

CATEDRA DE FOTOGRAMETRIA

GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS

TRABAJO PRACTICO N° 10 a

ESTEREOFOTOGRAMETRIA AEREA:
FUNDAMENTOS E INSTRUMENTAL.

INTRODUCCION

La fotogrametría aérea proporciona:

<u>DOCUMENTOS</u>	<u>INFORMACION QUE BRINDAN</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>
<u>FOTOGRAFICOS (FOTOCARTAS Y MOSAICOS)</u>	<u>SOLOAMENTE PLANIMETRICA (DE PRECISION VARIABLE SEGUN TIPO DE TERRENO, APOYO DISPONIBLE, PLANTEAMIENTO Y SUSCUCION DEL VUELO, ETC.)</u>	<u>NO SON DOCUMENTOS FOTOGRAFOMETRICOS EN SENTIDO RECURSO (FOTOGRAFIAS AISLADOS) PRECISION RESTRINGIDA. GRAN CANTIDAD DE INFORMACION OBJETIVA (GUIA T.P. N° 8)</u>
<u>TOPOGRAFICOS (SINTESES DE PARAS DISPARADOS POR RESTITUCION FOTOGRAFOMETRICA)</u>	<u>PLANIALTIMETRICA (DE LA PRECISION DESEADA, SOBRE TODO TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER ESCALA)</u>	<u>RESPONDEN ESENCIALMENTE A LA DEFINICION DE FOTOGRAFOMETRIA. SE OBTIENEN POR RESTITUCION DE PARES DE FOTOGRAFIAS.</u>

En el presente trabajo práctico nos ocuparemos de analizar los fundamentos y el instrumental mediante los cuales se obtienen los documentos topográficos.

A) RESTITUCION AEROFOTOGRAFOMETRICA - CONCEPTO

I - DEFINICION (Ver Guía de T.P. N° 4, B), I), pág. 5)

Con referencia a lo dicho en el párrafo citado, cabe agregar que también en fotogrametría aérea se puede lograr la restitución por dos medios: vía analítica (proceso discontinuo, numérico, completado por instrumental de computación electrónica y coordinatógrafos alimentados por tarjetas o cintas perforadas) o vía analógica (proceso continuo con escasas operaciones numéricas de índole auxiliar).

Estudiaremos tan sólo la segunda alter

nativa, que permite una aproximación al tema más sencilla, es la más frecuente y está consagrada por la práctica universal.

II - PLANTEO DEL PROBLEMA GEOMETRICO.

El caso aproximadamente normal en fotogrametría aérea se define para un par de aerofotogramas sucesivos cualquiera.

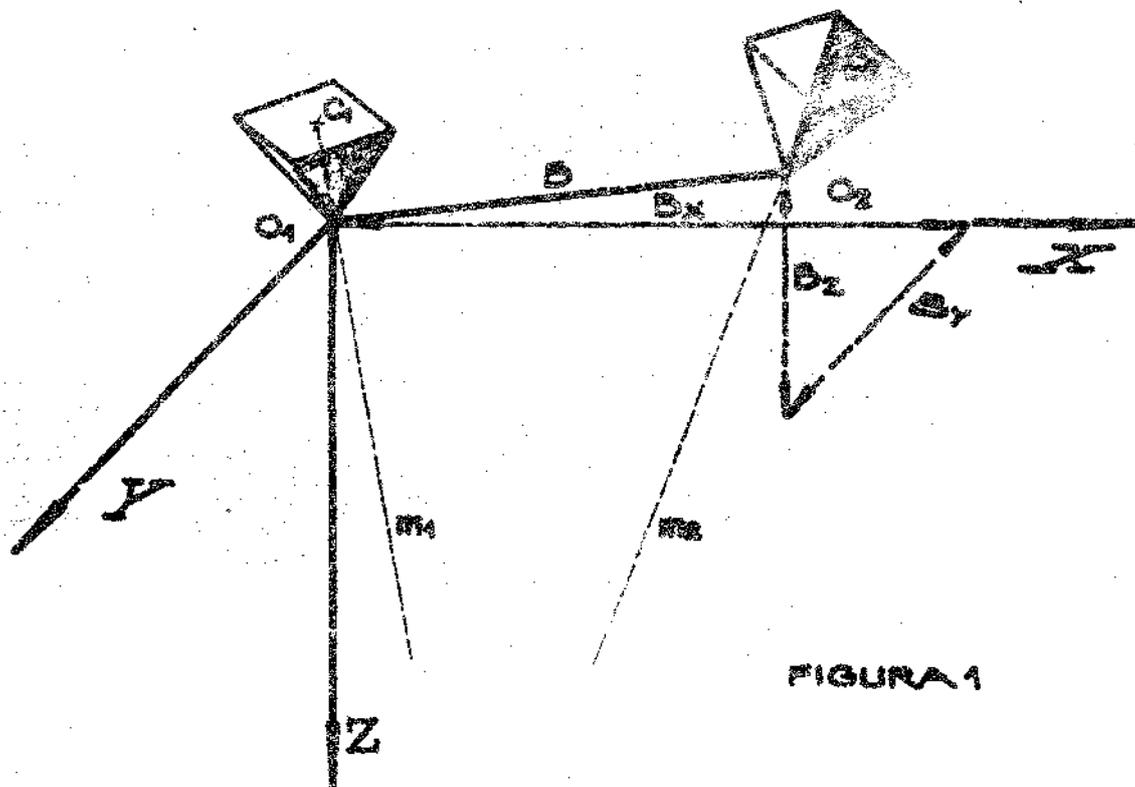
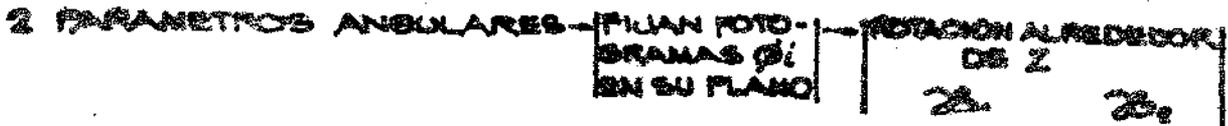


