

# CATEDRA DE FOTOGRAMETRIA

## GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS

### TRABAJO PRACTICO N° 6

### TRABAJOS DE CAMPANA Y GABINETE

### DE LA ESTEREOFOTOGRAMETRIA TERRESTRE

#### INTRODUCCION:

Los trabajos de campaña de la estereofotogrametría terrestre tienen por finalidad obtener los fotogramas del terreno a levantar (tarea fotográfica), determinar la longitud y posición de las distintas bases, y establecer los puntos de control necesarios para una correcta restitución (trabajos topográficos complementarios).

Por su parte, y en base a los elementos anteriores, los trabajos de gabinete tienen por objeto el trazado de la restitución planialtimétrica de la zona de terreno en cuestión, a la escala y equidistancia especificadas.

En la presente Guía se dará breve noticia de las tareas que demandan unos y otros.

#### A)- DATOS INICIALES

Características de la zona a levantar.  
Escala del documento topográfico a ejecutar.

Generalmente se trata de zonas montañosas, francamente quebradas, en donde se deben ejecutar:

- a) Levantamientos generales de sectores extensos a escalas chicas (1:20000 a 1:100000).
- b) Levantamientos destinados a necesidades especiales (muros de cierre de embalses, diques, etc.) a escala grande (1:2000 a 1:200).

Hoy día el método tiene su mayor aplicación en estos casos.

B)- PREPARACION Y PLANEAMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CALPANA.

Una vez conocidos los datos iniciales se ñalados deben abordarse las siguientes etapas:

1. Estudio de antecedentes: cartografía preexistente de la zona, si la hay; otros levantamientos efectuados; etc.
2. Reconocimiento del terreno.
3. Dimensionamiento de la longitud media que tendrán las distintas bases a realizar.
4. Proyecto de la distribución de dichas bases.
5. Preparación del equipo instrumental a utilizar, como asimismo del material sensible (placas) necesario.
6. Integración del personal técnico y auxiliar de la ó las comisiones que operarán en el terreno.

Todas éstas tareas previas tienen importancia, pero es especialmente significativa la de las indicadas en los puntos 3, 4 y 5, por lo que serán tratadas aparte.

I)- Dimensionamiento de la longitud media de las bases.

Nota: Leer previamente "Curso de Fotogrametría" (Vías de Comunicación), Agrim. Antonio M. Saralegui, págs. 4 a 12 y 14 a 21.

supóngase tener que efectuar el levantamiento a escala:

$$E = \frac{1}{D} = \frac{1}{M \cdot 1000} \quad (1)$$

estipulando que la ubicación planimétrica de todos sus puntos en el plano terminado deba hacerse con error absoluto menor o igual a la vacilación gráfica de 0,3 mm, o sea en el terreno:

$$\text{ERROR ABSOLUTO PLANIMETRICO: } \Delta p = 0,3 \text{ mm} \cdot D \quad (2)$$
$$\Delta p(m) \approx \frac{M}{5}$$

Dado que en el método a emplear el mayor error planimétrico se produce en la coordenada Y (Guía N° 4, C, pág. 10), de la exigencia anterior resulta la condición siguiente:

$$\Delta Y = \frac{Y^2}{B \cdot f} \Delta \pi \leq \frac{M}{3} \text{ (m)} \quad (3)$$

de la que podrá deducirse, en función de Y, f y  $\Delta \pi$ , el valor de B que la satisface:

$$B_{(m)} \geq \frac{3 \cdot Y^2 \Delta \pi}{f \cdot M} \quad \left[ \begin{array}{l} Y \text{ en m} \\ \Delta \pi \text{ y } f \text{ en mm} \end{array} \right. \quad (4)$$

pero es más práctico y corriente hacer intervenir el error relativo  $\epsilon_y$  que permite escribir esta otra condición (ver Guía citada: C, II, pág. 11):

$$\epsilon_y = \frac{Y}{B} \cdot \frac{\Delta \pi}{f} \leq \frac{1}{N \cdot 10^3} \quad , N=122 \quad (5)$$

de la cual se deduce el valor máximo que puede tener la relación profundidad/base (Y/B), cociente que tiene manifiesta importancia, tanto en Fotogrametría Terrestre como Aérea:

$$\frac{Y}{B} \leq \frac{1}{N \cdot 10^3} \frac{f}{\Delta \pi} \quad (6)$$

Si  $N=1$ ;  $\epsilon_y < 1/1000$ ;  $f=150$  mm y  $\Delta \pi=0,01$  mm (este valor es premeditadamente grande; en estereofotogrametría puede medirse  $\pi$  con indecisión  $\Delta \pi = 5 \mu$ , o aún menor), se tendrá:

$$\left( \frac{Y}{B} \right)_{\max} = \frac{150 \text{ mm}}{1000 \cdot 0,01 \text{ mm}} = 15 \quad (7)$$

Regla práctica: para los valores adoptados (solo para ellos!)

