

CATEDRA DE FOTOGRAFIA

GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS

TRABAJO PRACTICO N° 3: "OBSERVACION ESTEREOSCOPICA"

INTRODUCCION:

En la obtención de cartas topográficas por restitución fotogramétrica juega un papel preponderante la observación estereoscópica de pares de fotogramas.

Ella solucionó en forma completa y definitiva el problema planteado por la identificación de puntos homólogos (imágenes de un punto del terreno en dos fotogramas conjugados). Además, la propia naturaleza de la observación estereoscópica de pares de fotogramas terrestres o aéreos es el elemento básico de la gran precisión alcanzable mediante la técnica fotogramétrica.

En lo sucesivo, a fin de diferenciarlas, llamaremos BINOCULAR a la visión, percepción u observación que, del espacio que nos rodea, realizamos en todo momento con ambos ojos; y ESTEREOSCOPICA a la visión, percepción u observación que ejecutemos sobre fotogramas conjugados en las condiciones que mas adelante se detalla. Téngase bien en cuenta que ambas son BINOCULARES.

A - CONCEPTOS PREVIOS

- I) OJO HUMANO EMETROPE (O NORMAL) - (Ver fig. 1 de "Visión binocular y visión estereoscópica" por R. A. Mosca - C.E.I.- en lo sucesivo V.B.E.)
- a) Globo ocular: Cuerpo aproximadamente esférico de 24 mm de diámetro, constituido por diversos medios transparentes, a saber:
  - b) Córnea: Membrana en forma de casquete esférico situada en la parte anterior del ojo;
  - c) Esclerótica: Membrana exterior que recubre el resto del globo ocular;
  - d) Iris: Diafragma circular muscular pospuesto a la córnea cuyo radio varía automáticamente a fin de regular la cantidad de luz que penetra en el ojo;

e) Cristalino: Cuerpo lenticular biconvexo, de distancia focal automáticamente variable, cuya cara anterior se apoya en la posterior del iris.

El iris con el cristalino dividen al ojo en dos: La cámara anterior, limitada por la córnea, llena de humor acuoso; y la posterior que contiene una masa gelatinosa denominada humor vítreo, tras la cual está la:

f) Coroides: Membrana vascular opaca que tapiza interiormente al globo ocular, la cual a su vez está recubierta en su parte posterior por la:

g) Retina: Que contiene las células fotosensibles (conos y bastoncillos) salvo donde se inserta el nervio óptico (punto ciego) del cual es una expansión. La máxima sensibilidad de la retina se localiza en la mancha amarilla (mácula lútea) en cuyo centro o fosa central (fovea centralis) solamente existen conos. Finalmente el:

h) Nervio óptico: Conectado a la retina, transmite al cerebro las excitaciones luminosas que en ésta origina la luz que, habiendo atravesado los medios transparentes del ojo, produce en ella una imagen real.

## II) EJES DEL OJO - CAMPOS DE VISION - (Ver fig. 2 V.B.E.)

a) Eje óptico: Eje del sistema óptico constituido por los medios transparentes ya citados. Es la recta que pasa por S (vértice corneal) y por B (polo). Pertenecen a este eje N y N' (puntos nodales).

b) Eje de fijación: Es el determinado por el centro de la fosa y N' (semi-eje imagen) y la paralela al mismo que pasa por N (semi-eje objeto). Al observar, el ojo se mueve hasta que el semi-eje objeto pasa por el punto que interesa; su imagen se forma entonces en el centro de la fosa.

c) Campo de visión nítida: (Ojo fijo). Es el comprendido dentro de la fosa. Desde el centro del iris ésta subtende un ángulo que, a lo mas, mide 1° (un grado).

d) Campo de visión indirecta: (Ojo fijo). Abarca 130° horizontalmente, desde la nariz hacia el temporal; verticalmente alcanza a unos 120°. Entre los dos ojos el campo horizontal llega a 180°. Cualquier objeto móvil en su interior es visto de inmediato por el observador;

pero sin percibir debidamente su forma. Para lograrlo el ojo se mueve muy rápidamente hasta que el eje de fijación pasa por el objeto. La movilidad del ojo es sumamente ágil y sutil, lo cual lleva a definir el:

- e) Campo de visión directa (Ojo móvil): Es el cubierto por el de visión nítida atendiendo a los rapidísimos movimientos del ojo, que dan al observador la impresión de abarcar simultáneamente con su vista unos  $80^\circ$  horizontalmente y  $50^\circ$  verticalmente.

