

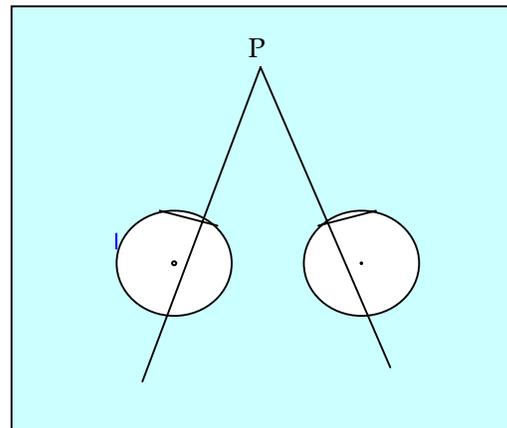
IV – UTILIZACION DE PARES DE FOTOGRAMAS

Principio en que se basa la visión estereoscópica - Visión estereoscópica directa

La visión estereoscópica es una facultad físico - psicológica que posee el ser humano, que permite ver en tercera dimensión aquellos objetos que contemplan mediante su visión binocular. Sobre cada una de las retinas de los dos ojos, se forma una imagen perspectiva del mismo objeto, las cuales difieren entre sí debido a la distinta posición de los puntos de vista, produciendo el efecto de relieve. La distancia entre estos dos puntos de vista, o sea, la separación entre los órganos receptores del ser humano, tiene un valor promedio de 65mm y se llama "distancia interpupilar".

Veamos cual es el proceso desarrollado durante la observación de un punto P, situado en el espacio objeto.

Cada uno de los ejes óptico de los cristalinicos rotan en el interior de su órbita, hasta que sus direcciones se juntan en el punto P en cuestión, proceso este que llamamos "convergencia", tal que las imágenes P' y P'' se forman en una pequeña fosa existente en las retinas (mancha amarilla).



Tal convergencia, puede ser realizada a ojo desnudo desde una distancia de 150mm en adelante. Las direcciones se dirigen siempre a un punto en el que se cortan los rayos visuales, es decir que estos se encuentran siempre en un plano determinado por el centro de giro de los dos ojos del objeto observado, que llamaremos "Plano visual".

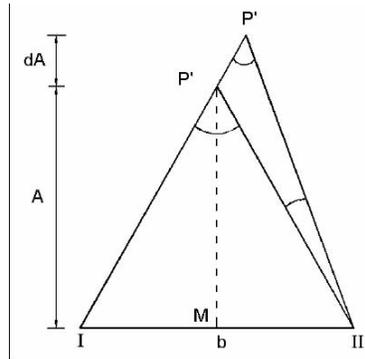
Cuando se observa un objeto situado en el infinito los cristalinicos están en reposo y los ejes óptico paralelos. Conjuntamente con la convergencia, se produce otro proceso llamado "acomodación", en el cual los músculos ciliares ubicados en los extremos del cristalino, provocan un cambio en su radio de curvatura y con ello una mayor o menor convexidad, de tal manera que resulten nítidas las imágenes P' y P'' sobre las manchas amarillas.

La capacidad de acomodación para objetos cercanos determina la mínima distancia de aquellos cuyos relieves podemos percibir con completa claridad; para vista normal esta distancia mínima de visión clara es de 250mm.

El límite hasta el cual puede reconocerse que dos puntos del espacio objeto se hallan a distancias diferentes, viene determinado por el ángulo mínimo de agudeza visual, la cual constituye la facultad especial de apreciación del relieve estereoscópico.

Sean (P y P') dos puntos del objeto; (b) la separación entre los dos ejes (base de observación); (δ) el ángulo de convergencia de los ejes visuales (ángulo paraláctico). Designamos (A) a la distancia del punto (P) a la base (b), y por ($d\delta$) al ángulo de agudeza visual estereoscópica, cuyos límites pueden variar entre 10" y 30" según el observador.

Del triángulo rectángulo PM.II obtenemos:



$$\operatorname{tg} \delta / 2 = b / 2 : A \delta / 2 = (b / 2) \cdot (1 / A) \text{ o sea } \delta = b / A \quad (1)$$

de (1) tendremos: $b = \delta \cdot A$ (1a) y $A = b / \delta$ (1b)

diferenciando (1a) (1b), teniendo en cuenta que $b = 65 \text{ mm} = \text{constante}$, tendremos:

$$dA = - (b / \delta^2) \cdot d\delta \quad (2)$$

Si (δ) desciende hasta valores próximos a ($d\delta$), la apreciación del relieve deja de ser posible. Si reemplazamos en (2) la expresión hallada en (1) elevada al cuadrado, tendremos:

$$dA = - (A^2 / b) \cdot d\delta \quad (3)$$

La fórmula (3) expresa el límite de percepción del relieve, o sea, la menor diferencia apreciable (dA) entre las distancias de dos puntos situados en el espacio objeto.