FIGURA 1

La terna de ejes de referencia (sistema de ejes fotogramétrico) está dada por:

- | |
|--|
| <p><u>Origen:</u> O_1 = centro de proyección del fotograma elegido como izquierdo.</p> <p><u>Eje X:</u> Proyección de la dirección del eje de corrida sobre el plano horizontal que contiene a O_1.</p> <p><u>Eje Y:</u> Eje perpendicular a X contenido en el mismo plano horizontal.</p> <p><u>Eje Z:</u> Eje perpendicular al plano coordenado XY (vertical en O_1).</p> |
|--|

CAMARA CAMARA
IZQUIERDA DERECHA



La diferencia fundamental entre el caso terrestre y aéreo reside en el hecho de que, mientras en el primero se conocen con seguridad todos los parámetros de orientación externa, en el segundo no se tiene de ellos información alguna, o a lo sumo se dispone de una muy grosera, que es inadecuada para solucionar el problema en gabinete. Esta indeterminación se salva con instrumental apropiado y un método operativo conveniente (el T.P. N° 10 b trata de éste último).

B) INSTRUMENTAL DE RESTITUCION

I - EL PROBLEMA GEOMETRICO EN GABINETE.

Se reduce a reconstruir un modelo espacial rigurosamente semejante al terreno natural, a una escala adecuada. Esto supone primeramente la reconstrucción de las radiaciones espaciales que dieron origen en su momento a ambos fotogramas, las que al ser proyectivas entre sí, permitirán integrar el modelo buscado por intersección de los infinitos pares de rayos homólogos. La palpación de ese modelo con un elemento de puntería espacial conducirá a obtener, por mecanismos apropiados, la proyección acotada del mismo y, por ende, del terreno que representa.

Conclusión:

Se necesita disponer de un aparato de gabinete que permita (figura 3) :

- a) Producir dos proyecciones centrales (o cónicas) (cámaras de restitución).
- b) Materializar el punto restituído y obtener de él una proyección ortogonal (coordinatómetro)
- c) Dibujar ésta última en la misma escala del modelo o en otra cualquiera (coordinatógrafo).
- d) Observar estereoscópicamente el punto del modelo cuya

proyección ortogonal se está dibujando.

Un instrumento que cumpla todas estas condiciones se denomina A-
PARATO DE AERORESTITUCION.

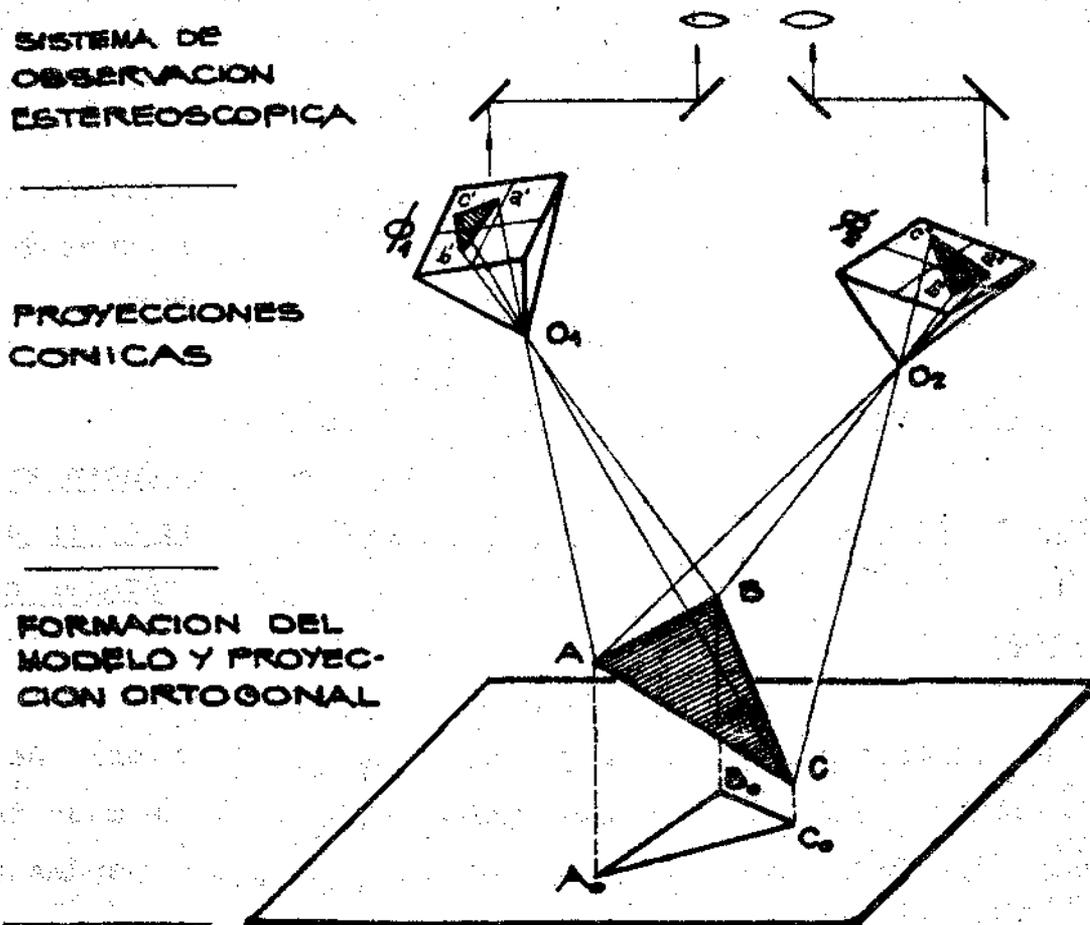


FIGURA 3 ESQUEMA DE LAS CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UN AERORESTITUIDOR.

II - ORGANIZACION DE UN APARATO DE RESTITUCION AEREA.

(Seguir el desarrollo con la figura 3 y la que se indique en cada caso).

