

3
2oj.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“EVOLUCION DE LOS RESTITUIDORES
FOTOGAMETRICOS ANALOGICOS”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA

P R E S E N T A :

CECILIA LARA TORRES



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Página
I .- INTRODUCCION.....	1
1.1 .- Objetivo del trabajo.....	2
1.2 .- Instrumento restituidor.....	2
1.2.1.- Restitución.....	3
1.3 .- Sistemas componentes.....	5
1.3.1.- Sistema de proyección.....	5
1.3.2.- Sistema de observación.....	6
1.3.3.- Sistema de medición.....	8
1.3.4.- Sistema de dibujo.....	8
1.4 .- Orientaciones.....	9
1.4.1.- Orientación interior.....	10
1.4.2.- Orientación relativa.....	11
1.4.3.- Orientación absoluta.....	12
1.5 .- Clasificación de los restituidores.....	14
1.5.1.- Restituidores ópticos.....	14
1.5.2.- Restituidores óptico-mecánicos.....	15
1.5.3.- Restituidores mecánicos.....	15
I I .- INSTRUMENTOS OPTICOS.....	16
2.1 .- Sistema de proyección.....	17
2.2 .- Sistema de observación.....	25
2.2.1.- Sistema anaglífico.....	26

I N D I C E

	Página
2.2.2.- Sistema visualizador de platina polarizada.....	28
2.2.3.- Sistema de imágenes alternadas.....	29
2.3 .- Sistema de medición.....	31
2.4 .- Sistema de trazo.....	33
2.5 .- Historia de los instrumentos ópticos.....	35
I I I .- INSTRUMENTOS OPTICO-MECANICOS.....	38
3.1 .- Sistema de proyección.....	39
3.2 .- Sistema de observación.....	44
3.3 .- Sistema de medición.....	47
3.4 .- Sistema de trazo.....	47
3.5 .- Historia de los instrumentos óptico-mecánicos....	47
I V .- INSTRUMENTOS MECANICOS.....	53
4.1 .- Sistema de proyección.....	54
4.2 .- Sistema de observación.....	57
4.3 .- Sistema de medición.....	62
4.4 .- Sistema de trazo.....	65
4.4 .- Historia de los instrumentos mecánicos.....	68
V .- CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	75

I

INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

El presente trabajo pretende ordenar la aparición de los instrumentos restituidores analógicos de acuerdo a su desarrollo histórico y clasificación, es decir tiene como meta realizar una colocación evolutiva de los instrumentos restituidores en el lugar que les corresponde. Esto es desde el más simple hasta los más avanzados.

Dentro de esta ordenación evolutiva se encontrará la descripción de cada uno de los sistemas componentes de los diferentes restituidores (ver inciso 1.3).

1.2 INSTRUMENTO RESTITUIDOR

Un instrumento restituidor, es aquel aparato fotogramétrico diseñado para proporcionar la posición de puntos objeto, a partir de sus correspondientes puntos imagen en un par de fotografías con traslape.

1.2.1 RESTITUCION

Se entiende en fotogrametría como restitución, el pasar los detalles de una proyección cónica (fotografía) a una proyección ortogonal (mapa); esto se logra al eliminar los dos desplazamientos principales de un fotograma, los cuales se originan por la inclinación del avión y por el relieve del terreno.

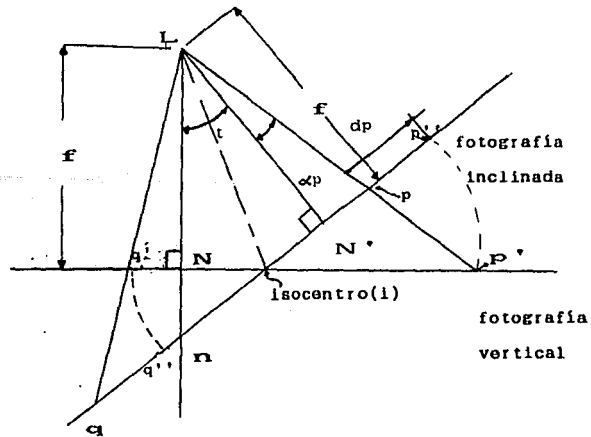


Figura 1.1 Desplazamiento por inclinación.