### III) CONVERGENCIA - ACOMODACION - (Ver V.B.E. pág. 6)

Para observar un punto del espacio, ambos ojos giran hasta que sus ejes de fijación se cortan en aquél. Este movimiento se denomina convergencia y estimula la acomodación del cristalino, que consiste en su variación de curvatura a fin de que la imagen real del punto observado se forme en la fosa, sea cual sea la distancia de aquél al ojo, entre los límites normales de observación.

Convergencia y acomodación son automáticamente interdependientes; pero con ejercitación adecuada pueden desacoplarse voluntariamente.

- a) Diámetro aparente: Es el ángulo  $\beta$  que desde el centro del iris subtende el objeto que se observa;
- b) Distancia óptima de visión distinta (Ver fig. 3 V.B.E. pag. 7): Es  $\delta_n$ , la menor a que un objeto se observa sin mayor esfuerzo de acomodación; le corresponde <sup>el</sup> mayor diámetro aparente  $\beta_{\max}$ . Para el ojo normal  $\delta_n$  mide de 25cm a 30 cm.
- c) Poder separador - Acuidad visual monocular: El diámetro de los elementos fotosensibles de la fosa central es de  $\sim 4\mu$  y determina la acuidad visual monocular, la que por tal causa resulta de  $1'$ . Esta limita el poder separador del ojo, ya que dos puntos situados a distancia  $\delta_n$  del observador no podrán estar separados menos de  $x$  mm entre sí, de modo que

$$\frac{x \text{ (mm)}}{\delta_n \text{ (mm)}} = 1' = \beta_{\min} \quad \text{Para } \delta_n = 30 \text{ cm}$$

$$\boxed{x_{\min} = 0,1 \text{ mm}}$$

B - VISION BINOCULAR

I) PROCESO DE LA PERCEPCION TRIDIMENSIONAL EN LA VISION BINOCULAR -  
DIPLOPIA - (Ver V.B.E. ap.3.1, pag.8 a 13)

NOTA: Téngase bien en cuenta que la percepción tridimensional es un  
FENOMENO DIFERENCIAL.

II) PARALAJE ANGULAR Y LINEAL - (V.B.E. fig. 6 y 7)

a) Angulo paraláctico  $\delta$ : En general, el ángulo que desde un punto  
del espacio subtiende la base interocular  $\overline{N_1 N_2}$ .

Ejemplos:  $\delta_1$  y  $\delta_2$

$$\delta_1 = \frac{\overline{N_1 N_2}}{Y} = \frac{b}{Y}$$

(La pequeñez del ángulo justifica la aproximación de la fórmula)

b) Paralaje angular  $\Delta\delta$ : Se llama PARALAJE ANGULAR DE M RESPECTO A P  
a la diferencia  $\delta_1 - \delta_2$  entre los respectivos ángulos paralácticos  
y se la designa con  $\Delta\delta$

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$$

En general (fig.7)  $\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2 = \Delta\delta_1 - \Delta\delta_2$  (diferencia algebraica)

Observese que:

- la paralaje angular responde a un CONCEPTO DIFERENCIAL RELATIVO  
(M respecto a P).

- depende de la diferencia de distancias de los 2 puntos respecto  
al observador ( $\Delta Y$ ).

c) Paralaje lineal (Ver V.B.E. fig. 7): A la paralaje angular  $\Delta\delta$  co-  
rresponde una PARALAJE LINEAL p también de M respecto al punto de  
fijación P, definida por la diferencia algebraica:

$$p = \overline{m_1 p_1} - \overline{m_2 p_2}$$

de los arcos subtendidos en ambos ojos por las imágenes de M y P.  
La paralaje lineal p participa de las particularidades observadas  
al estudiar la paralaje angular.

III) ACUIDAD DE FIJACION - RADIO DEL CAMPO DE VISION BINOCULAR TRIDI-  
MENSIONAL

a) Acuidad de fijación: Mínimo valor  $\Delta\delta_0$  de paralaje angular que per-  
mite a un observador separar con seguridad 2 puntos en distancia

Si P=punto fijado a distancia  
Y del observador  
y P'=punto mas cercano a P que  
el observador puede separar (a-  
lineado con P y con su ojo dere-  
cho O<sub>2</sub>)

Resulta  $\Delta\gamma_0$  = ángulo que desde  
un ojo (izquierdo) subtienden P  
y P' = ACUIDAD DE FIJACION.