Existen actualmente muchos tipos de aerorestituidores analógicos, pero en principio se pueden clasificar del siguiente modo:

- de primer orden: Son los que proporcionan una solución rigurosa desde el punto de vista teórico; con ellos se obtiene alta precisión.
- de segundo orden: Brindan una solución conceptualmente correcta, si bien admiten ciertas simplificaciones en los principios en que se ba-

san; son de menor precisión que los anteriores.

- de tercer orden: Responden a principios aproximados; su precisión es bastante limitada.

Estos últimos serán estudiados en detalle en el T.P. N° 11.

En general, los aparatos de aeroresti-
tución responden a las condiciones puntualizadas en la conclu-
sión del párrafo B), I, y con ese criterio se analizarán a con-
tinuación las distintas variantes constructivas y conceptuales
de los diferentes grupos de órganos que los componen.

a) Organos para producir proyecciones centrales.

Son estructuras que reproducen en for-
ma rigurosa las características óptico-geométricas de la cámara
métrica con la que se obtuvieron los fotogramas (cámaras de res-
titución).

Constan de un bastidor rígido donde se
pueden introducir los parámetros de orientación interna de la
de la cámara usada en el vuelo. Están sostenidos de modo tal que
puedan reproducir los giros correspondientes a los parámetros an-
gulares φ, ω, χ de orientación externa. En el lugar correspon-
diente se aloja el fotograma original (o copia diapositiva de
contacto del mismo). Completa la estructura un elemento que per-
mite materializar la posición de cualquiera de los infinitos ra-
yos componentes de la radiación fotográfica primitiva. A éste
respecto cabe consignar diferentes variantes;

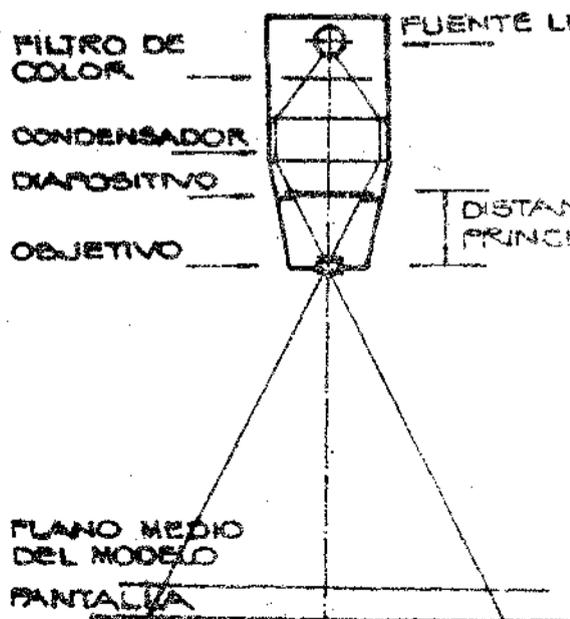


FIGURA 4a

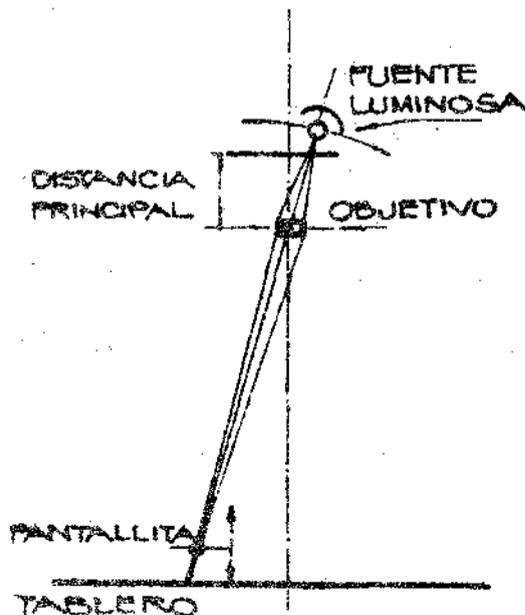
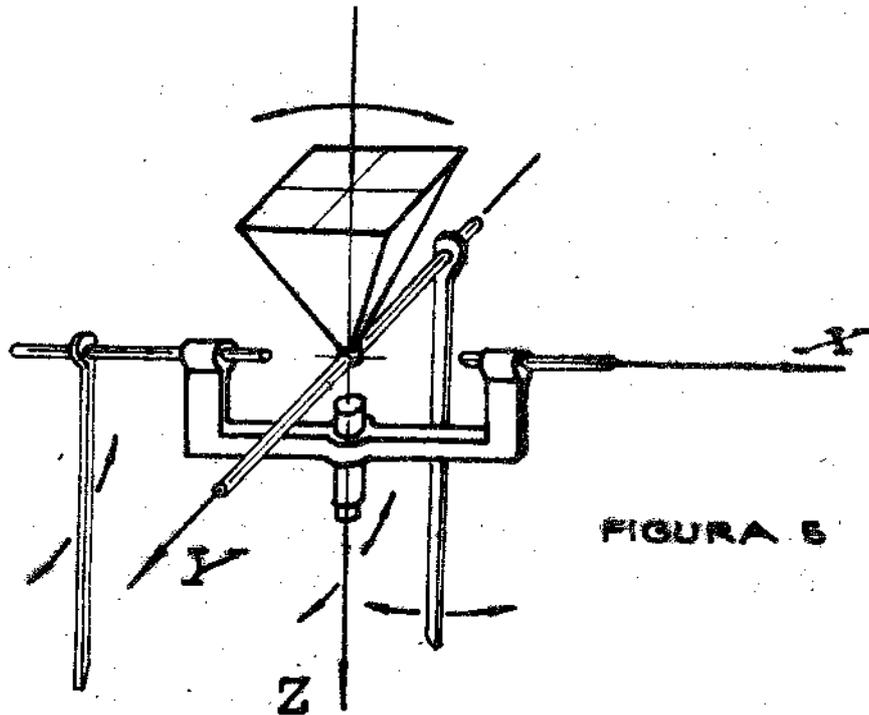