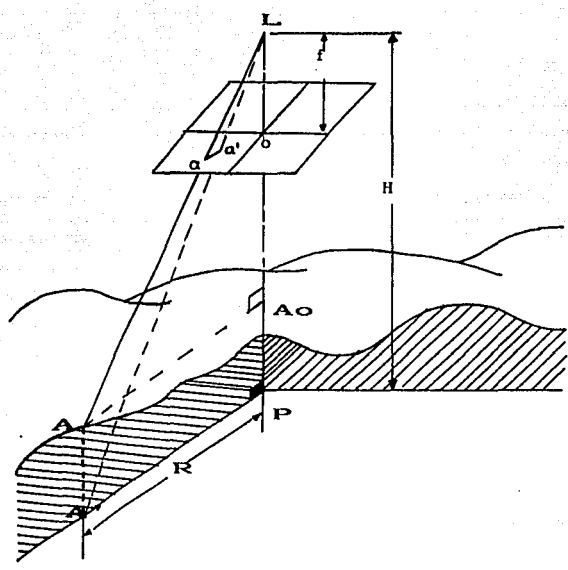


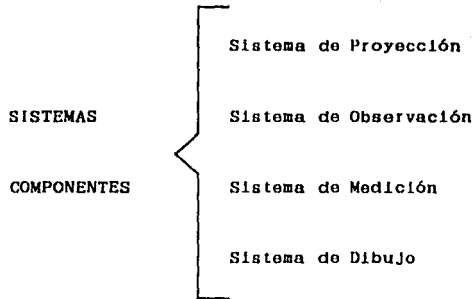
Figura 1.2 Desplazamiento por relieve.

El uso primario de los restituidores es la compilación de mapas topográficos, siendo esta la aplicación más amplia que tienen en fotogrametría.

1.3 SISTEMAS COMPONENTES

En los instrumentos restituidores tradicionales existen cuatro sistemas componentes principales.

Estos son:



A continuación se describe cada uno de los sistemas anteriores.

1.3.1 SISTEMA DE PROYECCION

Consiste en general de dos o más proyectores, con los cuales se crea un modelo tridimensional.

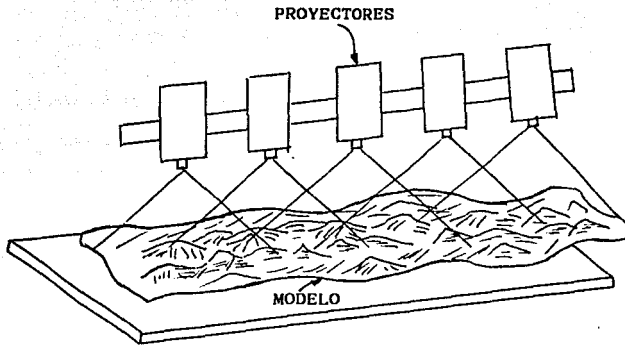


Figura 1.3 Sistema de Proyección del Multiplex.

1.3.2 SISTEMA DE OBSERVACION

Puede estar integrado de binoculares, lentes anaglifs, o similares; los cuales permiten al operador ver el modelo tridimensional. (ver figura 1.4 y 1.5)

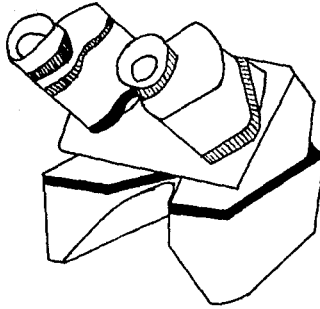


Figura 1.4 Binoculares.

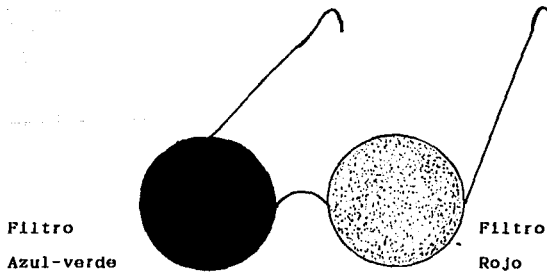


Figura 1.5 Anaglifos.

1.3.3 SISTEMA DE MEDICION

Lo constituye la marca flotante y unos contadores que registran los movimientos de dicha marca.

Un ejemplo elemental de sistema de medición, esta constituido por la barra de paralajes; que a continuación se ilustra.

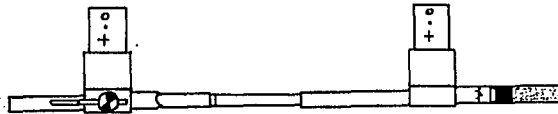


Figura 1.6 Barra de Paralajes.

1.3.4 SISTEMA DE DIBUJO

Existen varios sistemas de dibujo sencillos, pero el de uso más generalizado es el que consiste de una mesa trazadora (conocida como coordinatógrafo), con una plumilla a la cual se

le transmiten los movimientos de la marca flotante.

