

CATEDRA DE FOTOGRAFIA

GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS

TRABAJO PRACTICO N° 4

ESTEREOCOMPARADOR

INTRODUCCION: Con el método estereofotogramétrico terrestre se producen documentos topográficos de zonas preferentemente quebradas por medio de pares de fotografías ($\phi_1; \phi_2$) obtenidos con un fototeodolito desde los extremos de un cierto número de bases B emplazadas en el terreno en lugares previamente elegidos.

Los fotografías así registrados se someten en gabinete al proceso de restitución del cual resulta, finalmente, la planialtimetría de la zona a levantar, trazada a la escala E y con equidistancia e para las líneas de nivel.

A) BASES GEOMETRICAS:

I) PLANTEO DEL PROBLEMA:

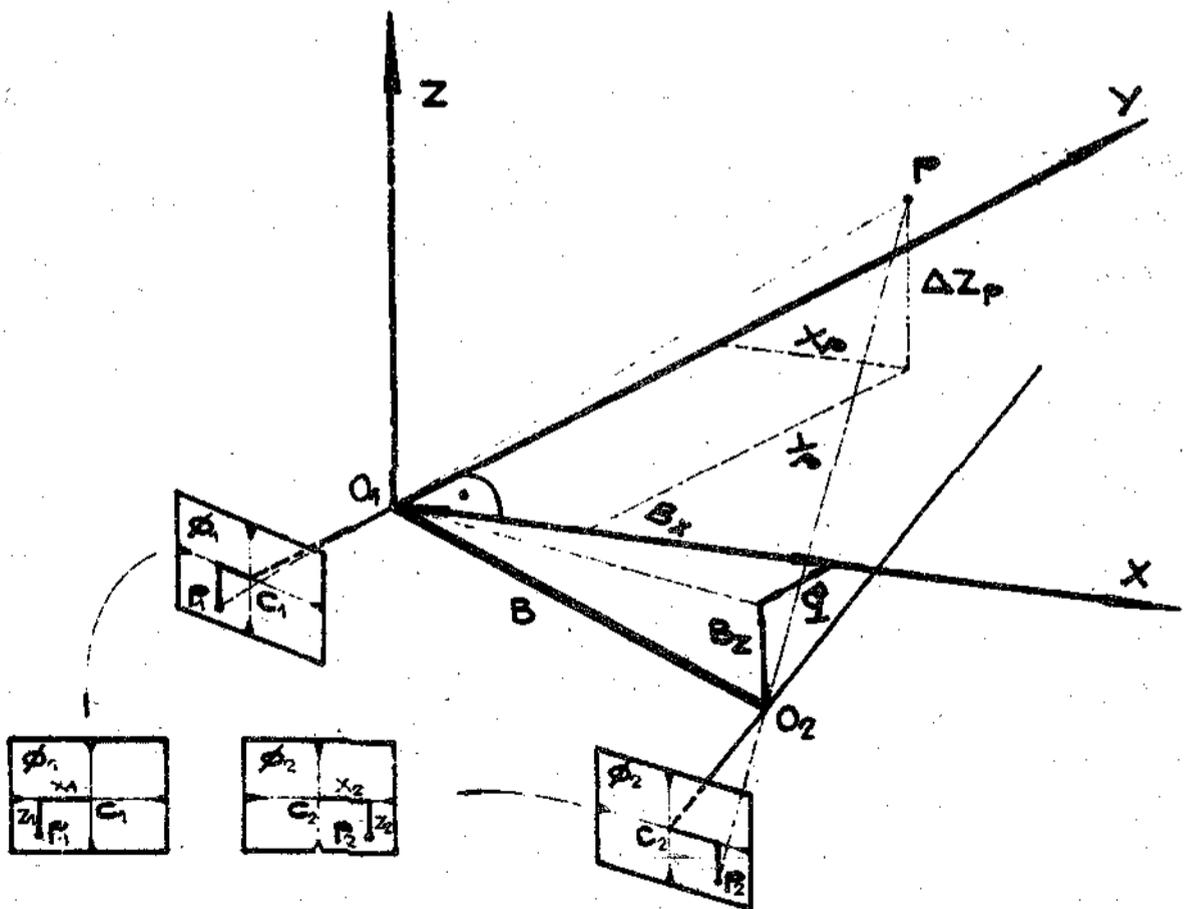


FIGURA 1

La posición de un punto cualquiera P del terreno se encuentra en la intersección de las direcciones p_1O_1 y p_2O_2 , siendo:

O_1 y O_2 : posiciones que ocupa el centro del objetivo de la cámara del fototeodolito, emplazado primero en el extremo izquierdo de B, y luego en el derecho.

$O_1O_2 = B =$ base fotogramétrica.