Ejemplo:

$$d\delta = 15'' = (1/13.600)$$

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$A = 100 \text{ mts}$$

$$dA = 10 \text{ mts}$$

La fórmula (1b) expresa el "radio de campo visible estereoscópicamente", utilizando por ejemplo:

$$d\delta = 30''$$

$$b = 65 \text{ mm}$$

se obtendrá: $A = b / \delta = 65 \text{ mm} \times 6800 = 442 \text{ mts}$

Todos los objetos situados a distancias mayores que 450 mts, aparecen sin relieve, es decir en un plano.

Condiciones para la Percepción del Relieve:

Una sola imagen fotográfica no puede suministrar la impresión de relieve o profundidad, por cuanto todos aquellos puntos que la constituyen, se encuentran proyectados sobre el mismo plano. Para tener un efecto de relieve hay que llenar ciertas condiciones que corresponden a las de la visión binocular natural:

- 1) Cada ojo ha de observar una imagen desde el punto de vista o centro de proyección, distinta de la imagen observada por el otro.
- 2) Las imágenes han de presentarse a los ojos de tal manera que los pares de rayos correspondientes a puntos homólogos de las dos vistas se corten.
- 3) La necesaria convergencia de los rayos luminosos no deberá exceder el límite de la convergencia natural de los ojos, que es de unos 20°.

Visión Estereoscópica Indirecta:

La visión estereoscópica directa del ser humano puede ser reemplazada en forma artificial con el empleo de medios ópticos auxiliares, tal que en el lugar de ser los objetos los que se presentan a la vista, sean sus imágenes las que lo hacen. Como los pares de fotografías aéreas consecutivas presentan una misma porción del terreno, que a primera vista aparecen como idénticas pero, como han sido tomadas con un intervalo de tiempo durante el cual el avión se ha desplazado, podremos en consecuencia decir que se han obtenido dos imágenes perspectivas de un mismo objeto, tomadas desde diferentes puntos de vista y por lo tanto, pueden reemplazar a la doble imagen percibida por el ser humano a ojo desnudo.

Disponiendo en gabinete de un instrumento óptico de observación apropiado, podremos presentar aisladamente cada fotografía a cada ojo, entonces el sistema físico-psicológico del ser humano será quien se encargue de fusionar el contenido común de ambas fotografías en un solo modelo plástico estéreo u óptico tridimensional (piénsese en una maqueta) (fig 12.)

A- Si usted mira desde arriba la maqueta de una fábrica, en la retina de su ojo derecho la imagen de la chimenea es un círculo; en la retina del ojo izquierdo dicha imagen es un trapecio alargado. El cerebro combina las dos imágenes y reconstruye la chimenea en el espacio.

B- Un avión saca tomas consecutivas de la fábrica. En la primera fotografía la imagen de la chimenea es un círculo. En la segunda fotografía, la imagen de la chimenea es un trapecio alargado.

C- Examine usted la fotografías respectivas con un dispositivo óptico auxiliar que permita a cada ojo ver una sola fotografía. En la retina del ojo derecho se forma la imagen de la chimenea (círculo) y en la retina del ojo izquierdo se forma la otra imagen de la chimenea (trapezio alargado). Como en el caso A, el cerebro combina ambas imágenes y el observador tiene la impresión de ver la chimenea en el espacio.

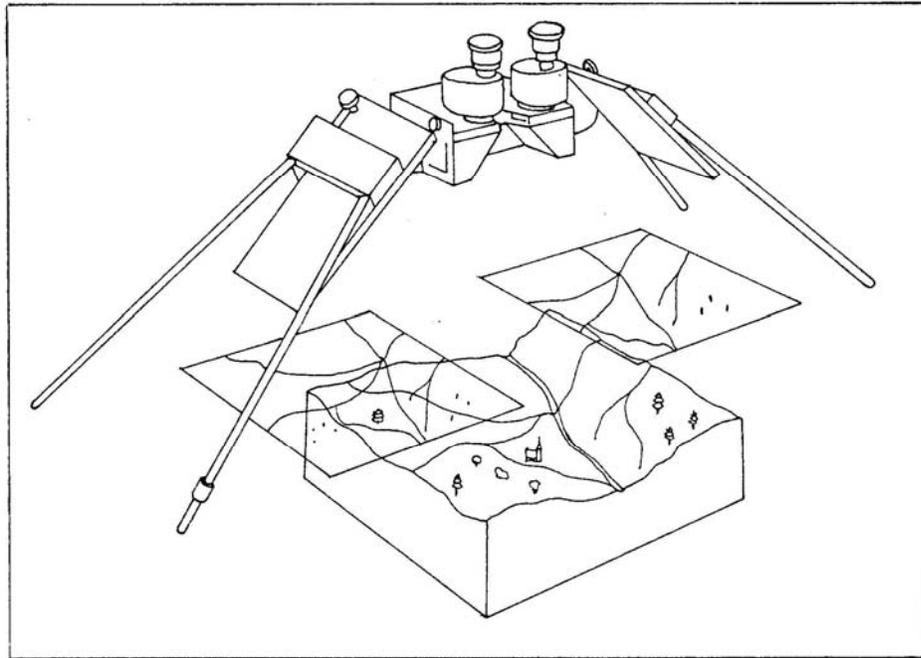
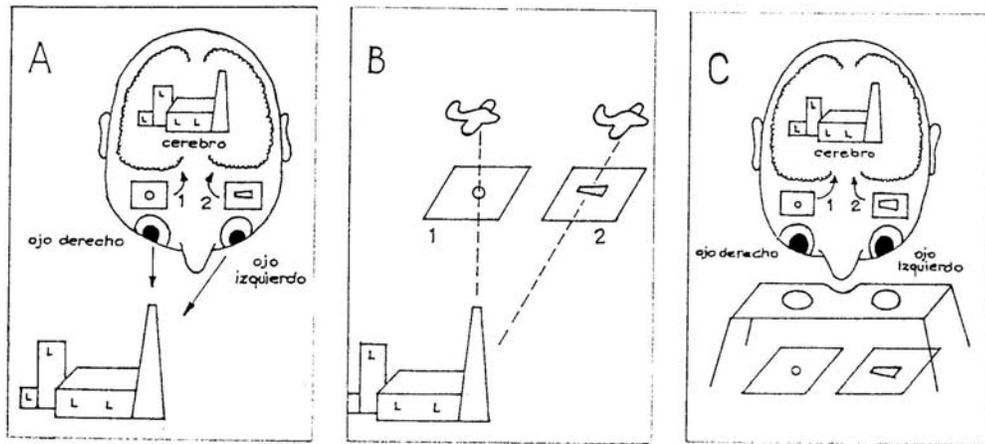