$(Y/B)_{\max}$  es igual a la distancia principal f expresada en cm.

Y/B es máximo cuando Y es máximo y B mínimo, por lo que, a partir de (7), resulta:

$$B_{\min} = \frac{Y_{\max}}{15} \quad (8)$$

El alejamiento máximo  $Y_{\max}$  que los puntos a restituir pueden tener depende del error relativo  $\epsilon_y$  del método y del error absoluto  $\Delta Y$  pedido para el levantamiento. La expresión que los relaciona es, como se sabe:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta Y}{Y} \quad (9)$$

Como para  $\epsilon_y$  debe respetarse el límite impuesto en (5), y para  $\Delta Y$  el indicado en (3) resultará, despejando Y en (9):

$$Y_{\max} = \frac{M}{3} N \cdot 10^3 \approx 300 \cdot M \cdot N \quad (10)$$

y con el coeficiente  $N=1$  elegido:

$$Y_{\max (m)} = 300 \cdot M \quad (11)$$

Reemplazando en (8) se obtiene la expresión práctica:

$$\underline{B_{\min (m)} = 20 M} \quad (12)$$

Conclusión: este valor de B calculado siguiendo el desarrollo precedente es el mínimo capaz de asegurar que no ha de sobrepasarse ni el  $\Delta Y$  (función de la escala) ni el  $\epsilon_y$  (propio del método) establecidos.

En lo que respecta al valor mínimo de la relación Y/B, puede establecerse a partir de la fórmula fundamental  $Y = \frac{B \cdot f}{\pi}$ , de la cual resulta:

$$\left( \frac{Y}{B} \right)_{\min} = \frac{f}{\pi_{\max}} \quad (13)$$

Se impone aquí la condición  $\pi_{\max} \leq 40 \text{ mm}$ , ya que no es posible (comprobación experimental) fusionar estereoscópicamente con seguridad imágenes homólogas que se presenten al observador con parámetros longitudinales  $\pi$  superiores a este valor. Por tanto, teniendo en cuenta que  $f = 150 \text{ mm}$ , resulta:

$$\left( \frac{Y}{B} \right)_{\min} \approx \frac{150}{40} \approx 4 \quad (14)$$

Estimada la profundidad  $Y_{\min}$  de las zonas del terreno que tendrán menor alejamiento de la base, resulta por la (14):

$$\underline{B_{\max} = \frac{Y_{\min}}{4}} \quad (15)$$

Con (8) y (15) se puede escribir la siguiente expresión que, para los valores elegidos en este ejemplo, acota los límites inferior y superior de la base a dimensionar:

$$\frac{Y_{\max}}{15} \leq B \leq \frac{Y_{\min}}{4} \quad (16)$$

El valor definitivo a elegir para B, situado entre estos límites, dependerá también de la condición (ver Guía N° 4: A, IV, a, pág. 3)  $B_z < B/6$  y de las consideraciones expuestas en el párrafo V del presente capítulo.

II)- Ejercitaciones:

El alumno deberá ejercitarse convenientemente en el manejo conceptual del problema anterior, para lo cual realizará su desarrollo a partir de otros datos (por ejemplo:  $\Delta\pi = 5\mu$ ,  $f = 200 \text{ mm}$ ,  $E_y = 1/2000$ , etc.)

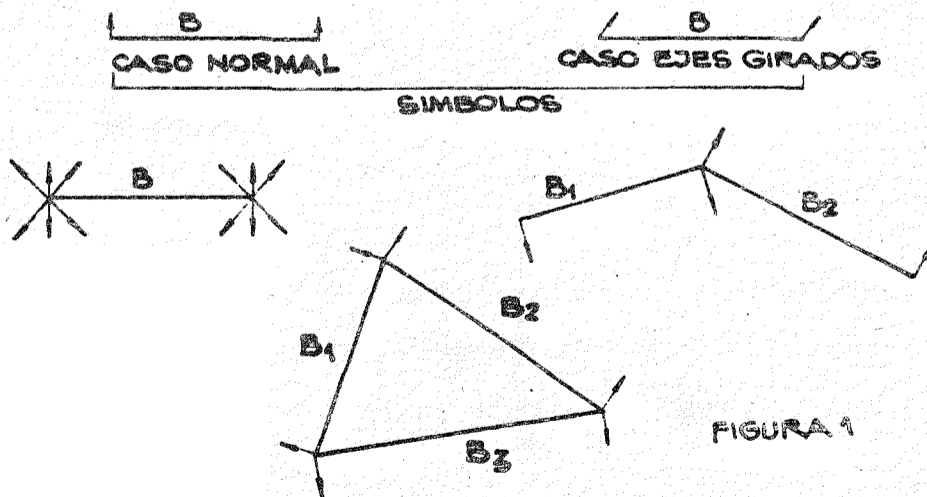
III)- Distribución de bases en el terreno.