P_1 y P_2 : imágenes de P en ϕ_1 y ϕ_2 .

El problema está geoméricamente determinado cuando se conocen, para cada uno de los 2 fotogramas del par:

- 1) La posición de O con respecto al sistema de referencia del terreno; 3 coordenadas (X, Y, Z) 3 datos
- 2) La dirección en el espacio del eje principal CO : 2 ángulos 2 "
- 3) La orientación de ϕ en su propio plano: 1 ángulo 1 "

Total = 6 parámetros . . .

. . . (3 lineales y 3 angulares) correspondientes a los 6 grados de libertad de un cuerpo en el espacio. Para el conjunto de ambos fotogramas serán necesarios: $6 \times 2 = 12$ parámetros (6 lineales y 6 angulares) que fijan su orientación externa. Estos datos se determinan por medio de mediciones realizadas en el terreno mismo, en la forma que oportunamente se verá, por lo que se dice que en Fotogrametría terrestre se opera a orientación externa de los fotogramas conocidos.

II) SISTEMA DE REFERENCIA FOTOGRAFICO:

Para formular expresiones en las que las coordenadas de P sean función de las x_1z_1 y x_2z_2 que se miden en los planos ϕ_1 , ϕ_2 de imagen, es necesario establecer previamente un sistema de coordenadas fotogramétrico propio del par de fotogramas considerado. Se adopta generalmente la terna ortogonal siguiente: (Ver fig. 1)

- Origen O_1 : en el extremo izquierdo, o extremo director de la base B.
- Eje Y : horizontal y coincidente con el eje C_1O_1 . Se denomina eje director, o eje de levantamiento.
- Eje X : pertenece al plano horizontal que contiene a O_1 , y es perpendicular al eje Y.

su deducción, que resulta de sencillas comparaciones entre triángulos semejantes, puede consultarse en: "Cursillo de Fotogrametría" (Depto. Vías de Comunicación) Agrm. Antonio M. Sarelegui, pag. 58.

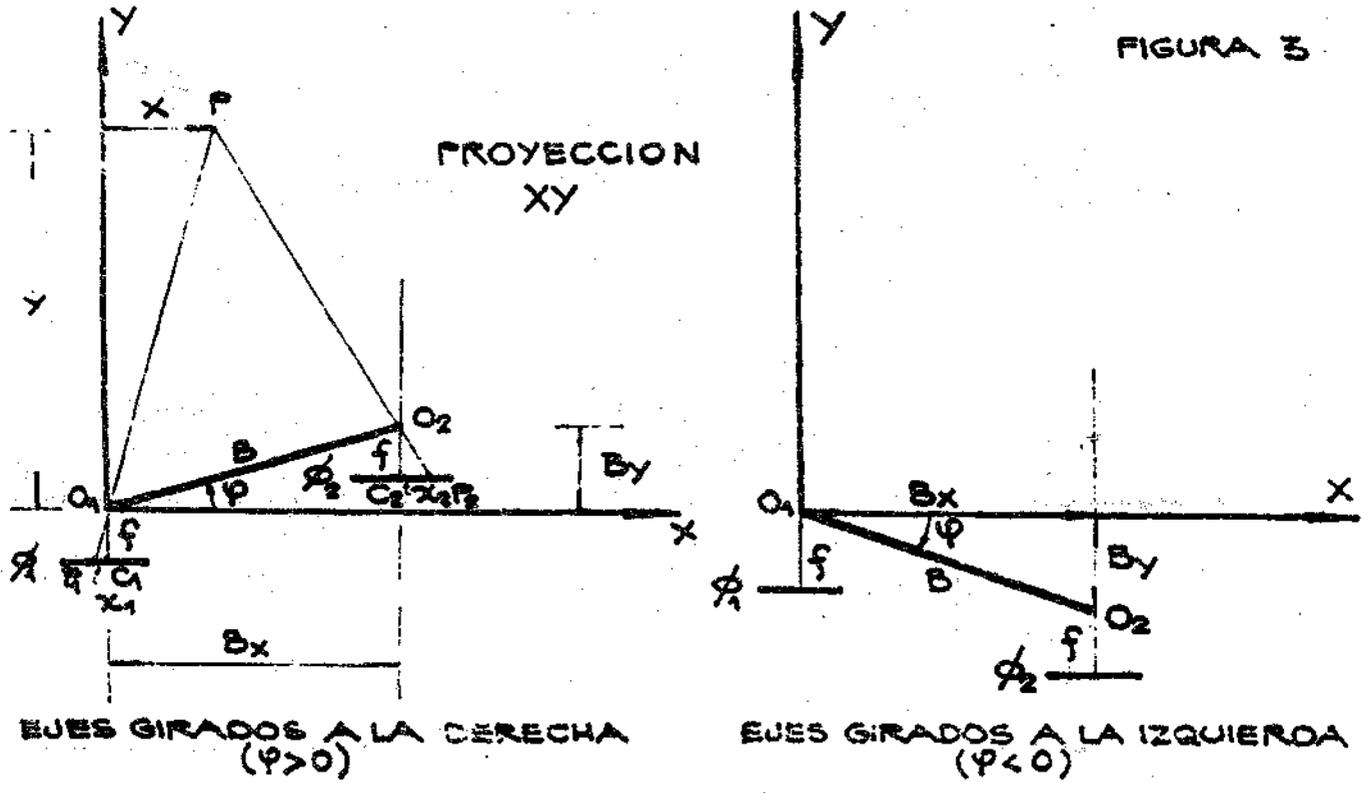
ΔZ expresa la cota fotogramétrica de P referida a la del punto O_1 (centro del objetivo de la cámara izquierda). Llamando Z_0 a la altitud absoluta de O_1 con respecto a un cierto plano de comparación (p. ej.: el nivel del mar), la cota absoluta de P resulta:

$$Z = Z_0 + \Delta Z \quad (\Delta Z \text{ con su signo}) \quad (4)$$

A su vez, $\pi = x_1 - x_2 =$ paralaje longitudinal estereofotogramétrica = diferencia entre las abscisas de los puntos p_1 y p_2 , imágenes de P, medidas en ϕ_1 y ϕ_2 respectivamente. Obsérvese que tanto Y, como X y ΔZ varían en forma inversamente proporcional a π .

b) Caso de ejes girados:

Se produce cuando los ejes C_1O_1 y C_2O_2 son horizontales, permanecen paralelos entre sí, pero forman con la base un ángulo distinto de 90° . La figura representativa de este caso es:



Las coordenadas de P están dadas por las expresiones:

Para X y $\Delta Z =$ las mismas fórmulas que en el "caso normal"

$$Y = \frac{B \cdot f}{\pi} \left(\cos \varphi \mp \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right)$$

(-) = giro a la derecha
 (+) = giro a la izquierda

Eje Z : perpendicular al plano horizontal (XY)

III) COMPONENTES DE BASE:

B_x, B_y, B_z = son las coordenadas del extremo derecho O_2 de la base B en el sistema de referencia O_1 (XYZ). (Fig. 1).

IV) CASOS DE LA FOTOGRAMETRIA TERRESTRE:

Según la posición que ocupen los fotogramas (o sea las cámaras métricas que los producen) en el espacio en el momento de su impresión, se definen los distintos casos de la Fotogrametría Terrestre.

a) Caso Normal:

Los ejes principales CO_1 y CO_2 de las cámaras son horizontales y perpendiculares a la base B. Puede existir B_z (B_z nunca debe ser mayor que $\frac{B_x}{\pi}$), pero $B_y = 0$. Por proyección sobre los planos XY (horizontal), e YZ (vertical) respectivamente, se obtiene la figura siguiente, representativa del caso normal.