$\Delta\gamma_0$  varía de un sujeto a otro  
pero puede tomarse como prome-  
dio  $\Delta\gamma_0 = 20''$

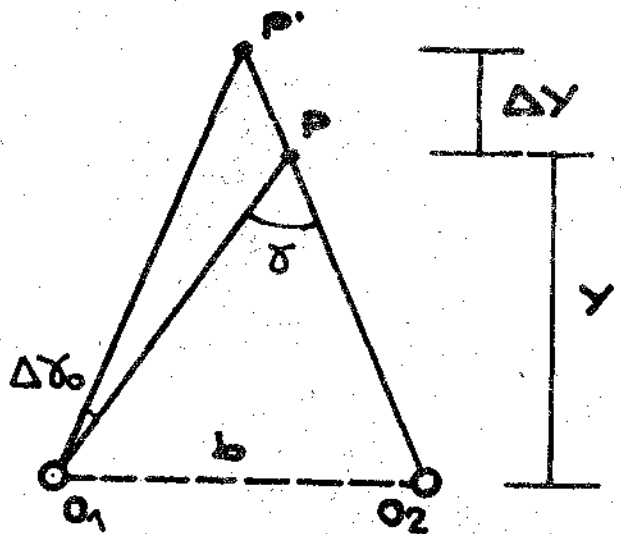


FIGURA 1

Un adecuado entrenamiento permite disminuir hasta unos 5".

Dado un punto P (Y, γ) puede calcularse el valor ΔY que separa a los  
dos puntos que el observador puede ver distintamente a la distancia Y:

Partiendo de :  $\gamma = \frac{b}{Y}$

Diferenciando, pasando a incrementos finitos y dando a Δγ el valor Δγ<sub>0</sub>,  
llegaremos a:

$$\Delta Y_{\min} = \frac{Y^2}{b} \Delta \gamma_0$$

**CONCLUSION:** La DISTANCIA que media ENTRE LOS DOS PUNTOS MAS PROXIMOS  
DISCERNIBLES EN PROFUNDIDAD VARIA CON EL CUADRADO DEL ALEJAMIENTO.  
Este (ΔY) es el ERROR QUE AFECTARA A LA BISECCION BINOCULAR DE UN PUN-  
TO QUE DISTE Y DEL OBSERVADOR.

Se define el PODER SEPARADOR DE DISTANCIAS S PARA UN DETERMINADO OB-  
VADOR(Δγ<sub>0</sub>) y DADA UNA DISTANCIA Y, como la INVERSA DE ΔY<sub>min</sub>

$$S_y = \frac{1}{\Delta Y_{\min}} = \frac{b}{Y^2 \Delta \gamma_0}$$

**CONCLUSIONES:** El poder separador de distancias, para un determinado  
observador, varía en razón inversa con el cuadrado de Y.

Puede aumentarse el poder separador de distancias incre-  
mentando la base b (p.ej. con anteojos binoculares prismáticos, telé-  
metros estereoscópicos, etc.) o bien mejorando la acuidad de fijación.

b) Radio del campo de visión binocular tridimensional: Si P = punto  
distante P del observador, tal que su ángulo paraláctico valga Δγ<sub>0</sub>,

todo punto mas lejano, tendrá respecto a P una diferencia de paralaje angular menor que  $\Delta\gamma_0$ .

Entonces, P mide el máximo alejamiento que admite la percepción binocular de relieve;