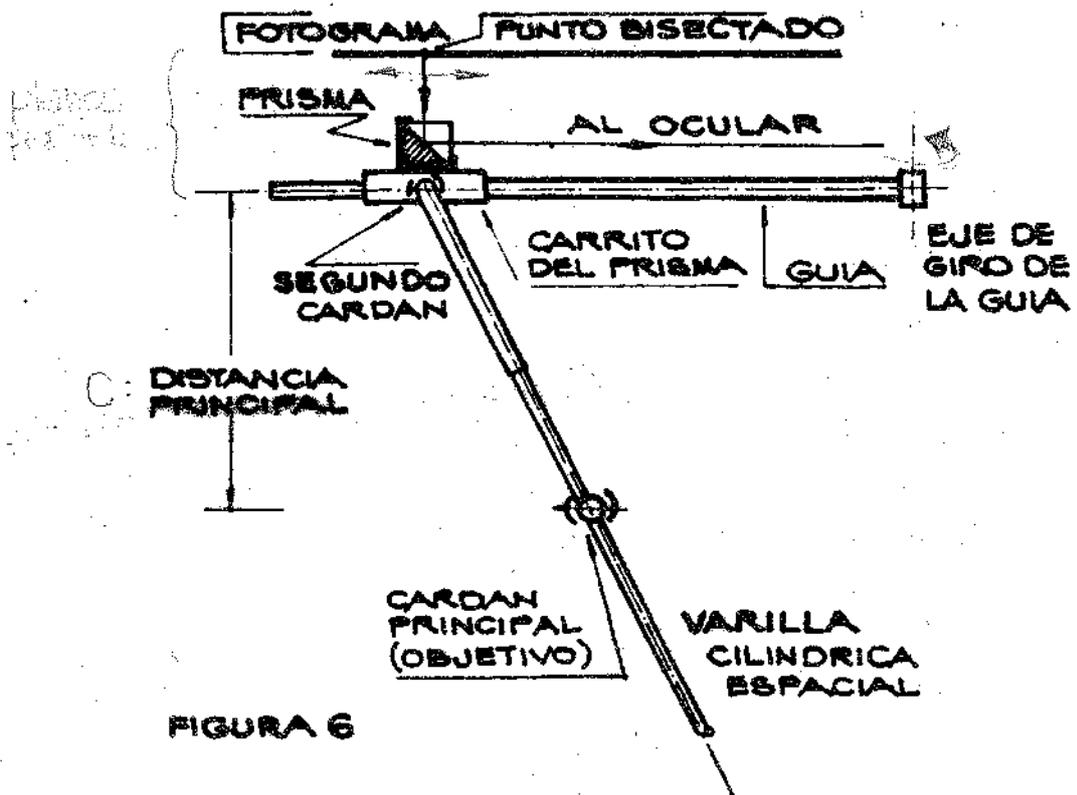
FIGURA 4 b

- 1 - Materialización del haz por proyección luminosa directa:
Cada cámara de restitución constituye un proyector geométricamente idéntico o semejante a la cámara de toma, en el que el elemento que materializa a la radiación original es un objetivo que produce un haz luminoso congruente con aquella. La fuente de luz ilumina al fotograma desde el lado opuesto al objetivo (figura 4).
El haz luminoso es interceptado por una pantalla extensa (figura 4a) o pequeña (figura 4b) (si el área iluminada del fotograma es restringida).
Si el proyector es idéntico a la cámara métrica aérea, se coloca en él el fotograma original o copia de contacto del mismo (diapositiva); pero si fuera solemente semejante a aquella (es siempre una reducción) deberá utilizarse una reducción del negativo original para mantener la relación de semejanza.
- 2 - Materialización del haz por el principio de Porro-Koppe, combinado con el accionamiento de reglas en un plano.
Cada cámara de restitución está montada en forma idéntica al Fotogoniómetro (ver T.P. N° 1, páginas 7 y 8).
Al observarse según el principio de Porro-Koppe, queda dicho que los objetivos de las cámaras de restitución deberán estar apareados con el de toma, es decir, poseer idénticas características ópticas (especialmente en distorsión). Por lo tanto, cada rayo del haz queda materializado por la proyección de dos giros: el de la cámara en el plano X-Z y el del anteojo en el plano Y-Z (esquema en figura 5).
Ambas rotaciones componen así una dirección espacial; la del rayo proyectante de cada cámara, y son reproducidas por dos reglas que, operando cada una en un plano, están conectadas, respectivamente, a la cámara y al anteojo colimador.



- 3 - Materialización del haz por varillas cilíndricas espaciales.
En este caso el centro de proyección de cada cámara de restitución está materializado mecánicamente por el centro de una junta cardánica que constituye el centro de rotación de una varilla cilíndrica (figura 6). El eje de esta varilla representa entonces, en sus infinitas posiciones, a todos los rayos del haz espacial reconstruido.

Una prolongación telescópica, coaxial con el cuerpo principal de la varilla, permite que su ex-



tremo superior describa el plano focal, cuya distancia al centro cardánico principal pueda regularse para introducir el valor de la focal de la cámara usada en vuelo. El extremo superior de la varilla está ligado, mediante una segunda articulación cardánica, a un carrito desplazable longitudinalmente sobre una guía que gira alrededor de uno de sus extremos. El movimiento es, pues, polar. El carrito lleva un prisma, que constituye el elemento de entrada del sistema de observación de los puntos del aerofotograma, colocado en un portaplacas según se observa en la figura 5.

En conclusión, en ésta variante no sólo el objetivo y el haz de rayos están materializados mecánicamente, sino también el plano focal, representado por el plano que describe el centro de la segunda articulación cardánica. A su vez, la varilla, se prolonga por debajo del cardán principal.

En estos aparatos deben usarse fotogramas obtenidos con cámaras ortoscópicas, o en su defecto, intercalar entre fotograma y prisma una placa esférica compensadora (más detalles en clase práctica).

b) Materialización del punto restituído y proyección ortogonal del mismo.

El conjunto de órganos que permiten materializar el punto restituído y proyectarlo sobre un plano horizontal recibe el nombre de coordinatómetro.