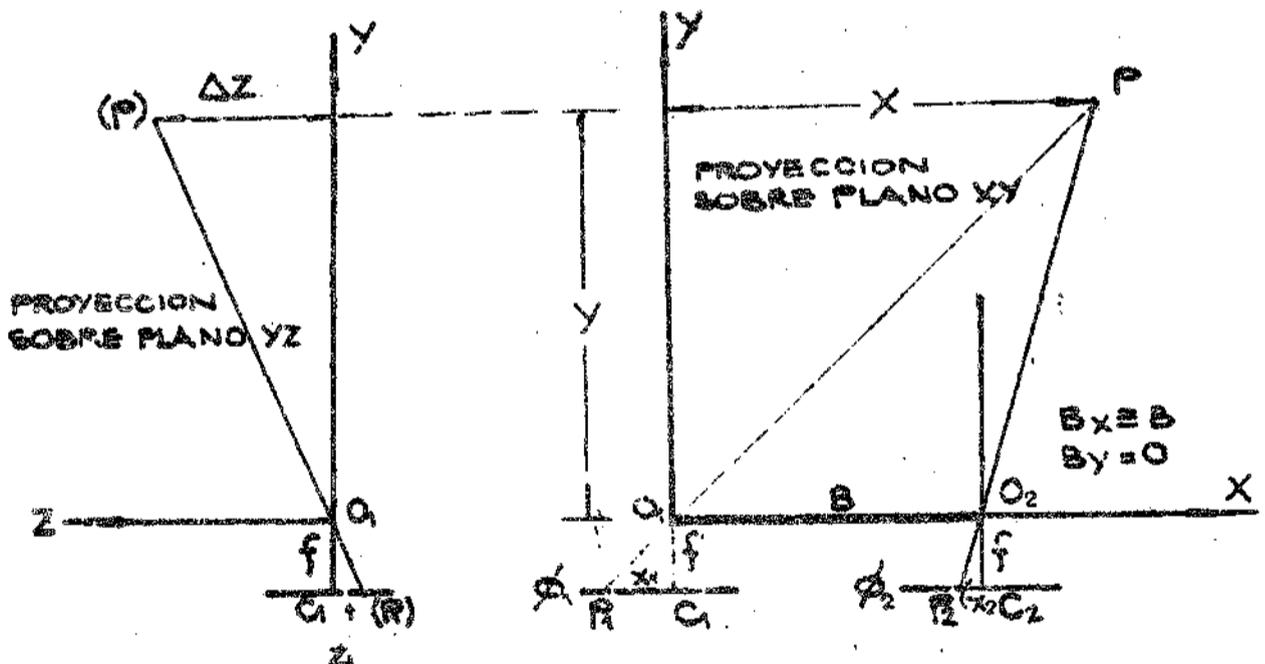


FIGURA 2

Las fórmulas que dan las coordenadas del punto P en el sistema de referencia definido en II) son:

$$y = \frac{B \cdot f}{\pi} \quad (1)$$

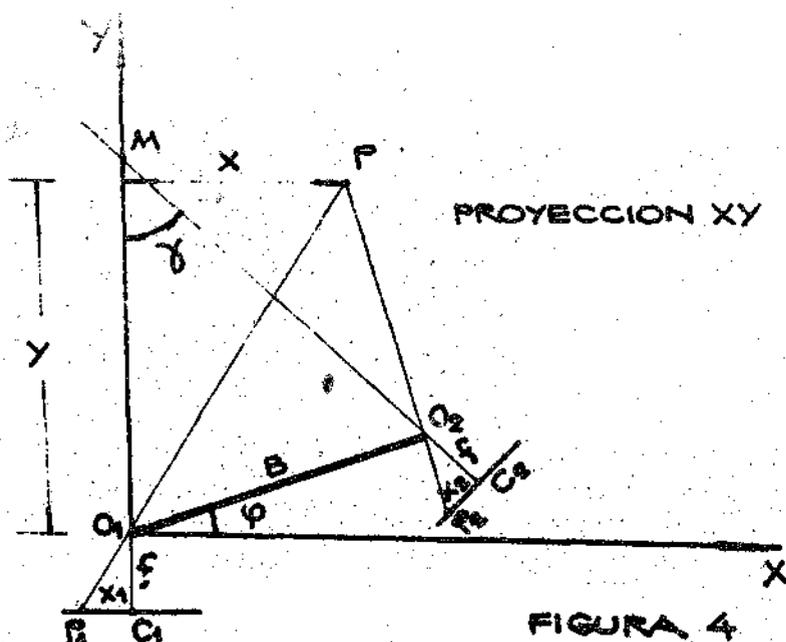
$$X = \frac{y}{f} x_1 = \frac{B}{\pi} x_1 \quad (2)$$

$$\Delta Z = \frac{y}{f} z = \frac{B}{\pi} z_1 \quad (3)$$

Ver también: "Fotogrametría" (Garlan - Limeses - Saralegui). Pag. 73.

c) Caso general:

Los ejes C_1O_1 y C_2O_2 son horizontales, pero forman ángulos distintos con la base



Las fórmulas que proporcionan las coordenadas de P son:

Para X y $\Delta Z = \text{idem "caso normal"}$

$$Y = \frac{B \cdot f}{\pi} \cdot \frac{f \cos(\varphi + \gamma) - x_2 \operatorname{sen}(\varphi + \gamma)}{f \cos \gamma + \frac{x_1 \cdot x_2 + f^2}{\pi} \operatorname{sen} \gamma} \quad (6)$$

Ver: op. cit. pag.49.

Obsérvese que si en esta expresión se hace $\gamma = 0$ resulta la que da la Y del caso "ejes girados". Si además $\varphi = 0$, se obtiene la fórmula de Y para el "caso normal".

d) Observación:

El caso normal es el de mayor aplicación en Fotogrametría Terrestre pues simplifica las operaciones - especialmente en el gabinete - y conduce a errores menores y mejor distribuidos.

B) CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE LOS TRABAJOS DE GABINETE:

I) RESTITUCION:

Dado un par de fotogramas obtenidos en determinadas

condiciones se denomina en Fotogrametría (Terrestre o Aérea) restitución al proceso de gabinete mediante el cual se produce, directa o indirectamente, el trazado de la planialtimetría (o solamente de la planimetría) del terreno que aparece retratado en la zona común de ambos fotogramas. En Fotogrametría Terrestre la restitución puede llevarse a cabo de dos maneras diferentes:

- 1) Se miden las coordenadas X ; x_1 ; z_1 de los puntos imagen en los fotogramas y posteriormente se determinan por cálculo las Y , X , ΔZ de los correspondientes puntos del terreno. Con estos datos se confecciona un plano de puntos acotados en el que finalmente, por interpolación, como en Taquimetría, se trazan las líneas de nivel.
- 2) Se instalan los fotogramas en un aparato estereorestituidor, que, a través de los dispositivos ópticos y mecánicos con que cuenta, produce directamente, en forma continua, la carta topográfica del terreno, con sus líneas de nivel y su planimetría.

En este Trabajo Práctico nos ocupamos de la primera modalidad operativa, a la que denominaremos analítica.

La restitución analítica (o por puntos aislados) de fotogramas terrestres obliga a disponer de un instrumento que posibilite:

- 1) Bisectar estereoscópicamente cualquier par de puntos homólogos p_1 p_2 de los fotogramas ϕ_1 ϕ_2 , y
- 2) Medir los valores de la abscisa x_1 , ordenada z_1 y paralaje longitudinal N necesarios para introducir en las fórmulas anteriores.

El instrumento que cumple con tales requisitos se denomina Estereocomparador.

II) ESTEREOCOMPARADOR:

(Ver también: op. cit. pag. 59)

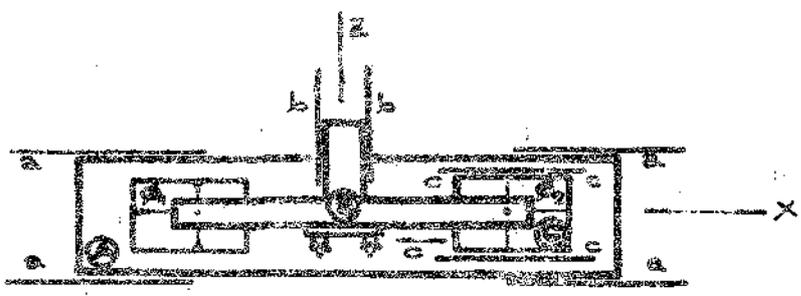


FIGURA 5

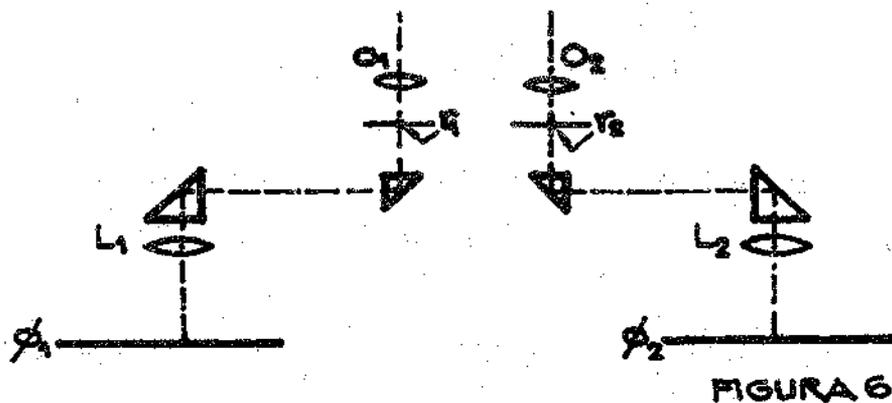
a) Descripción sumaria: (Referida al Estereocomparador Pulfrich-Zeiss con el que se operará en clase)

A = carretón general desplazable en x, guiado por los rieles a-a, sobre el cual se encuentra el portafotogramas izquierdo (director).

C = carrito portaplacas derecho, que se mueve también en dirección x, guiado por los rieles c-c dispuestos sobre el carretón A. Los juegos de rieles a-a y c-c son paralelos, por lo que las traslaciones de este carrito C con relación a las del carretón A materializan, por combinación de dos desplazamientos en igual dirección, la diferencia $x_1 - x_2 = \mathcal{N}$ = paralaje longitudinal.

B = carro de las z, portador del dispositivo óptico llamado estereomicroscopio, con el que se observan los fotogramas.

Este carro se desplaza sobre los rieles b-b, perpendiculares a los a-a.



El estereomicroscopio se compone (fig. 6) de dos ramas iguales simétricas e independientes, destinadas a la observación de los fotogramas ϕ_1 y ϕ_2 respectivamente. Cada una de ellas conforma un anteojo colimador con su objetivo L, su ocular O y su índice puntiforme r. El conjunto está organizado estructuralmente como un estereoscopio de espejos.

Los movimientos de estos carros se efectúan:

- A : carretón general : con manivela
- B : carro de las z : " "
- C : carrito de las \mathcal{N} : con tornillo micrométrico provisto de tambor graduado (fig. 7).