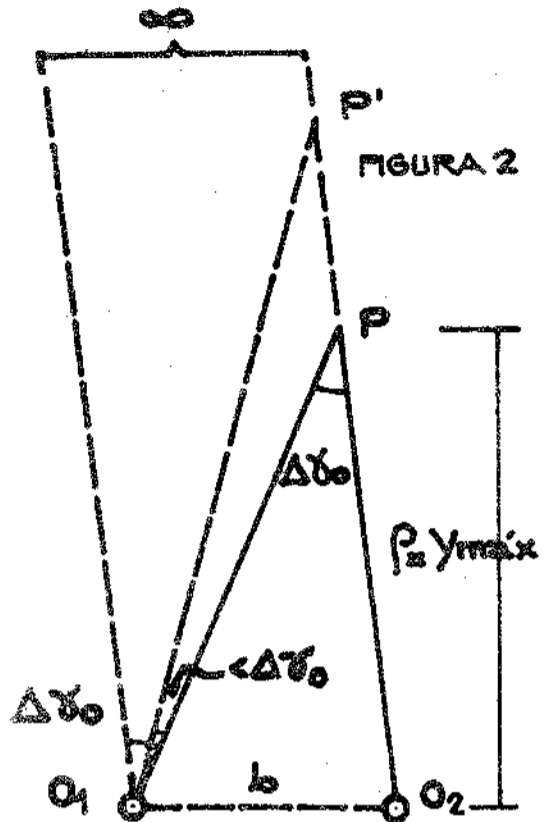
$$P = \gamma_{\text{máx}}$$

Su valor: 
$$P = \frac{b}{\Delta\gamma_0 \text{ (rad.)}}$$

Para  $b = 65 \text{ mm}$ ;  $\Delta\gamma_0 = 20'' = \frac{1}{10.000}$

$$P = 650 \text{ mm}$$

**CONCLUSION:** La posibilidad de apreciar relieve por observación binocular a ojo desnudo es muy limitada, y, salvo excepciones, no llega al kilómetro.



c) Recapitulación - Conclusiones - (Ver V.B.E. ap. 3.4; pag. 20 a 22)

C - VISION ESTEREOSCOPICA

I) TRIDIMENSIONALIDAD VISUAL POR PERCEPCION ESTEREOSCOPICA - (Ver V.B.E. E. fig. 10; pag. 23)

Es posible obtener percepción tridimensional observando pares de perspectivas (en nuestro caso fotográficas). Es lo que denominamos OBSERVACION ESTEREOSCOPICA.

Para lograrlo las fotografías deben responder a ciertos requerimientos:

- a) Reproducir ambas el mismo objeto. (Las imágenes de un punto de aquí en cada fotografía se denominan PUNTOS CONJUGALOS U HOMOLOGOS, tal como R' y R'', Q' y Q'', T' y T'', etc., en la fig.10 de V.B.E.)
- b) Las perspectivas no deben ser congruentes, es decir, deben obtenerse desde distintos puntos de vista. De este modo, cada par de puntos homólogos tendrá un determinado valor de PARALAJE ESTEREOSCOPICA.

II) EXTENSION DEL CONCEPTO DE PARALAJE EN EL CASO DE OBSERVACION ESTEREOSCOPICA

a) En la figura 11, página 25 de la V.B.E., se reproduce el esquema en planta, del caso normal de la fotogrametría terrestre, donde:

$O_1$  y  $O_2$ : puntos de vista de ambos fotogramas

$B = \overline{O_1 O_2}$  = base fotogramétrica terrestre

$\phi_1$  y  $\phi_2$ : planos que ocupan las placas (verticales)

$f$  = focal de la cámara (dirección perpendicular a B)

$m_1$  y  $m_2$ : imágenes de M en cada placa

$n_1$  y  $n_2$ : imágenes de N en cada placa

$l_1$  y  $l_2$ : imágenes de L en cada placa

M y N : puntos del terreno situados a igual distancia Y de la base

L : punto del terreno ubicado a  $Y_L \neq Y$

Puntos situados a distintas profundidades, como M y L ofrecerán una PARALAJE LINEAL DIFERENCIAL ( $\Delta\pi$ )

$$\Delta\pi = \overline{l_1 m_1} - \overline{l_2 m_2}$$

(diferencia algebraica)

(paralaje lineal estereoscópica de L respecto a M)

Se conviene siempre en tomar, como origen para referir las paralajes, los puntos principales  $C_1$  y  $C_2$  de cada fotograma. Llamaremos entonces PARALAJE LINEAL ESTEREOSCOPICA de un punto cualquiera L (o simplemente PARALAJE) a la diferencia algebraica entre los segmentos  $\overline{C_1 m_1}$  y  $\overline{C_2 m_2}$ .

$$\pi_L = \overline{C_1 m_1} - \overline{C_2 m_2}$$

Puede demostrarse que entre puntos situados a igual distancia de la base, como M y N, la paralaje lineal diferencial ( $\Delta\pi_{MN}$ ) o la diferencia entre las respectivas paralajes ( $\pi_M - \pi_N$ ) es nula. (Ver demostración en V.B.E. pag. 26)

Por lo tanto la paralaje es una magnitud que permite deducir la distancia entre un punto y la base, o la diferencia de alejamiento entre dos puntos cualquiera. El modo de calcular estas distancias se verá en otro trabajo práctico.

Nótese que paralaje y distancia a la base son magnitudes relacionadas inversamente: a mayor alejamiento, menor paralaje y viceversa.

b) Concepto de paralaje transversal : Lo visto hasta ahora responde al concepto de paralaje longitudinal (la que se produce paralelamente a la base).