Son diversos los modos de materializar el punto restituído, pero fundamentalmente se reducen a dos, con algunas alternativas:

- 1 - Mesilla trazadora.

Se utiliza en aparatos de proyección luminosa directa (observación objetiva = proyección sobre tablero) en los que la base se introduce directamente en escala entre los proyectores.

Consiste en un soporte desplazable a mano sobre el table
ro, con una columna ver-
tical que lleva una pe-
queña pantalla horizon-
tal dotada de un fino
punto luminoso a modo de
estilóptico. Esta panta-
llita es desplazable ver-
ticalmente, y con su mar-
ca luminosa se ejecuta
el contacto con los pun-
tos del modelo estereos-
cópico observado por el
operador (ver fig. 13 b).
Un lápiz colocado en co-
rrespondencia vertical
con el punto luminoso di-
buja sobre el tablero la
posición planimétrica de
todo punto bisectado estereoscópicamente. En lugar del lá-
piz puede conectarse un pantógrafo, para modificar la es-
cala del dibujo.

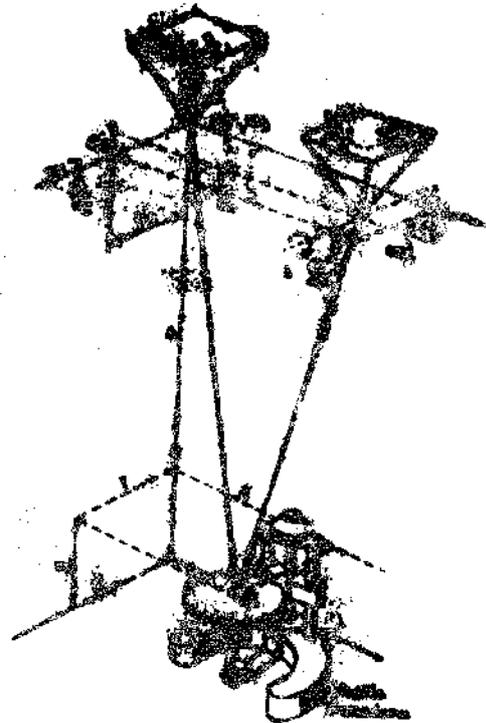


Fig. 13 b

Una variante de ésta mesilla se utiliza en algunos aparatos del tipo 3 (con varillas cilíndricas espaciales): se reemplaza la pantallita por una articulación cardánica que liga los extremos inferiores de ambas varillas (izquierda y derecha) con la columna vertical de la mesilla. El resto no se modifica conceptualmente. En ambos casos, la mesilla tiene una escala vertical para medir la altura de los puntos restituidos.

- 2 - Segmento de restitución.

Con el sistema de la mesilla trazadora, el punto restituido está materializado por la intersección directa de dos rayos homólogos, sean éstos luminosos o mecánicos. Pero es muy frecuente, especialmente en aparatos de pri-

Los bujes están montados en un soporte desplazable verticalmente sobre una columna, que a su vez descansa sobre dos carros cruzados. Este sistema mecánico permite al segmento de restitución desplazamientos espaciales en todo el ámbito del coordinatómetro.

Otra diferencia con el aparato de restitución terrestre consiste en la introducción de la base, que puede ejecutarse en las dos formas: directa ($m - B.E$) e inversa, o sea, ($m + B.E$). Se verá oportunamente qué causas han originado ésta disposición.

Dado que la base aérea tiene tres componentes, cada buje permite desplazamientos en X, Y y Z para introducir respectivamente B_x , B_y , y B_z (figura 9).

Los desplazamientos del segmento de restitución se gobiernan con dos manivelas y un pedal.

Esta solución fue adoptada por la casa Wild para casi todos sus modelos de Autógrafos.

Existe un aparato que combina la proyección luminosa directa (de observación subjetiva, por un sistema binocular) con el principio del segmento de restitución: las cámaras, cuyos centros de proyección (objetivos) no son fijos y admiten movimientos conjuntos en Y y en Z, están dotadas de un sistema de iluminación de superficie restringida, que proyecta una pequeña parte del fotograma, a través del objetivo, sobre una pequeña pantallita de superficie especular. Ambas pantallitas constituyen los

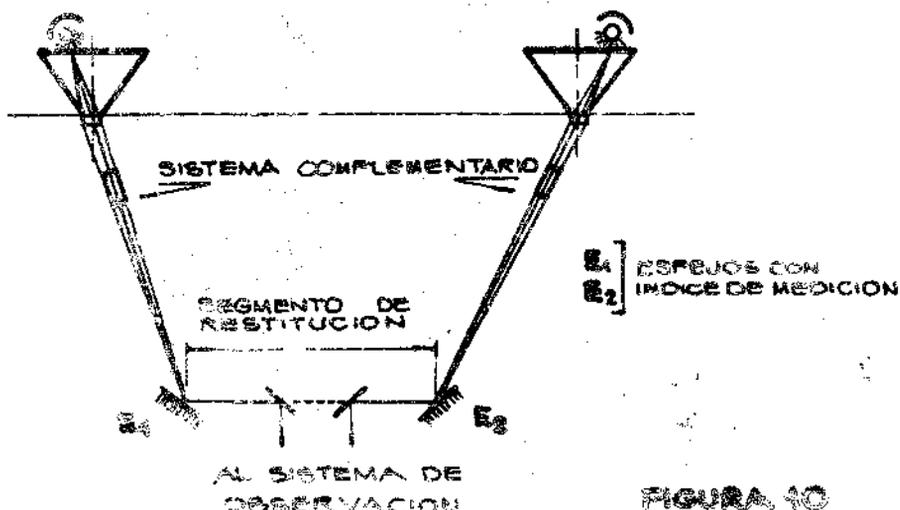


FIGURA 10

extremos del segmento de restitución, y se observan con un sistema óptico binocular adecuado. (fig. 10)

Este segmento de restitución se mueve en X, lo que, combinado con los desplazamientos conjuntos de ambas cámaras, permite lograr cualquier posición relativa entre éstas y aquél. La proyección nítida sobre las pantallas se logra mediante un sistema óptico complementario intercalado en el camino de los rayos, que en cualquier posición de las mismas proporciona la conjugación óptica adecuada. Esta ingeniosa solución fue concebida por la casa Zeiss para su Estereoplanígrafo.