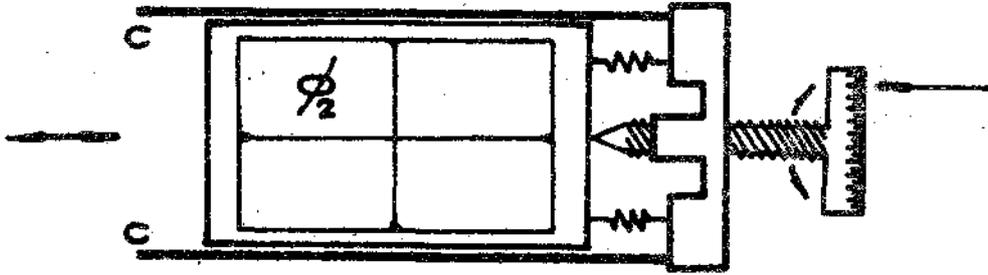


FIGURA 7

El carrito C cuenta, además con la posibilidad de otro movimiento relativo, también respecto al A, pero en dirección z, destinado a eliminar la diferencia $z_1 - z_2 = \pi_t =$ paralaje transversal, la cual si está presente durante la observación estereoscópica puede entorpecerla, o aún impediría si su valor es grande. La paralaje transversal se produce siempre que exista un desnivel B_z entre los extremos de la base terrestre.

Los dispositivos de lectura del Estereocomparador de Pulfrich son:

para x y z : escalas mediomilimetradas y nonios en los que se puede leer directamente 0,02 mm, y por estima 0,01mm.

para π : tornillo micrométrico (fig. 7) de paso milimétrico, y tambor graduado con 100 divisiones. Se lee directamente 0,01 mm, y por estima 0,005 mm.

Consecuentemente, los errores medios en la medición de x_1 , z_1 y π son:

$$\begin{aligned}
 m_x &= \pm 0,01 \text{ mm} = \pm 10 \mu \\
 m_z &= \pm 0,01 \text{ mm} = \pm 10 \mu \\
 m_\pi &= \pm 0,005 \text{ mm} = \pm 5 \mu
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

b) Condiciones de funcionamiento correcto:

- Rieles a-a : paralelos a los c-c
- Rieles b-b : perpendiculares a los a-a
- Dispositivos de medición (escalas y tornillos micrométricos) : correctamente calibrados

c) Operación del Estereocomparador de Pulfrich:

1. Instalación de los fotogramas ϕ_1, ϕ_2 (placas negativas originales o diapositivas por contacto de las mismas) en los portaplacas izquierdo y derecho, respectivamente.
2. Regular: a) enfoque de cada ocular; b) enfoque general del estereomicroscopio para las placas observadas; c) separación de los oculares adaptándola a la distancia interpupilar del operador.
3. Orientación, por separado, de los 2 fotogramas en su propio plano hasta lograr que los ejes x, z de los sistemas de referencia de ϕ_1 y ϕ_2 (definidos en las placas por las rectas que unen señales laterales opuestas) resulten paralelos a los desplazamientos rectilíneos de los carros A y B. Para ello los portaplacas del aparato están montados en platinas que admiten giros alrededor de su centro.

El procedimiento que se sigue para cumplir estas orientaciones será detallado en clase.

4. Movilizando los carros A, B, C, se bisecta el punto principal C_1 de ϕ_1 con el ocular izquierdo, y el C_2 de ϕ_2 con el derecho (C_1 y C_2 han sido marcados previamente sobre los fotogramas). En esta situación se toman las lecturas instrumentales iniciales:

x_0, z_0, π_0 .

5. Se está ahora en condiciones de hacer puntería estereoscópica sobre los distintos puntos del par. Las operaciones a ejecutar son: (Ver figura 8)

- a) La posición inicial es la señalada en 4. (Fig. 8b)
- b) Movilizando los carros A y B se bisecta con el anteojo izquierdo el punto p_1 , produciendo las traslaciones x_1 y z_1 (Fig. 8c).
- c) Manteniendo la posición anterior, se mueve, por medio de los tornillos de paralaje longitudinal y transversal, el carrito portaplacas derecho hasta bisectar el punto p_2 con el anteojo respectivo. Comparando las figs. 8d y 8c se vé que estos desplazamientos de ϕ_2 respecto a ϕ_1 materializan las diferencias $X_1 - X_2 = \pi = \text{paralaje longitudinal}$ y $Z_1 - Z_2 = \pi t = \text{paralaje transversal}$. En esta situación se produce el contacto estereoscópico entre el estilóptico (fusión estereoscópica de los índices puntiiformes r_1