Pero hay casos en que existe una componente transversal de la paralaje. Si en la figura 12 (V.B.E. pag. 28) suponemos que los 2 puntos

homólogos  $M_1$  y  $M_2$  tuvieran distinta ordenada en relación a su respectivo eje X (es decir, si  $Z_1 \neq Z_2$ ) existiría además de la paralaje longitudinal, una paralaje transversal  $\pi_c = Z_1 - Z_2$

### III) PERCEPCION ESTEREOSCOPICA SIN INSTRUMENTO - (V.B.E. fig.13, pag.29)

es factible, siempre que, además de cumplir con los requisitos dados en C - I, las perspectivas fotográficas se presentan a la vista en determinadas condiciones:

a) Los rayos que partiendo de cada ojo, pasan por puntos homólogos, se deben cortar en el espacio, (si no, el MODELO ESPACIAL, no podrá formarse).

Dicho de otro modo, los fotogramas conjugados no deben presentar paralajes transversales.

En esta situación la observación se efectúa por PLANOS NUCLEARES. (ampliar este concepto en V.B.E. ap.4.2, pág. 29)

b) Los puntos lejanos de ambos fotogramas deberán estar entre sí, a una distancia no mayor que la interpupilar del observador. Si no, habría puntos cuyos rayos homólogos divergerían en lugar de converger con lo cual no se formaría el modelo espacial.

CONCLUSION: Para la observación estereoscópica sin instrumento el ancho de cada fotograma no debe superar la distancia interpupilar del observador.

Cumplidas estas condiciones, el problema se centraliza en el siguiente planteo:

Observar con convergencias (ángulos paraláticos) muy pequeños, fotogramas ubicados a la distancia óptima de visión distinta (aprox. 25 a 30 cm).

Por tanto se deberán desacoplar los fenómenos de convergencia y acomodación.

Esto es posible, pero demanda tiempo y esfuerzo a través de metódica ejercitación.

Para evitar esta molestia se idearon los ESTEREOSCOPIOS.

### IV) PERCEPCION ESTEREOSCOPICA CON INSTRUMENTO

a) Estereoscópio simple (o de Brewster) - (Ver V.B.E. figs. 14 y 15, págs. 32 y 33).



Entre cada ojo y el respectivo fotograma a observar se intercala una LUPA. Los rayos emergentes de ellas alcanzan al ojo en haces sensiblemente paralelos (coherencia entre convergencia y acomodación, porque para convergencias muy pequeñas, corresponden imágenes muy lejanas).

El estereoscopio simple responde a este principio, que se materializa, mediante una montura que aloja 2 oculares de igual focal, separados en una distancia igual a la base interpupilar promedio (aprox. 65 mm).

Con este instrumento subsiste la limitación del ancho de los fotogramas mencionada anteriormente.

Para analizar imágenes mayores (caso de la fotogrametría terrestre y aérea) se debe ampliar la base instrumental. El instrumento adecuado es:

b) Estereoscópio de espejos (o de Helmholtz) - (Ver V.B.E. figs.17, 18, 19, 20 y 21)

En este aparato un doble juego de espejos y prismas colocado a  $45^\circ$  respecto a cada visual, permite ampliar la base de observación desde  $b$  hasta  $B'$ .

La figura 18 ilustra el esquema típico de un estereoscópio de espejos .

Algunas marcas (OUDE DELFT) proporcionan dos o más valores de aumento óptico y dispositivos para explorar rectangularmente el ámbito del par estereoscópico por movimientos de los sistemas de espejos. En general, el uso de estereoscópios de espejos, comprende las siguientes etapas:

- 1) Colocación de los fotogramas ante los espejos de entrada.
- 2) Ajuste de la distancia interpupilar del observador entre los oculares.
- 3) Enfoque (casi siempre por separado) de ambos oculares.
- 4) Orientación de los fotogramas en su plano hasta que los puntos homólogos formen rectas paralelas a la base del instrumento. Esta etapa se controla observando por los oculares hasta que se produzca la fusión estereoscópica.
- 5) Observación estereoscópica. Para ello no se debe forzar la vista, dejando los ojos en reposo (enfocados al infinito). Si los fotogramas están correctamente colocados no tardará en producirse la fusión estereoscópica.

6) En el estereoscopio OUDE DELFT puede explorarse el par en dos direcciones normales (longitudinalmente -x- y transversalmente -y-) mediante perillas, y aún varíanse paralajes longitudinales ( $\Delta X$ ) y anular o provocar paralajes transversales ( $\Delta Y$ ) con otros 2 controles coaxiales a los anteriores.