Por último, la casa SOM (hoy SOPELEM) de París, combina en su Estereotopógrafo Poivilliers la observación Porro-Koppe con dos segmentos de restitución operando en forma plana, ya que, según se ha visto, descompone la posición espacial de los rayos proyectándola sobre dos planos coordenados: los anteojos colimadores, con sus reglas correspondientes, operan en el plano YZ y las cámaras, con las suyas, en el XZ. El esquema de su coordinatómetro se

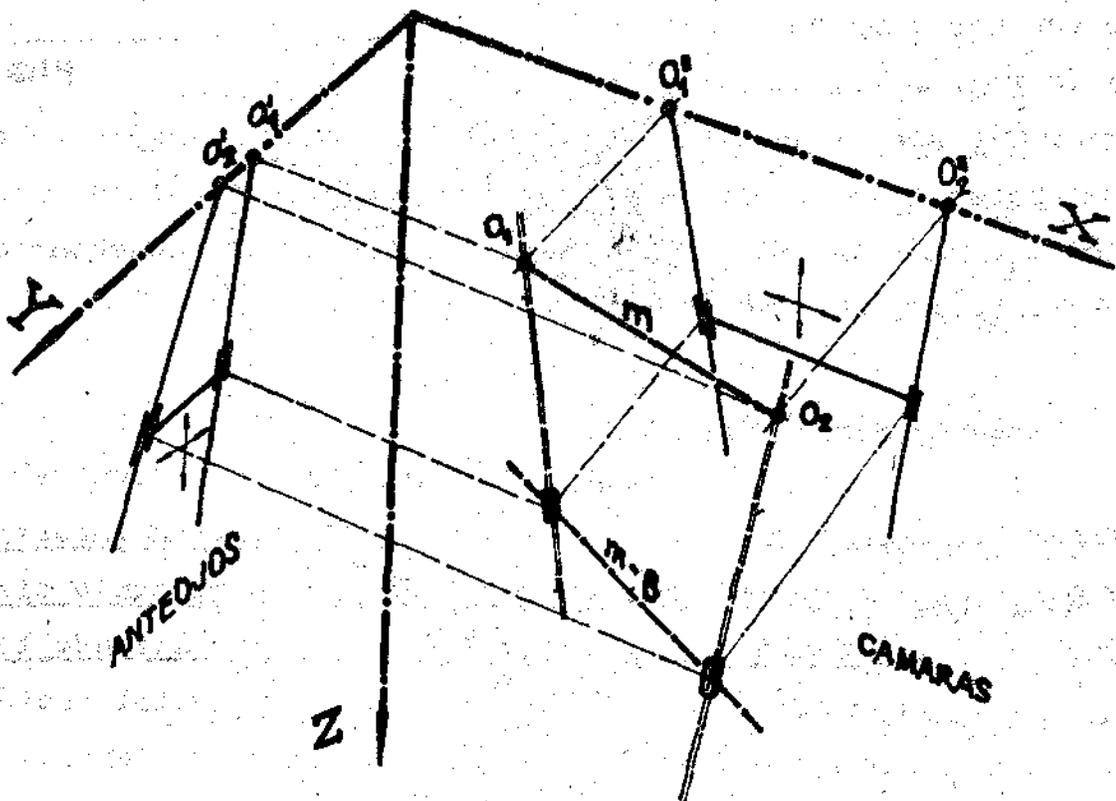


FIGURA 11 ESQUEMA COORDINATOMETRO ESTEREO-TOPOGRAFO POIVILLIERS - SOM. TIPO B.

da en la figura 11. La mención de este aparato se hace solo a título informativo, ya que su estudio no es objeto de éste curso.

c) Dibujo del punto restituído.

En los aparatos con mesilla trazadora el dibujo se ejecuta directamente a la escala del modelo, mediante la misma mesilla (en otras palabras, coordinatómetro y coordinatógrafo son una misma cosa). Puede lograrse cierta variación de escala mediante la conexión de un pantógrafo.

En los demás instrumentos (segmento de restitución), los desplazamientos planimétricos de éste último

son transmitidos mediante engranajes y otros artificios mecánicos a una mesa coordinatográfica (figura 12), don de se desplaza un lápiz, generalmente por combinación de dos movimientos ortogonales, en X e Y. Colocando distintos juegos de engranajes, o con una caja de transmisión regulable, se puede lo-

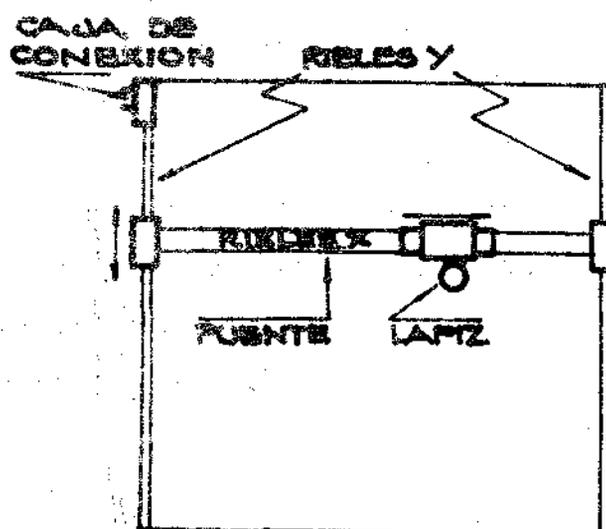


FIGURA 12

grar una serie bastante amplia de relaciones fijas, que permiten pasar a un dibujo ampliado o reducido respecto del modelo. Los movimientos del lápiz pueden desacoplarse o conectarse al coordinatómetro a voluntad.

d) Sistema de observación.