Se procurará que:

1. El número de bases a realizar sea el menor posible.
2. No queden excesivos "huecos fotográficos", los que no deberán pasar del 5% de la superficie total a levantar.

Para ello convendrá:

1. Emplazar las bases en lugares dominantes del terreno, tanto más altos cuanto más pequeña sea la escala de reatificación.
2. Aprovechar bien, desde el punto de vista fotográfico, cada base o grupo de bases emplazadas. Se dan, al respecto, distintas alternativas en la siguiente figura:



IV)- Equipo instrumental a emplear:

Se integra basicamente con:

- Fototeodolito.
- Cajas portachasis para las placas fotograficas.
- Equipo de centración forzosa: permite, sin modificar para nada la posición de los trípodes instalados en distintos puntos del terreno, intercambiar diversos componentes del equipo instrumental (fototeodolito, señales de bisección, mira paraláctica, etc.)
- Mira horizontal, para la medición paraláctica de distancias.
- Instrumentos topegráficos complementarios: algún teodolito auxiliar, nivel de anteojo, miras de nivelación, jalones, cintas, fichas, etc.

V)- Previsiones sobre la cantidad de material sensible fotografico a emplear.

La cantidad de placas necesarias para retratar toda la zona de terreno depende del número de bases que se proyecte realizar, y de la superficie que, estimativamente, cubra cada base. Cálculos aproximados sobre el particular pueden hacerse con ayuda de la siguiente figura de análisis (se emplean los valores del ejemplo anterior).

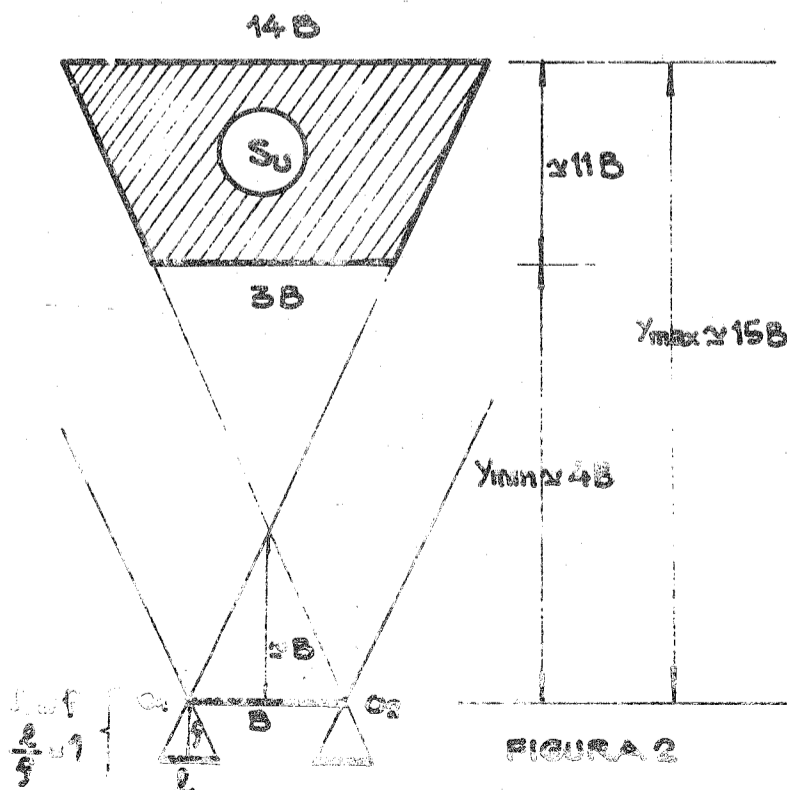


FIGURA 2

$S_u$  = superficie útil mínima que cubre una base, suponiendo que en ella se ejecute solamente el caso normal. Es la superficie del trapecio indicado en la figura.

$$S_u = \frac{1}{2} (3B + 14B) \cdot 11B \approx 100 \cdot B^2 \quad (17)$$

Si se introduce B en metros resulta:

$$S_u \text{ (ha)} \approx \frac{B^2}{100} \quad (18)$$

Adviértase que  $S_u$  crece con  $B^2$ , de lo que se desprende la conveniencia de operar con bases grandes, dentro de las limitaciones establecidas más atrás (párrafo I del presente capítulo).