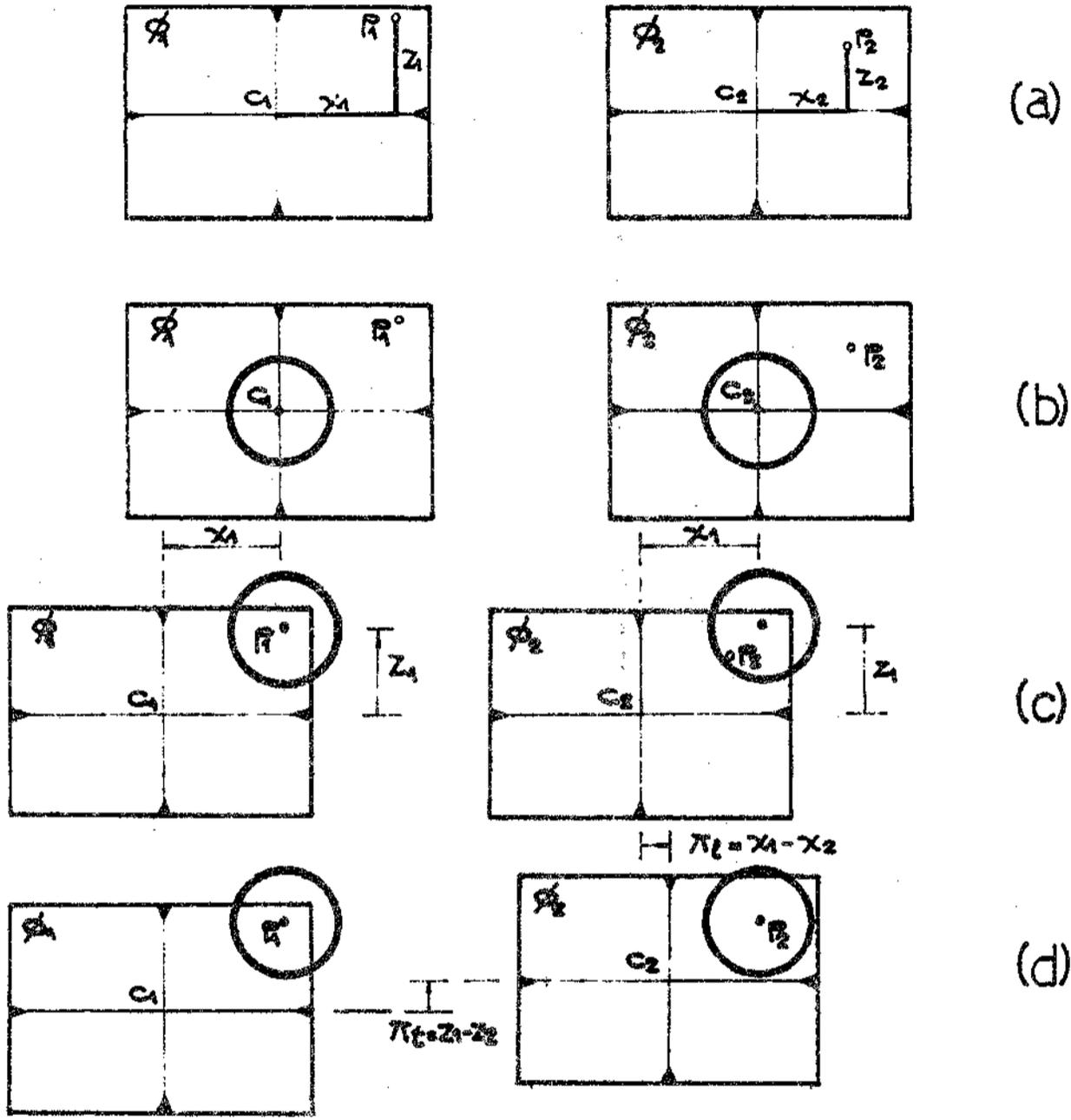


FIGURA 8

y r_2) y el punto del modelo plástico del terreno que corresponde a los detalles p_1 y p_2 observados a su vez estereoscópicamente.

- d) Se toman ahora las lecturas instrumentales $x'_1 z'_1 \pi'$, que relacionadas con las iniciales $x_0 z_0 \pi_0$, conducen a las coordenadas de imagen medidas:

$$\begin{aligned}x_1 &= x'_1 - x_0 \\z_1 &= z'_1 - z_0 \\ \pi &= \pi' - \pi_0\end{aligned} \quad (8)$$

NOTA: Corresponde señalar que las operaciones b) y c) que aquí hemos supuesto realizadas en pasos independientes y sucesivos, son en realidad ejecutadas en forma simultánea cuando la manipulación del instrumento está a cargo de un operador medianamente experimentado.

- e) Cada nueva puntería estereoscópica implica repetir el ciclo de operaciones a) . . . d)

La medición y el cálculo se registran en una planilla como la que se reproduce en hoja aparte.