Difieren según la concepción del instrumento, pero siempre deben cumplir una condición importantísima: asegurar la estricta correspondencia entre punto bisectado y posición de los elementos que están materializando los rayos homólogos, sea cual fuere el sistema de materialización adoptado. Asimismo, en todos los casos podemos descomponer la trayectoria de los rayos de observación en dos tramos: tramo

métrico, desde los fotogramas hasta el índice de medición, y tramo de observación, desde el índice hasta los ojos del observador. Como la condición enunciada al principio del párrafo debe cumplirse en el tramo métrico, éste es el más delicado en cuanto a concepción y realización.

Se describirán distintos sistemas de observación junto con ejemplos de aparatos.

c) EJEMPLOS DE APARATOS DE RESTITUCION.

Se estudiarán los instrumentos que tipifican los distintos sistemas vistos.

I - MULTIPLEX.

(Ver figuras 13 a y b)

FIGURA 13a

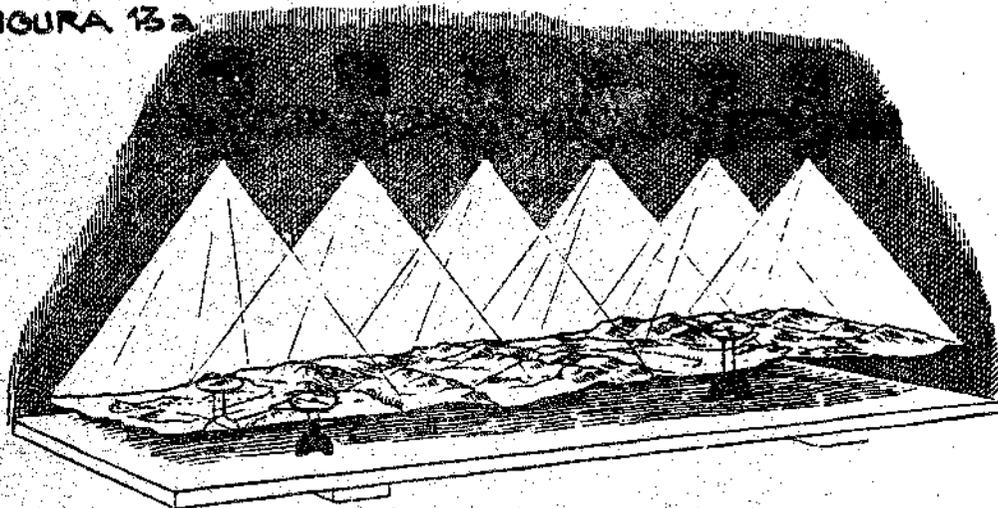


Figura esquemática del funcionamiento del aeroprojector Multiplex.

- a) Proyección luminosa directa de observación objetiva (desde 2 hasta 21 proyectores). Cámaras y fotogramas reducidos 4,5:1. Los objetivos proporcionan un haz de rayos idéntico al de la cámara de toma.
- b) Coordinatómetro: mesilla trazadora \equiv coordinatógrafo.
- c) Sistema de observación: proyección anaglífica. (X)

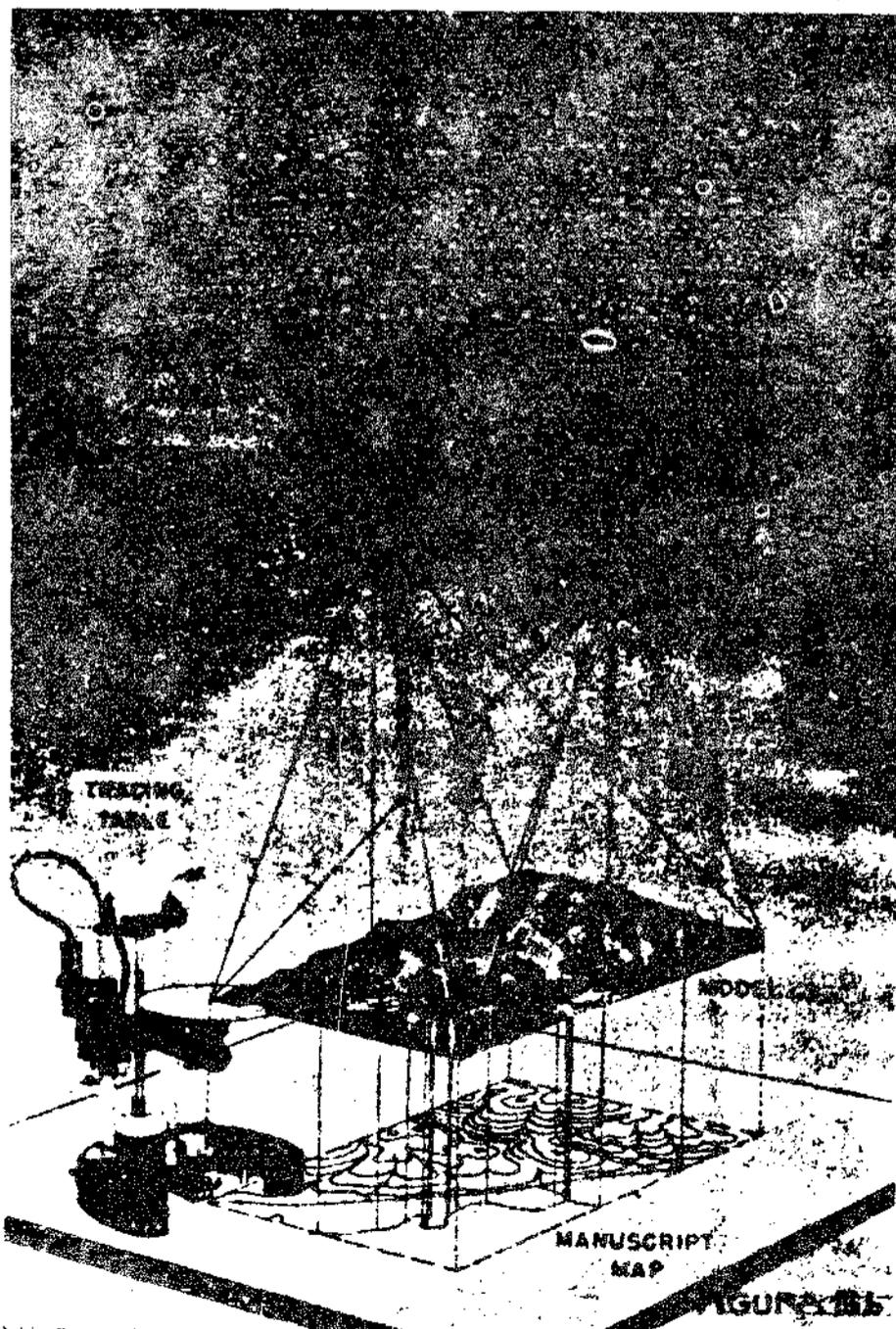
(X) Ver "Visión Binocular y Visión Estereoscópica", A.R.Mosca, GEI, capítulo 4.5, páginas 40 y siguientes.