Si, por otra parte, se proporciona la superficie total S de la zona en hectáreas, se podrá calcular el número máximo  $N_b$  de bases necesarias mediante:

$$N_b = \frac{S}{S_u} = 100 \frac{S \text{ (ha)}}{B^2} ; [B] = m \quad (19)$$

Suponiendo que en cada base se ejecuten 3 casos (normal y ejes girados a izquierda y derecha), y teniendo en cuenta que en cada extremo de base se impresionarán dos placas (original y duplicado), puede aceptarse  $S_u = 500 \cdot B^2$ , y entonces:

$$N_b \approx 20 \frac{S \text{ (ha)}}{B^2} \quad \therefore \quad P = \text{CANTIDAD DE PLACAS A EMPLEAR} \\ = 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot N_b = 12 N_b \approx 240 \frac{S \text{ (ha)}}{B^2} ; [B] = m$$

C)- TRABAJOS DE CAMPANA PROPIAMENTE DICHOS.

I) Establecimiento de la Red Trigonométrica.

II) Obtención de los fotogramas.

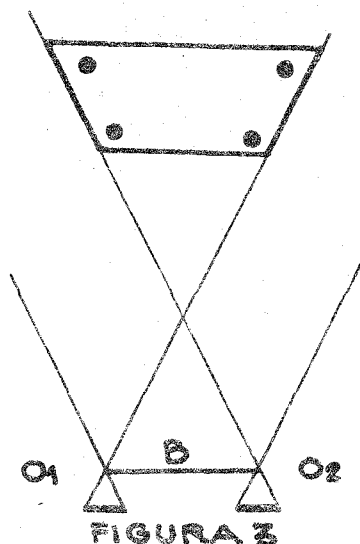
I)- Establecimiento de la Red Trigonométrica.

Consiste en una serie de trabajos topográficos, ejecutados en el mismo terreno, destinados a vincular las distintas bases fotogramétricas con el sistema de referencia existente en la zona (Gauss-Krüger en la República Argentina), y pro-

porcionar los elementos que posteriormente posibiliten el control de las operaciones de restitución en el gabinete. Comprenden:

- a. Amojonamiento y mediciones conducentes a determinar la posición de los extremos directores de base.
- b. Medición de la longitud de las bases, generalmente según el método paraláctico, con un error relativo no superior a 1/5000.
- c. Determinación de los azimutes de las bases.
- d. Determinación de las coordenadas de algunos puntos de control, convenientemente señalados en el terreno para que aparezcan retratados en los fotogramas como detalles de  $\approx 0.1$  mm de diámetro, y distribuidos en cada base aproximándose al esquema de la figura 3.

A pesar de que en Fotogrametría Terrestre se opera a orientación externa conocida (ver Guía N° 4: A, I, pág. 1), estos puntos de control sirven, durante la restitución, para poner de manifiesto y corregir los efectos perturbadores de ciertos errores residuales (pequeños) que pudieran haberse producido en distintas etapas del proceso (en especial durante las operaciones de campaña).



## II)- Obtención de los fotogramas.

Durante el desarrollo de esta tarea se tomarán las siguientes precauciones operativas destinadas a asegurar la correcta posición geométrica de cada uno de los fotogra-



mas a impresionar, y su perfecta identificación posterior:

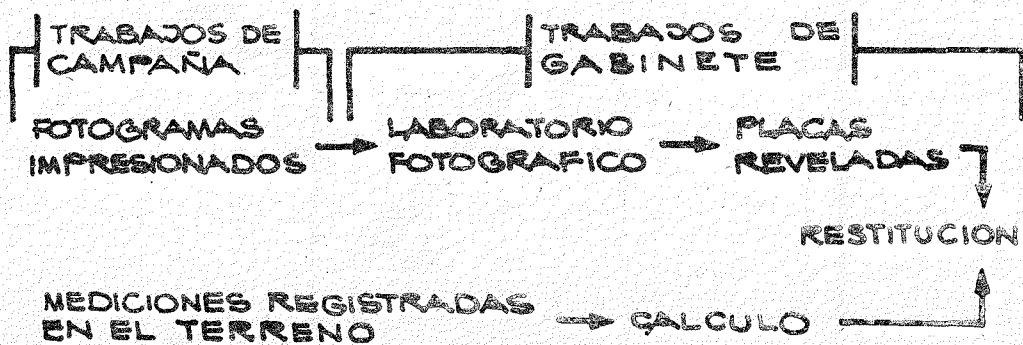
Verificar inmediatamente antes de la obturación

