ultravioleta y de los infrarrojos cercanos, desgraciadamente, su sensibilidad es poca en la parte media del espectro visible y sus cualidades en el ultravioleta son más bien nocivas (máximo de luz difundida). Es necesario impedir por medio de un filtro el paso de la luz de la parte inferior del espectro, hasta las proximidades de los 570 nanómetros, para registrar solamente los rayos infrarrojos. El análisis de la reflexión espectral de los objetos ha mostrado que la mayor parte de ellos posee un máximo de reflectancia en las proximidades de -- 800 nanómetros; la emulsión infrarroja tiene el máximo de sensibilidad en esta banda, lo que le permite ofrecer mayor información que la emulsión pancromática.

9.3 EMULSION DE COLOR.

Permite el registro del espectro visible sobre tres capas correspondientes a tres emulsiones diferentes situadas en la misma base o soporte (teoría tricromática de la luz). En esta emulsión, por ejemplo, la capa que es coloreada en amarillo, es sensible a la parte inferior del espectro (azul), la segunda capa que es coloreada en magenta es sensible a la parte media (verde) y la tercera capa que es coloreada en cyan es sensible a la parte superior (rojo). Los procedimientos químicos de revelado (con o sin negativo intermedio) pueden, por síntesis sustractiva, reproducir los colores del espectro visible. La calidad del resultado final es muy variable en función de los procedimientos empleados y de las propiedades de las superficies sensibles sobre película o papel. Actualmente los resultados obtenidos sobre película son muy satisfactorios, mientras que los tirajes sobre papel dejan todavía que desear respecto a la definición de la imagen y reproducción de los colores.

9.4 EMULSION DE FALSO COLOR.

Son de uso comercial, aunque durante mucho tiempo estuvieron reservadas al uso militar exclusivamente. Presentan un gran interés porque liga sobre una misma base o soporte las cualidades de la emulsión de color y de la emulsión infrarroja. El mecanismo de registro es muy simple: se agrupan sobre dos capas sensibles (amarilla y magenta) las radiaciones del espectro visible y se registra sobre la capa -- cyan la parte infrarroja del espectro; estas tres emulsiones están situadas sobre la misma base o soporte. En el tiraje final resulta una serie de colores completamente diferentes de los reales (falsos colores), pero en ellos, se sintetizan los resultados de las radiaciones visibles y del infrarrojo. Son muy útiles en Hidrología, Pedología y en Biología. Los colores en cuestión son muy desconcertantes a primera vista, por lo que el fotointerprete debe crear una nueva memoria para relacionar los colores y el objeto a que corresponden. Esta emulsión no tiene utilidad en la fotogrametría, ni en la identificación de formas en la fotointerpretación.