Tramo métrico: desde los fotogramas hasta la mesilla trazadora.

Tramo de observación: proyección del modelo formado y del punto luminoso desde los ojos del observador.

Se trata de un aparato de tercer orden, de la casa Zeiss. Instrumentos similares: Fotomúltiplo (Nistri), Fotomapper (Nistri), Multiplex (Williamson), Kelsh-Plotter (Danko Inc.).

Fotomapper y Kelsh-Plotter utilizan los fotogramas originales, mientras que los demás necesitan de un reductor de relación fija. El objetivo de éste reductor debe ser rigurosamente ortoscópico.



II - ESTEREOPLANIGRAFO ZEISS.

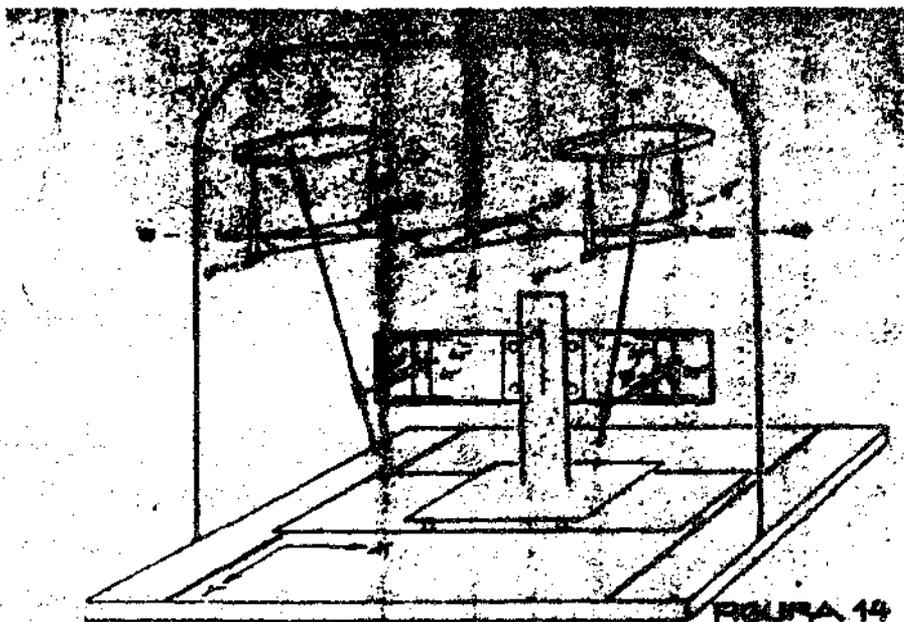
Instrumento de primer orden (ver figura 10).

- a) Proyección luminosa directa (sobre pequeña pantalla).
Fotogramas originales. Interpone sistema complementario para lograr conjugación óptica permanente.
 - b) Coordinatómetro; Segmento de restitución. Sus extremos son las pantallas que recogen la proyección de las cámaras.
 - c) Coordinatógrafo; rectangular.
 - d) Sistema de observación: las pantallas espejadas, que en su centro llevan las marcas medidoras (estilóptico).
se observan mediante sistema binocular.
Tramo métrico: desde los fotogramas hasta las pantallas.
Tramo de observación: desde las pantallas hasta los oculares.
- La observación a través de oculares hace que éste instrumento se clasifique entre los de proyección luminosa de observación subjetiva.

III - AUTOGRAFO WILD A.5

Instrumento de primer orden (ver figura 14).

- a) Materialización de haces por varillas cilíndricas en el



espacio.

- b) Coordinatómetro: segmento de restitución.
- c) Coordinatógrafo: rectangular.
- d) Sistema de observación: Exploración polar de los fotogramas mediante los prismas mencionados oportunamente. A continuación del prisma está intercalada la placa con la marca medidora (fin del tramo métrico) y continúa el tramo de observación, hasta los oculares. Si los fotogramas hubieran sido obtenidos con cámara no ortoscópica, la placa esférica compensadora de distorsión se intercala en el tramo métrico, entre prisma y fotograma. Instrumentos similares: Autógrafo Wild A.7 .

D) VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES.

Este tema será desarrollado en clase práctica.

E) EJES INSTRUMENTALES EN UN APARATO DE RESTITUCION.

En todo aparato de restitución se pueden definir direcciones correspondientes a los ejes del sistema de referencia aerofotogramétrico.

Para ello debemos dividir a los aparatos en dos grupos fundamentales:

- 1 - Aquellos en que los centros de rotación de las cámaras están a una distancia mutua invariable (constante del aparato). La dirección X instrumental es la determinada por los mencionados centros de rotación. (Por ejemplo: Autógrafo Wild A.5 y A.7, Estereoplanógrafo Zeiss).
- 2 - Aquellos que admiten desplazamientos B_x, B_y, B_z entre los centros de rotación de las cámaras. La dirección X instrumental coincide con la determinada por los centros de rotación cuando $B_y = B_z = 0$ (dirección general

mente paralela a la de la barra soporte de los proyectores) (Por ejemplo: Multiplex).

Existe, además, correspondencia entre las direcciones definidas y los ejes del respectivo coordinatógrafo.