- |                   |   |
|-------------------|---|
| PARA EL TEOLOLITO | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Correcta introducción del ángulo de giro <math>\varphi</math> (<math>= 90^\circ</math> para caso normal y <math>\neq 90^\circ</math> para los casos de ejes girados) que debe existir entre el eje de la cámara y la dirección de la base (debe tenerse en cuenta el "error de cruce").</li><li>2. Correcta centración de los niveles calantes del fototeodolito.</li><li>3. Perfecta bisección, con el anteojo del fototeodolito, de la señal de referencia instalada en el otro extremo de base.</li></ol> |
| PARA LA CÁMARA    | <ol style="list-style-type: none"><li>4. Colocar en el dispositivo numerador de fotografías el número que, de acuerdo a un cierto código, corresponde al que va a ser impresionado.</li><li>5. Verificar que la inclinación del eje de la cámara sea la prevista (<math>0^\circ</math> si se opera a ejes de cámara horizontales).</li><li>6. Accionar la leva que presiona la placa fotográfica contra el marco de apoyo del plano focal de la cámara.</li></ol>   |

El detalle de estas operaciones se verá en clase práctica.

III)- Resultados de los trabajos de campaña.

Los elementos producidos en los trabajos de campaña (fotogramas y registros de mediciones) pasan a Gabinete, siguiendo en esa oportunidad el proceso que se indica:



D)- TRABAJOS DE GABINETE.

Al gabinete de restitución concurren entonces los siguientes elementos:

Provenientes del laboratorio:

- Placas negativas originales de todos los fotogramas impresos, debidamente clasificadas.

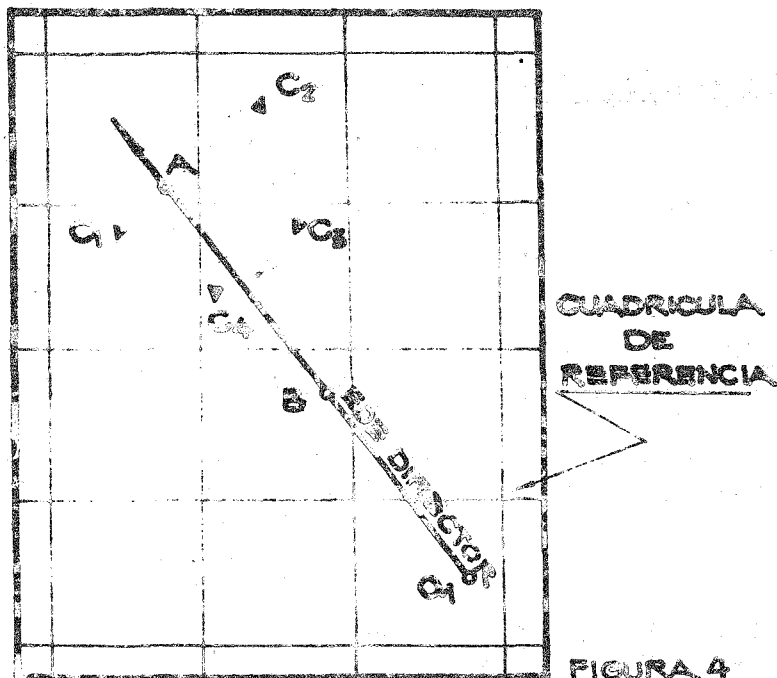
Provenientes de cálculo:

- Lista de coordenadas ( $X_{o_1}$ ,  $Z_{o_1}$ ,  $Y_{o_1}$  en el sistema de referencia del terreno) de todos los extremos directores  $O_1$  de las bases realizadas.
- Azimutes  $\alpha_e$  de los correspondientes ejes directores.
- Longitudes de las bases B, y de sus componentes  $B_x$ ,  $B_y$  y  $B_z$ .
- Coordenadas  $X_A$ ,  $Y_A$ ;  $X_B$ ,  $Y_B$  (sistema de referencia del terreno) de 2 puntos cualesquiera A y B elegidos para materializar el eje director de cada base.
- Lista de coordenadas ( $X_C$ ,  $Y_C$ ,  $Z_C$  en el sistema de referencia del terreno) de todos los puntos de control (C) emplazados.