Fig. 12

1.1. Métodos ópticos auxiliares para la observación estereoscópica

El problema de presentar a cada ojo una imagen puede resolverse con el empleo de medios auxiliares, entre los cuales podremos citar a los anaglifos y fundamentalmente dada su extensa aplicación en la Fotogrametría, a los estereoscópios.

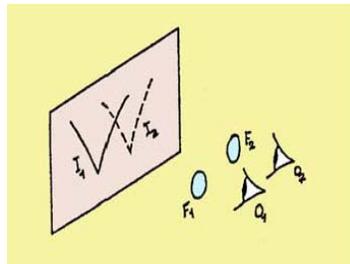
El sistema de los "anaglifos", que algunos podrán recordar de las funciones de cine "tridimensional", cuando a la entrada nos entregaban un par de lentes de papel con diferentes colores para cada ojo. Este método, que dejó de utilizarse por varios años en la observación de imágenes, merece de todos modos que lo citemos aclarando que si bien existieron restituidores a anaglifo no tuvieron gran difusión, en la actualidad a recobrado vigencia porque, como veremos, con imágenes en formato digital y la aplicación de este sistema podemos observar estereoscopia directamente en la pantalla de la computadora.

Existen dos procedimientos: uno por impresión, y el otro por proyección (que es el del cine y aquí no nos interesa). En el primero, las imágenes fotográficas están impresas sobre un papel blanco, la perspectiva de la izquierda normalmente en verde y de la derecha en rojo. Estas imágenes son examinadas a través de filtros de colores: rojo para el ojo izquierdo, y verde para el derecho. Si los tonos y las intensidades han sido bien elegidos cada ojo no distinguirá más que una de las perspectivas.

I1 destinada al ojo O 1 está en verde; mientras que I2 para el ojo O 2 está en rojo (color complementario)

El filtro F 1 es rojo y la imagen I 1 se verá negra sobre el fondo rojo (I2 sobre rojo no la ve O1). El filtro F2 es verde y la imagen I2 será vista en negro sobre fondo verde por O 2 , mientras que I 1 verde sobre verde no se ve.

Al fusionarse ambas imágenes vemos negro sobre fondo blanco (casi) por superposición de dos colores complementarios.



Al examinar el conjunto con un filtro rojo la parte verde parece negra, mientras que la parte roja no se distingue del fondo blanco, que parece también en rojo: la perspectiva izquierda se ve negra sobre fondo rojo. Del mismo modo, la perspectiva derecha se ve negra sobre fondo verde a través del filtro verde. Las dos perspectivas se ven entonces en negro, una para cada ojo, y en el cerebro se fusionan percibiendo éste una sola imagen en relieve, cualquiera sea la distancia de examen, con la condición de que la línea de los ojos sea paralela a la base del par. Pero pasemos a los estereoscopios, que serán nuestra herramienta básica.

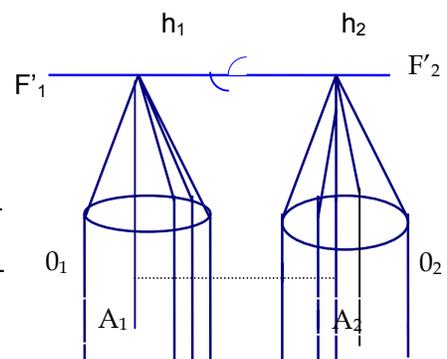
Los estereoscopios pueden ser del tipo de lentes; de espejos o combinación de espejos y prismas

Estereoscopios de lentes (tipo David Brewster -1849)

En él se colocan las fotografías en el plano focal F'_1 , F'_2 de dos lentes de aumento O_1 y O_2 de tal manera que la distancia entre dos puntos homólogos lejanos sea igual a la distancia entre los puntos nodales de las dos lentes. Las direcciones a los puntos lejanos aparecen al observador paralelas, y las fotografías en sí óptimamente en el infinito, así es que el observador mira a los puntos lejanos sin esfuerzo alguno de los ojos, que miran como si no tuvieran delante instrumento alguno.