V) PRINCIPIO DEL CONTACTO ESTEREOSCOPICO - ESTILOPTICO - (Ver V.B.E. págs. 38 a 40)

VI) ANAGLIFOS - PROYECCION ANAGLIFICA - PROYECCION CON LUZ POLARIZADA (Ver V.B.E. ap.4.5, págs. 40 a 44)

VII) INVERSION DEL RELIEVE - RELIEVE ORTOSCOPICO Y SEUDOSCOPICO - (Ver V.B.E. fig. 24, pág. 45)

- a) Estereograma: Par de fotogramas conjugados montado convenientemente para su observación estereoscópica en estereoscopio simple o de espejos.
- b) Si un estereograma está correctamente montado ofrecerá un modelo plástico cuyo relieve corresponde al terreno natural que representa (RELIEVE ORTOSCOPICO. Ver V.B.E. fig. 24a). Si ahora lo giramos  $180^\circ$  en su plano no se altera la sensación de relieve por cuanto equivale a girar en la misma medida el modelo espacial. Pero si en cambio PERMUTAMOS LOS FOTOGRAMAS DE LUGAR, el relieve se invierte; las cimas se convierten en valles y viceversa. Tendremos RELIEVE SEUDOSCOPICO (Ver V.B.E. fig. 24b). Lo mismo ocurre si SIN PERMUTAR LOS FOTOGRAMAS giramos CADA UNO DE ELLOS  $180^\circ$  en su plano, (Ver V.B.E. fig. 24c).

#### D - PLASTICIDAD ESTEREOSCOPICA

Llámanse así al resultado de comparar dos sensaciones subjetivas de tridimensionalidad:

la experimentada por un observador cuando contempla cierto objeto binocularmente con un instrumento (o bien estereoscópicamente, en determinadas condiciones, con fotogramas conjugados de aquél),

con la que recibe desde el mismo lugar al mirar directamente con ambos ojos al objeto precitado.

Atendiendo a esta definición, la Plasticidad Esteroscópica, por ser el resultado de una comparación, tiene siempre carácter

relativo.

El segmento mínimo  $\Delta Y'_{\min}$  que el observador separa en gabinete con visión estereoscópica, puede (y debe) ser sustancialmente menor que el  $\Delta Y_{\min}$  separable por él en el lugar del terreno donde se impresionaron los fotogramas.

Se demuestra que si  $K = \frac{B}{B'}$  y  $A = \frac{f}{\delta} G$  en las que:

B = Base de toma (terrestre o aérea)

B' = Base instrumental (distancia entre los elementos de entrada del sistema de observación estereoscópica)

G = Aumento óptico del sistema de observación

f = Focal de la cámara de toma

$\delta$  = Distancia óptima de visión distinta

el producto K.A, llamado poder plástico total (P.P.T.) da la medida del aumento del poder separador en profundidad ( $1/\Delta Y'_{\min}$ ); mientras que el cociente K/A, denominado poder plástico relativo (P.P.R.) o relieve relativo (R.R.) informa sobre la plasticidad estereoscópica.

Si  $S_y = \frac{1}{\Delta Y_{\min}}$  es en visión binocular el poder separador en profundidad a una distancia Y, será:

$S'_y = \frac{1}{\Delta Y'_{\min}} = S_y \cdot K \cdot A$  el poder separador para igual distancia Y cuando se observa estereoscópicamente un par de fotogramas conjugados.

A su vez,

$$\Delta Y'_{\min} = \frac{\Delta Y_{\min}}{K \cdot A}$$

#### D - EJERCICIO A EJECUTAR EN CLASE

a) Se darán dos fotogramas aéreos conjugados y con ellos cada alumno confeccionará un estereograma, según las INSTRUCCIONES CONSIGNADAS EN EL APARTADO 6.0 PAGINAS 75 A 82, V.B.E., donde se imparten además los conceptos previos de escala, base aérea, etc. que introducen conocimientos necesarios mínimos sobre el material con que se trabajará.

Una vez armado el estereograma se lo podrá analizar bajo estereoscopia simple, se calculará el P.P.T. y el P.P.R. que ofrece la observación del mismo en esas condiciones, y se deducirá el mínimo segmento separable en distancia  $\Delta z$  en base a datos a distribuir en clase y a otros que el alumno obtendrá durante su trabajo.