Con estos elementos se abordan las tareas siguientes:

1)- Preparación de la hoja de restitución.

En la hoja donde se ejecutará la restitución (papeles especiales o materiales plásticos de muy buena estabilidad dimensional) se procede a (figura 4):



- a. Trazar la cuadrícula de referencia.
- b. Ubicar por coordenadas el extremo director  $U_1$  de cada una de las bases que integran la hoja, e indicar la respectiva cota  $Z_{01}$ .
- c. Dibujar cada eje director mediante las coordenadas  $X_A, Y_A$  y  $X_B, Y_B$  de los puntos A y B mencionados anteriormente.
- d. Ubicar por coordenadas  $(X_C, Y_C)$  e indicar la cota  $Z_C$  de todos los puntos de control C pertenecientes a las bases a restituir.

Los detalles de estas operaciones se explicarán en clase.

Se está en condiciones ahora de comenzar la restitución, que comprende para cada uno de los pares, las tareas que se resumirán en los párrafos siguientes.

## II)- Instalación del par de fotogramas y orientación de la hoja.

Antes de comenzar el trazado de la restitución de un par de fotogramas, 3 elementos deben ser colocados en posiciones iniciales que se correspondan:

- el propio par de fotogramas a restituir.
- la hoja de restitución.
- el aparato restituidor (Estereógrafo mecánico)

Para lograr esa correspondencia se procede así (el detalle operativo se explicará en clase):

1. Se instalan y orientan cada uno de los fotogramas en los respectivos portaplacas del aparato (ver Guía N° 4: B, II, c., pág. 9).
2. Se introducen en las escalas  $X, Bx, \Delta Z$  del Estereógrafo las lecturas iniciales  $X_0, Bx_0, \Delta Z_0$  (constantes instrumentales correspondientes a la posición "cero" de las 3 reglas (ver Guía N° 5b, F, pág. 4), y a continuación se bisectan los puntos principales de ambos fotogramas accionando para ello los tornillos que modifican la posición relativa de los puntos de contacto de las reglas con los carros portaplacas.

|| Al completar esta operación se habrá ||  
|| logrado la correspondencia entre las ||

posiciones iniciales del Estereógrafo  
fo y de los fotogramas.

3. Se instala la hoja de restitución, previamente preparada, en la mesa coordinatográfica del aparato, en forma tal que se cumplan estas 2 condiciones (ver figura 5) destinadas a fijar su posición:

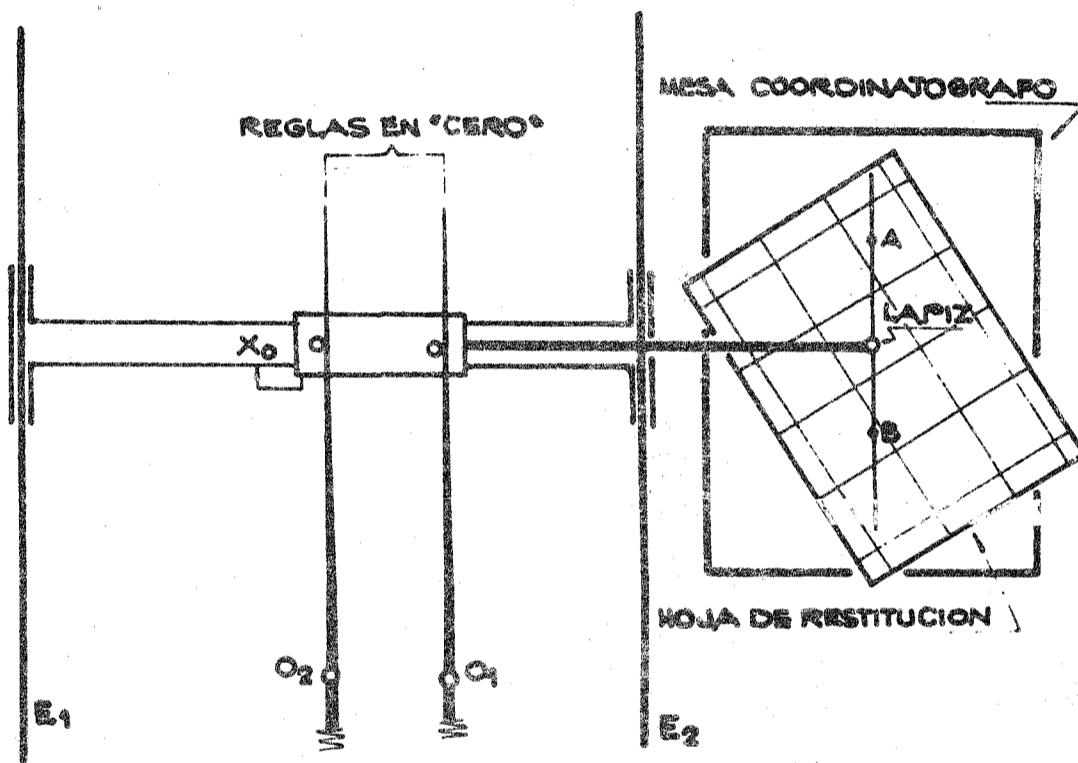


FIGURA 5

- 3.a. Estando el instrumento en la posición "cero" señalada, al movilizar lejos-cerca-lejos el puente de distancias (manivela de las Y) la punta del lápiz trazador debe recorrer el eje director trazado sobre la hoja.
- 3.b. La profundidad  $Y_A$  del punto A, previamente elegido sobre el eje director, deberá coincidir con la leída en la escala de las Y del aparato. Para introducir ese valor correctamente se deberá tener en cuenta el "cero"  $Y_0$  de dicha escala (ver Guía N° 5b).

Al llegar a este punto se habrá

<p>conseguido, salvo pequeñas correcciones ulteriores, la correspondencia entre <u>fotogramas-aparato-hoja de restitución</u> indicada al principio.</p>
--

4. Se introducen las componentes de base  $B_x$  (tener en cuenta  $B_{x_0}$ ) y  $B_y$  (tener en cuenta  $B_{y_0}$ ).

Se estaría ahora, teóricamente, en condiciones de comenzar la restitución propiamente dicha del par. Pero la existencia de ciertos errores residuales (pequeños) que eventualmente se originan en algunas de las operaciones de campaña y gabinete, impone la necesidad de realizar la siguiente verificación.

III)- Verificación de los puntos de control.

Al bisectar estereoscópicamente, uno por uno, todos los puntos de control que aparezcan en el par a restituir, deberá comprobarse:

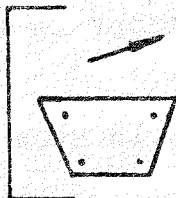
Planimétricamente: que la punta del lápiz trazador caiga sobre el correspondiente punto marcado en la hoja de restitución, con error no mayor a la vacilación gráfica admitida (0,2 a 0,3 mm).

Altimétricamente: que la cota del punto, leída en la escala  $\Delta Z$  del aparato coincida con la determinada topográficamente en el terreno, con diferencias no superiores al error altimétrico admisible (1/5 a 1/10 de la equidistancia entre líneas de nivel).

Cuando esto no ocurre deben determinarse las fuentes de error que en uno o varios puntos de control producen las discrepancias comprobadas. Se describen a continuación algunos casos típicos.

a) En planimetría:

Símbolos



VECTOR ERROR COMPROBADO

ZONA A RESTITUIR DEL PAR, CON SUS PUNTOS DE CONTROL

Caso 1) Errores planimétricos en dirección Y, de igual magnitud y signo en todos los puntos de control.

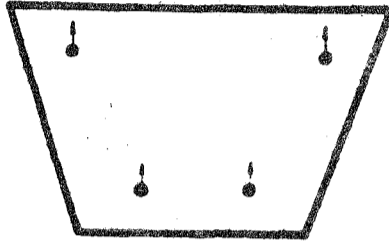


FIGURA 6

Causas más probables:

- Se está operando con un valor erróneo de  $Y_0$ .
- Manipulaciones erróneas al ubicar la hoja (D, II, 3)
- Mala ubicación del punto ficticio A en el eje director (figura 5).

Se neutralizan:

- Con un desplazamiento en Y de la hoja, de igual magnitud que el error comprobado, y signo contrario.

Caso 2) Errores planimétricos en dirección X de igual magnitud y signo en todos los puntos de control.

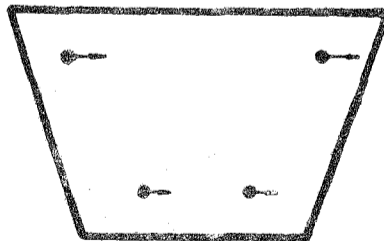


FIGURA 7

Causas más probables:

- $X_0$  erróneo ó mal introducido.
- Manipulaciones erróneas al ubicar la hoja.