Como detrás de las lentes

todos los rayos que proceden de puntos lejanos pertenecientes a las fotografías, son paralelos, la separación de los ojos ($A_1 - A_2$) de los distintos observadores no tiene importancia en tanto que la abertura de las lentes permita mirar a su través.



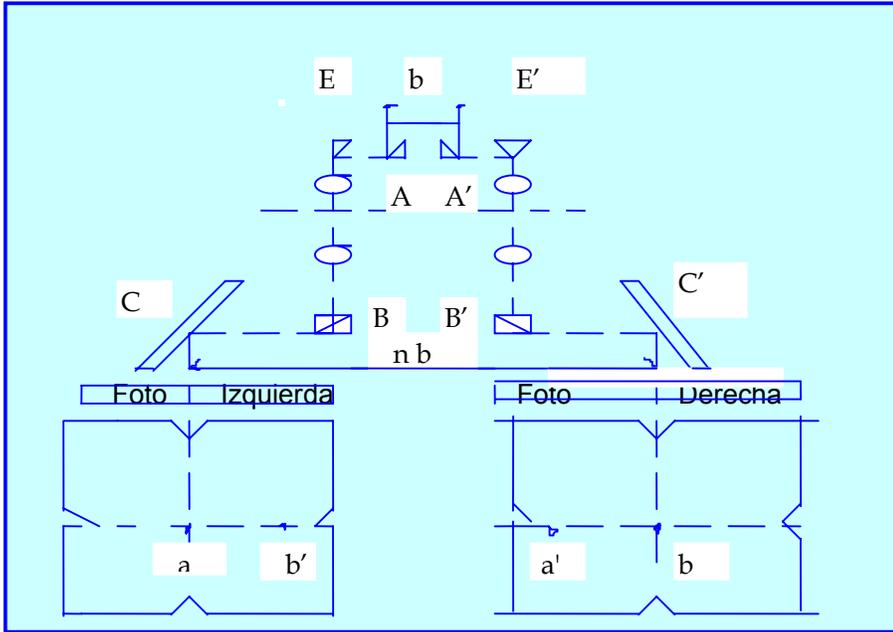
El estereoscopio tipo Brewster tiene

el inconveniente de que la distancia entre las imágenes

correspondiente a un mismo punto no puede ser mayor que la distancia interpupilar adicionado con el diámetro de una lente, o sea unos 80mm promedio, siendo por lo tanto muy limitado el campo de observación que pueda abarcarse de una ojeada, es decir que al querer examinar un par de fotografías se lo hará en pequeñas superficies de la misma o a veces superponiendo o doblando las fotografías,. Este tipo de estereoscopio, es uno de los mas utilizados por ser barato, portátil, simple de operar y mantener.

Estereoscopios de Espejos y prismas

Basado en el principio de Helmholtz, podemos encontrar otra variante la cual consiste en reemplazar dos de los cuatro espejos por prismas (B-B').



El desplazamiento paralelo de los rayos de observación con respecto a los ojos del observador, obtenido mediante dos reflexiones tanto en B como en C, permite colocar debajo del estereoscopio, fotografías de tamaño mayor sin que éstas se superpongan entre sí. En este tipo de estereoscopio se obtienen las reflexiones por medios de espejos en C-C' y mediante prismas en B-B'. Además es posible intercalar otros prismas entre E-E' y A-A' para desviar el rayo de manera que permita la visión oblicua del par, lo cual permite adoptar una postura cómoda de observación (sentado). Un dispositivo de observación está constituido por dos oculares y un par de prismas, formando dos blocks que pueden ajustarse según una distancia variable entre sí como la distancia interpupilar del observador. Sus ventajas se manifiestan al poder separar completamente el par de fotografías sobre el tablero, examinar la totalidad del modelo estereoscópico formado por ellas bajo observación normal (sin binoculares), permiten el uso de copias opacas sobre el papel, transparencias negativas o positivas.

Hiperestereoscopia - Pseudoscopia.

Hiperestereoscopia: Se produce cuando aumenta artificialmente la impresión natural del relieve. Para ello es necesario aumentar las paralelas estereoscópicas. Se puede lograr esto recurriendo a dos factores diferentes:

a - utilizando perspectivas fotográficas, donde la distancia entre puntos de vistas o exposición, es mucho mayor que la distancia interpupilar. O sea aumentando la base de observación b por un factor n , tal que $b \cdot n = B$, donde la razón $n = B/b$ se denomina efecto plástico específico.

b- Utilizando un aumento óptico C en el sistema de observación. Mediante esta solución el observador multiplica por cierto factor de agrandamiento al ángulo bajo el cual ven sus ojos cualquier punto del espacio objeto. Si se emplean los dos modos de aumento, las paralelas estereoscópicas quedan multiplicadas por un factor C.n que se denomina efecto plástico total.