Durante la clase práctica se harán con el Estereocomparador de Pulfrich las siguientes ejercitaciones:

- . Instalación y orientación de fotogramas.
- . Exploración estereoscópica de fotogramas.
- . Visualización de las paralajes longitudinal y transversal.
- . Ejecución de punterías estereoscópicas, medición de coordenadas de imagen, y cómputo de los correspondientes valores del terreno.

C - LOS ERRORES EN EL "CASO NORMAL" DE LA FOTOGRAFIA TERRESTRE:

Las coordenadas de un punto del terreno son, como se ha visto:

$$Y = \frac{B \cdot f}{\pi} \quad (9)$$

$$X = \frac{Y}{f} x_1 \quad (10)$$

$$\Delta Z = \frac{Y}{f} z_1 \quad (11)$$

B = base medida en el terreno
 f = distancia principal de la cámara de toma, resultante de su contraste.

x_1, z_1, \tilde{y} = coordenadas de imagen medidas con el estereocomparador

valores conocidos con suficiente precisión como para que sus errores no influyan en los de X, Y, ΔZ

sus errores son respectivamente: $\Delta x_1, \Delta z_1$ y $\Delta \tilde{y}$

I) Error absoluto en Y:

Diferenciando (9) en función de π y tomando incrementos finitos:

$$\Delta Y = -\frac{B \cdot f}{\pi^2} \Delta \pi \quad (12)$$

Omitiendo considerar el signo (-) y reemplazando $\pi = \frac{B \cdot f}{Y} \therefore$

$$\Delta Y = \frac{Y^2}{B \cdot f} \Delta \pi \quad (13)$$

ΔY crece con el cuadrado de Y

II) Error relativo en Y:

De la expresión anterior resulta:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta Y}{Y} = \frac{Y}{B \cdot f} \Delta \pi \quad (14) \quad \epsilon_y \text{ crece linealmente con } Y$$

Como $\frac{Y}{B \cdot f} = \frac{1}{\pi}$

resulta, reemplazando:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta \pi}{\pi} \quad (15)$$

El error relativo en Y es igual al error relativo con que se ha medido π .

Este error relativo puede expresarse así:

$$\epsilon_y = \frac{1}{N \cdot 10^3} \quad (16)$$

La precisión intrínseca del método estereofotogramétrico terrestre es tal que $N = 1$ a 2 , o sea:

$$\epsilon_y = \frac{1}{1000} \text{ a } \frac{1}{2000}$$

III) Error absoluto en X:

Diferenciando (10) en función de Y y de x_1 , tomando todos los términos con signo positivo, y pasando a incrementos finitos, se tiene:

$$\Delta X = \frac{Y}{f} \Delta x_1 + \frac{x_1}{f} \Delta Y \quad (17)$$

Reemplazando $Y = \frac{\Delta Y}{\epsilon_Y} = \Delta Y \cdot N \cdot 10^3$ y operando:

$$\Delta X = \Delta Y \frac{\Delta x_1 \cdot N \cdot 10^3 + x_1}{f} \quad (18)$$

Con los valores corrientes: $\Delta x_1 \cong 0,01\text{mm}$; $N = 1$ a 2 ; $x_1 < 70\text{mm}$; y $f \cong 150\text{mm}$, resulta $\frac{\Delta x_1 \cdot N \cdot 10^3 + x_1}{f} \cong \frac{1}{2}$ de lo que se desprende, incorporando este resultado a la expresión anterior, que ΔX es siempre una fracción de ΔY .

IV) Error absoluto en ΔZ :

Operando con (11) en igual forma que la que se siguió para establecer ΔX , se tiene:

$$e_{\Delta Z} = \frac{Y}{f} \Delta z_1 + \frac{z_1}{f} \Delta Y \quad (19)$$

Efectuando los mismos reemplazos que anteriormente:

$$e_{\Delta Z} = \Delta Y \cdot \frac{\Delta z_1 \cdot N \cdot 10^3 + z_1}{f} \quad (20)$$

Como el valor máximo de z_1 es menor que el de x_1 (dado que los fotogramas terrestres son generalmente rectangulares, con el lado mayor del rectángulo, horizontal), resulta que el término multiplicativo de ΔY en (20) es menor que el correspondiente de (18). Por tanto se verifica no solo que $e_{\Delta Z} < \Delta Y$, sino también que $e_{\Delta Z} < \Delta X$.

V) Ejercitación:

La determinación de las coordenadas de puntos del terreno a partir de mediciones realizadas con el Estereocomparador de Pulfrich será acompañada del cálculo de los errores absolutos en las mismas. Ver, al respecto, fórmulas: (7), (13), (17), (19).