Se neutralizan:

- Con un desplazamiento en X de la hoja de igual magnitud

tud que el error comprobado, y de signo contrario.

Caso 3) Errores planimétricos que crecen proporcionalmente a Y y a X, y que alteran la escala a la que se debe operar.

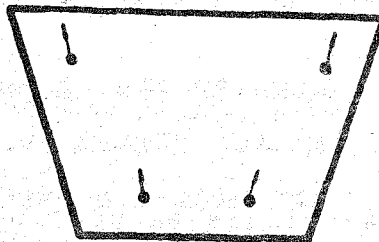


FIGURA 8

Causas más probables:

- Base mal medida en el terreno, o mal calculada en gabinete.
- Componente Bx de base mal introducida en el aparato.
- Bx<sub>0</sub> erroneo o mal introducido.

Se neutralizan:

- Modificando, según convenga, la Bx introducida en el Estereógrafo.

Caso 4) Errores en dirección Y de signo diferente según que el punto verificado esté situado a un lado u otro del eje director.

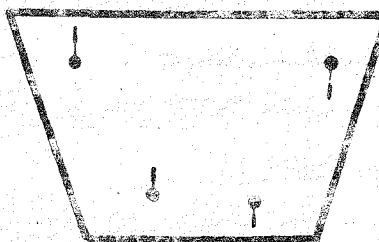


FIGURA 9

Causas más probables:

Todas las que puedan falsear la componente  $B_y$  de base (sea ella igual o distinta de cero):

- Mala introducción del ángulo de giro  $\varphi$  (nulo o no), que forman los ejes de ambas cámaras con la base. Se debe a manipulaciones erróneas en campaña (ver párrafo C, II), o a un valor incorrecto del "error de cruce".
- En los casos de ejes girados, base mal medida o componente  $B_y$  mal calculada.
- $B_y$  mal introducida en el instrumento.
- $B_y$  incorrecto o mal leído en el aparato.

Se neutralizan:

- Modificando convenientemente la  $B_y$  instrumental.

b) En altimetría:

Caso 1) Discrepancias en cota de igual magnitud y signo para todos los puntos verificados

Causas más probables:

- Errores, en campaña o gabinete, en la determinación de la cota del extremo director de la base.
- Mala determinación o introducción de  $\Delta Z_0$  en el aparato

Se neutralizan:

- Corrigiendo los errores señalados o teniendo en cuenta la discrepancia (constante) en todas las determinaciones de cota que se hagan durante la restitución.

Caso 2) Errores en cota que crecen proporcionalmente con  $Y$ .

Causas más probables:

- Idem a lo indicado en D, III, a, 3.

Se neutralizan:

- Idem a lo indicado en D, III, a, 3.

IV)- Restitución planialtimétrica propiamente dicha.

Completadas todas las operaciones anteriores y perfeccionadas, como resultado de las verificaciones en los puntos de control, la orientación de la hoja, la introducción de



base y constantes instrumentales, etc., se está en condiciones de comenzar la restitución planialtimétrica.

La tarea correspondiente se lleva a cabo ordenadamente, restituyendo las líneas, hasta agotar todo el contenido del par de fotogramas instalado.

Los detalles de estas operaciones serán explicados en clase.

#### V)- Terminación del documento.

Cada hoja se irá completando con la restitución de varios pares de fotogramas obtenidos desde distintas bases, y así se procederá con las restantes hojas que integran la superficie total de la zona a levantar.

El conjunto de estas hojas originales de restitución es sometido, posteriormente, al siguiente proceso de terminación.

- a. Dibujo: Se repasan a tinta todas las líneas de nivel y detalles planimétricos, agregándose la correspondiente toponimia, leyendas, símbolos, recuadros, sombreados y todo aquello que contribuya a la buena presentación y legibilidad del plano terminado.
- b. Reproducción: Se obtiene de cada hoja original la cantidad de copias necesarias, empleando el procedimiento más conveniente al destino y difusión del documento (impresión en sus más variadas formas, fotografía, heliografía, etc.)

#### E)- BIBLIOGRAFIA.

Se recomienda complementar los conceptos de esta Guía leyendo:

- "Curso de Introducción a la Fotogrametría" de Limeses, Garian y Saralegui: págs. 55 y siguientes.
- "Sobre el Levantamiento Estereofotogramétrico en Potrero del Cig villo (Catamarca) a Escala 1:200" por los Agrim. A.L. Saralegui y R.H. Accinelli, Revista Ciencia y Técnica, CETA, Vol 132, n° 667