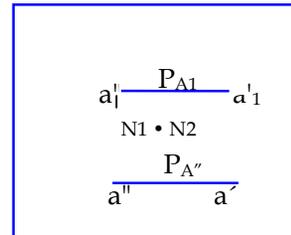
Pseudoscopía: La perfecta orientación de los pares de fotografías se pone de manifiesto cuando las sombras caen hacia el observador, en el caso inverso, se produce un efecto de bajo relieve, denominado Pseudoscopía, el mismo se produce cuando el terreno observado es a la inversa del relieve natural, o sea los puntos más alejados aparecen como los más próximos. Este efecto puede lograrse cuando las fotografías están permutadas (el ojo izquierdo ve la perspectiva derecha y recíprocamente) o bien cuando sin permutar las perspectivas fotográficas, las mismas han recibido simultáneamente una rotación de 180° en su plano.

Conceptos Fundamentales - Paralaje Estereoscópica

La figura 13 representa esquemáticamente a dos fotografías aéreas verticales consecutivas. Para su mejor comprensión supondremos que ambas fotografías están en su plano positivo, ello significa que la imagen fotográfica está hacia arriba O' y O'' son los centros de perspectiva y B la base aérea.

Un Punto A del terreno, tendrá su imagen a' en la fotografía izquierda y a'' en la derecha.

Si se superponen las dos fotografías anteriores tal que coincidan los puntos nadirales N1 y N2, vemos que los puntos imágenes a' y a'' ocupan distintas posiciones, debido a que la cámara aérea se desplazó de la posición O' hacia O''.



Este cambio posicional de la imagen de un punto del terreno, debido al cambio posicional de la cámara aérea o lugar de observación se define como “paralaje estereoscópica del punto A y la indicamos PA.

Si las dos fotografías se superponen como en la figura anterior, pero son mostradas según el plano de proyección vertical (Fig. 14), en donde los centros de perspectiva coinciden, es fácil ver que PA=PA₁ si bien A y A₁ son puntos diferentes del terreno. Los mismos tienen en común que están situados a la misma altura con respecto al plano de referencia.

Conclusión: Todos los puntos del terreno que pertenecen al mismo plano horizontal, tienen paralajes estereoscópicas iguales en dos fotografías aéreas verticales consecutivas.

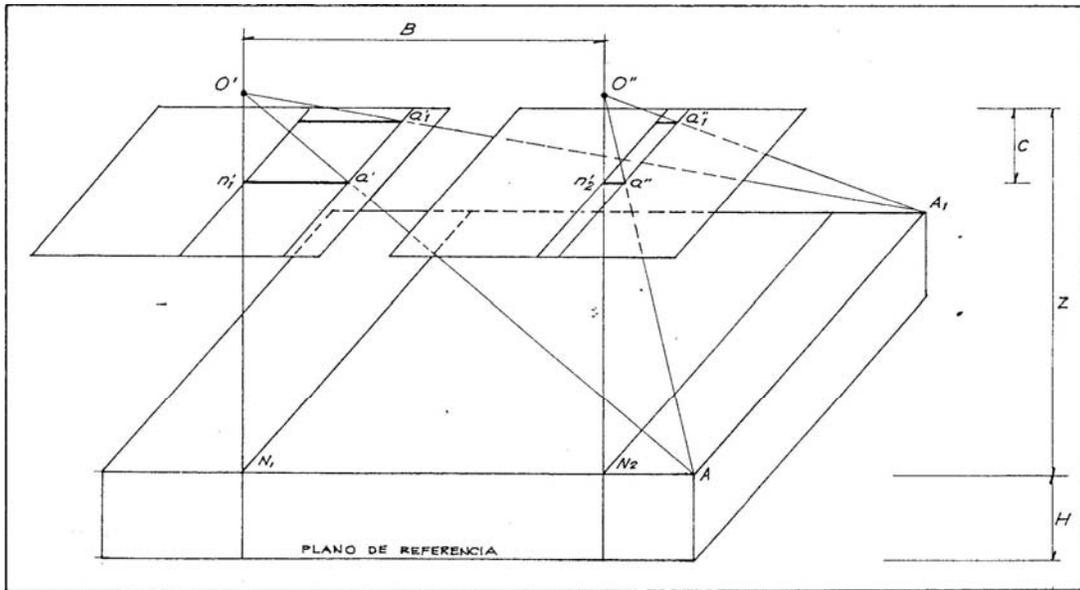


Fig. 13

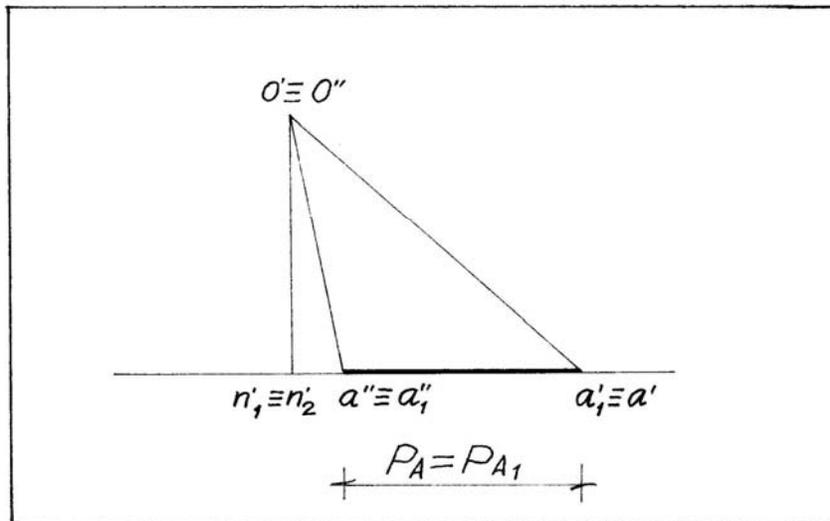


Fig. 14

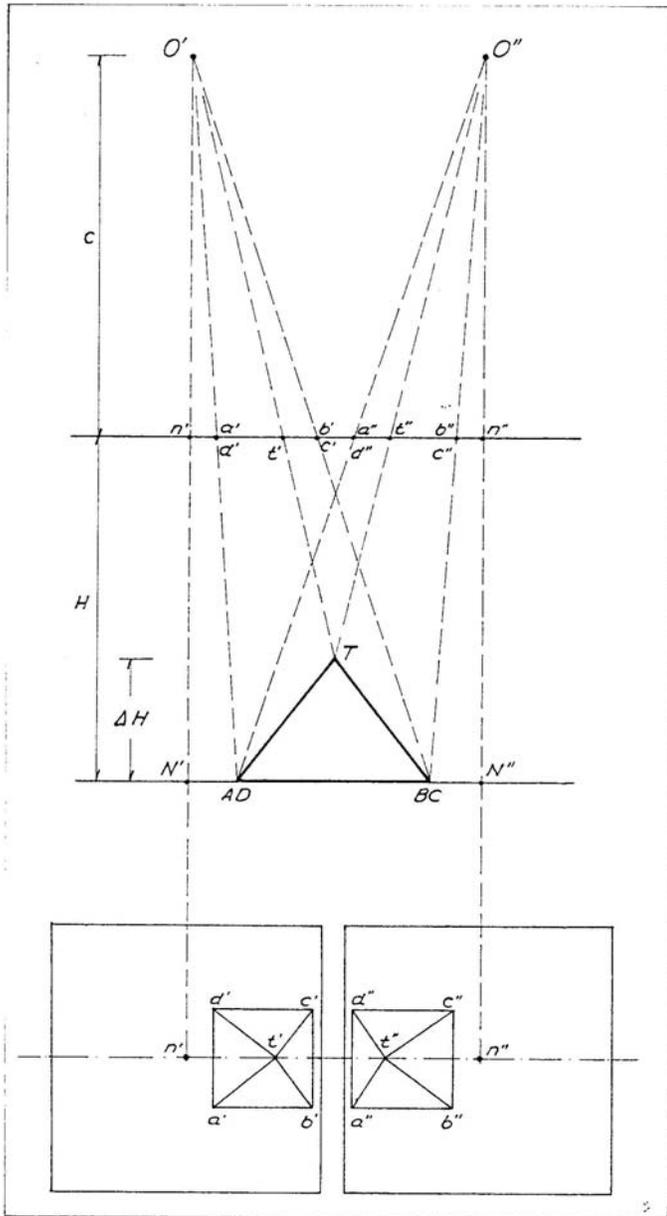


Fig. 15

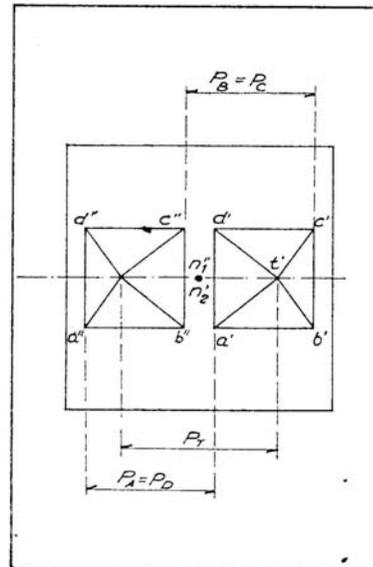


Fig. 16

Diferencias de Paralajes Estereoscópicas

En la Fig. 15 una pirámide de base cuadrada ABCD y vértice T en fotografías desde dos estaciones de toma O' y O" diferentes. Las dos fotografías resultantes las superpondremos, tal que sus puntos nadirales coincidan, según Fig.16.

Las paralajes estereoscópicas de los puntos A, B, C, y D de acuerdo a la definición dada son igual magnitud ($P_A = P_B = P_C = P_D$) puesto que los citados puntos pertenecen al mismo plano horizontal, sin embargo el punto T vértice de la pirámide- está por encima del citado plano horizontal y su paralaje estereoscópica P_T difiere de los cuadros anteriores. Los puntos imágenes t' y t" son excéntricos, es decir están desplazados con respecto a su verdadera posición debido al "desplazamiento por relieve" originado por la diferencia de altura H. La diferencia entre las distancias existentes entre dos pares de puntos imágenes correspondientes es igual a la diferencia de paralaje.

$$P_{AT} = P_A - P_T = a'a'' - t't''$$

Conclusión: La diferencia de paralaje está relacionada directamente con la diferencia altimétrica.

Principio de la marca Flotante

Si los ojos del observador son enfocados sobre un punto objeto A (por ejemplo un punto sobre una mesa) y si dos pequeñas **marcas** de igual forma y tamaño son colocadas en el camino óptico de los rayos visuales provenientes del punto A y que se dirigen a los ojos, se observará que las dos marcas serán percibidas como un punto M posado sobre el punto objeto A (Fig.17)

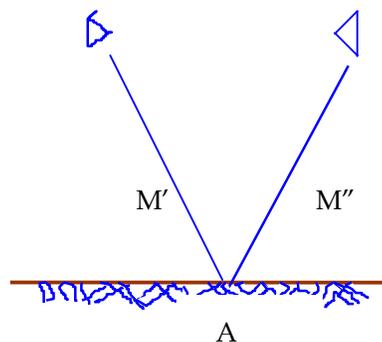


Fig. 17

Para ilustrar este principio, supongamos que durante la observación estereoscópica de un par de fotografías, ajustamos una marca, que llamaremos "marca de medición" m_1 sobre un detalle del terreno que aparece sobre la copia fotográfica derecha. Fig.18

Procederemos luego a ajustar la otra marca de medición sobre la imagen fotográfica izquierda correspondiente al mismo detalle del terreno. Si ambas marcas de medición son ajustadas exactamente sobre los puntos imágenes (m_1 izq. y m_1 der.) el observador las percibirá como una sola marca, posada exactamente sobre el correspondiente punto imagen M_1 tal cual se lo ve estereoscópicamente.

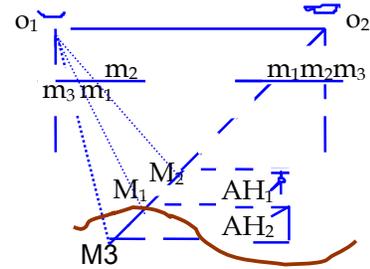


Fig. 18

Si el proceso de ajuste de la marca de medición izquierda no se realiza con exactitud, es decir, por ejemplo se la coloca en m_2 o m_3 , esto dará lugar a que el observador perciba a la única marca por encima o por debajo del punto imagen M_1 estereoscópicamente concebido, es decir en M_2 o en M_3 .

Conclusión: Si la distancia entre la marcas de medición (izquierda y derecha) es variada, esto da lugar a percibir el movimiento de la fusionada marca en el sentido de profundidad o altura, de allí que a esta única marca resultante de la fusión de las marcas de medición, se la llame “marca flotante o espacial”.

Barra de Paralaje

El principio es comúnmente materializado mediante dos plaquitas de cristal colocadas directamente debajo de cada objetivo o espejo del estereoscopio, tal que permanezcan planas sobre las fotografías aéreas, sobre cada placa de cristal se halla grabada una marca, del tipo puntiforme, anular, cruz etc. que pueden ser fusionadas estereoscópicamente, tal como ocurre con los puntos imágenes correspondiente sobre las dos fotografías. Fig.19

- 1) Tornillo micrométrico
- 2) Marca flotante “debajo”
- 3) marca flotante “posada”
- 4) Marca flotante “encima”

Además debe existir la posibilidad que por lo menos una de las plaquitas pueda ser desplazada con respecto a la otra, para permitir que la fusionada imagen de la marca flotante, se ajuste directamente sobre la imagen correspondiente de la fotografía aérea. Para ello se conectan las dos plaquitas a una barra, sobre la cual el movimiento relativo de la primera es controlado por un tornillo micrométrico, sobre cuya escala se puede leer el valor de cualquier ajuste de la marca flotante.

Fórmula de la paralaje

Tal como ha sido mencionado, existe una relación directa entre “las diferencias de paralaje” y “las diferencias de altura”. La fórmula de la paralaje que sirve para calcular diferencias de altura, resulta de las relaciones geométricas que existen entre los triángulos semejantes $AO''O'$ y $O''a'a$ de la Fig. 20; en la cual vemos que para cualquier punto del terreno, tal como el A, se cumple:

$$\frac{Z_A}{B} = \frac{C}{PA} \quad \text{de donde } Z_A = \frac{B \cdot C}{PA} \quad (1)$$

Para un punto R (punto de referencia), de igual manera se obtiene

$$\frac{Z_R}{B} = \frac{c}{PR} \quad \text{de donde } Z_R = \frac{B \cdot c}{PR} \quad (2)$$

La diferencia de altura de vuelo entre los puntos A y R es igual a:

$$\Delta z = Z_A - Z_R = B \cdot c \left(\frac{1}{PA} - \frac{1}{PR} \right) = B \cdot c \frac{PR - PA}{PA \cdot PR} \quad (3)$$

$$\text{Si } \Delta P = PA - PR \quad (4) \quad \text{entonces } PR - PA = -\Delta P \quad (5)$$

Sumando y restando PR al denominador de la expresión (3) tendremos:

$$\Delta z = \frac{B \cdot C}{PR \cdot PA + PR - PR} (PR - PA) \quad (6) \quad \text{expresión esta que podemos simplificar teniendo en cuenta (4) y (5), quedando entonces:}$$

$$\Delta z = \frac{B \cdot C}{PR} \frac{(-\Delta P)}{PR + \Delta P} \quad (7)$$

Si sustituimos la expresión (2) en la (7), obtendremos:

$$\Delta z = - ZR \frac{\Delta P}{PR + \Delta P} \quad (8)$$

En esta expresión aparece el signo “menos”, recordemos que en la (3) hemos definido $Z = Z_A - Z_R$. En la expresión última Z será positiva si la altura de vuelo sobre el punto A es mayor que la correspondiente a R ($Z_A > Z_R$). Para evitar confusiones es conveniente hablar de altura de los puntos A y R con respecto a un plano de referencia, en este caso será $h_R < h_A$ y la diferencia $h_A - h_R = \Delta h$ será positiva. Por lo tanto es conveniente reemplazar Δz por ΔH , luego $\Delta z = -\Delta H$ (9)

$$\Delta H = ZR \frac{\Delta P}{PR + \Delta P} \quad (10)$$

La elevación de un punto A es calculada a partir de $h_A = h_R + h$ si la altura del punto de referencia R es conocida

$$h_A = h_R + ZR \frac{\Delta P}{PR + \Delta P} \quad (12)$$

El punto de referencia R puede ser teóricamente cualquier punto contenido en la parte superpuesta de dos fotografías. Sin embargo por lo general se lo elige en la posición correspondiente al punto principal de una de las dos fotografías.

(En la Fig. 20, el punto principal de la foto izquierda).

En terreno llano o de pendientes suaves, ΔP será muy pequeño si se lo compara con PR, por lo que podemos despreciarlo en el denominador de la (10), así obtendremos una expresión mucho más sencilla, como:

$$\Delta h = ZR \frac{\Delta P}{PR} \quad (13)$$

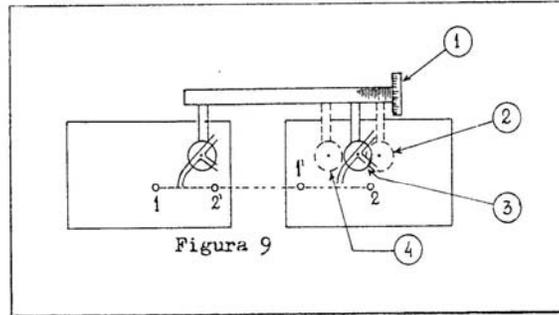


Fig. 19

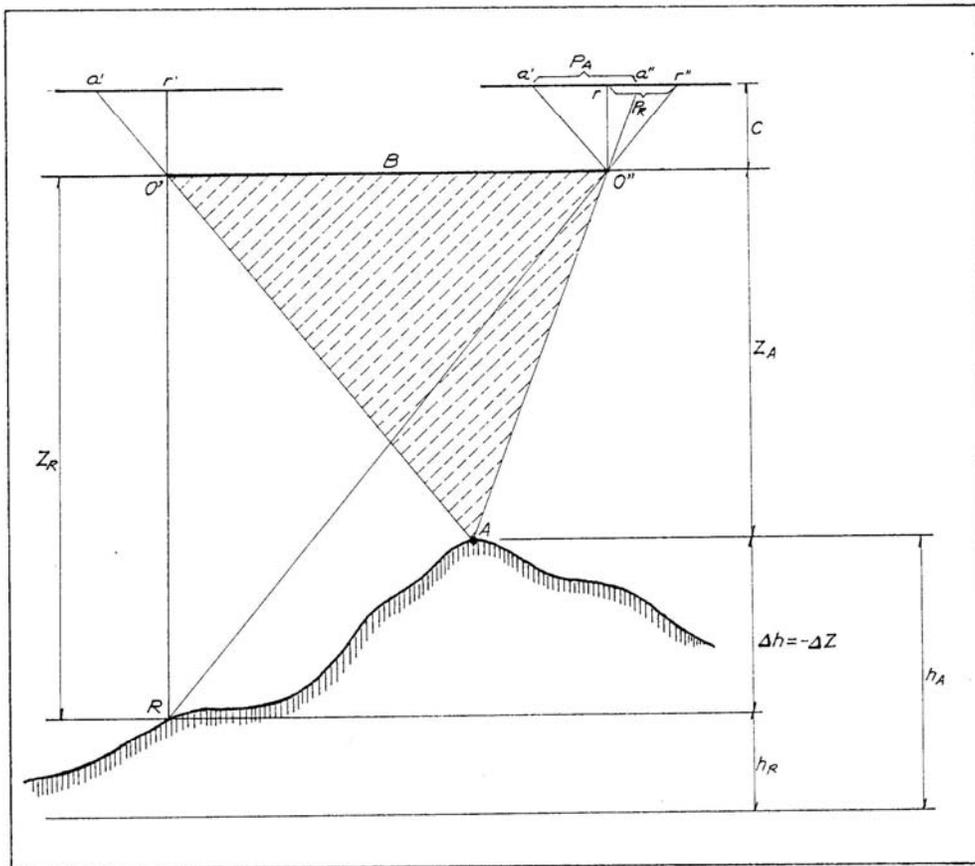


Fig. 20