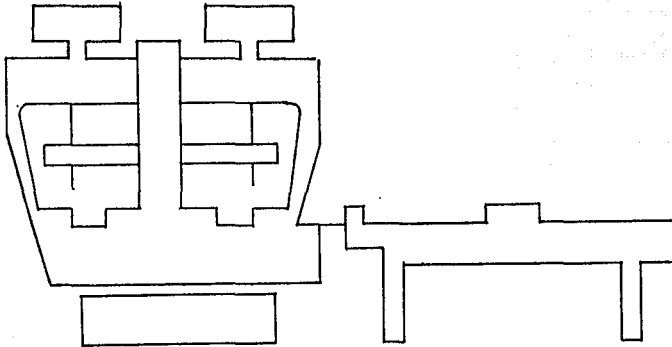


Figura 1.7 Restituidor con mesa trazadora.

1.4 ORIENTACIONES

Para realizar la restitución en un aparato analógico es necesario efectuar una serie de pasos conocidos como orientación, que a su vez se clasifican como sigue:

ORIENTACION

Interior

Relativa

Absoluta

Se prosigue con la descripción de cada una de las fases de orientación.

1.4.1 ORIENTACION INTERIOR

La orientación interior, consiste en re-crear la geometría de la cámara fotográfica de toma, en el proyector del aparato. En concreto hay que igualar la distancia focal y centrar la fotografía en el portaplacas para que los ejes ópticos coincidan.

Es muy importante que la distancia focal tanto de la cámara como la del proyector sean iguales, ya que de lo contrario el modelo se deforma verticalmente.

Un ejemplo de esto se esquematiza a continuación:

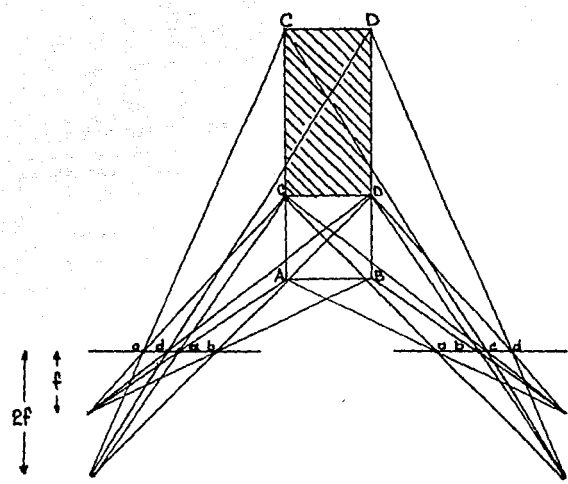


Figura 1.8 Deformación vertical del modelo.

1.4.2 ORIENTACION RELATIVA

La orientación relativa, consiste en eliminar el paralaje en "y" moviendo los proyectores, para lograr la intersección de los rayos homólogos en todo el modelo, y así cumplir con la condición de coplanaridad.

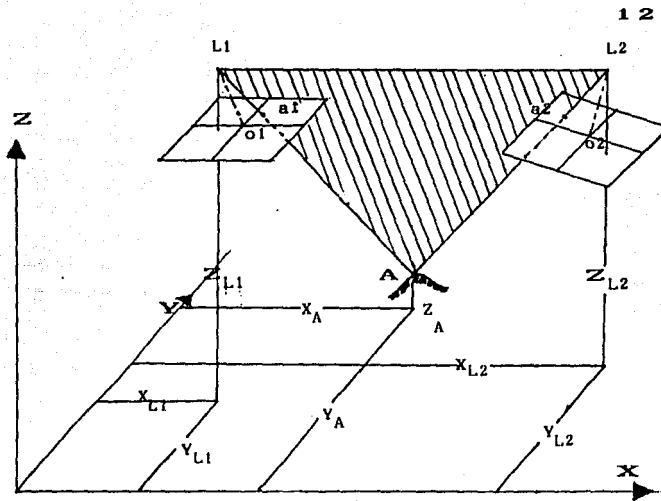


Figura 1.9 Condición de Coplanaridad.

1.4.3 ORIENTACION ABSOLUTA

En el proceso de orientación absoluta, el modelo tridimensional es llevado a la escala deseada y nivelado con respecto al apoyo terrestre establecido, que constará como

mínimo de dos puntos de control horizontal y tres de control vertical. (ver figuras 1.10 y 1.11)

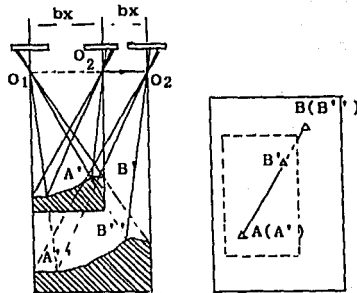


Figura 1.10 Variando la escala del modelo para ajustarla a la del plano base.

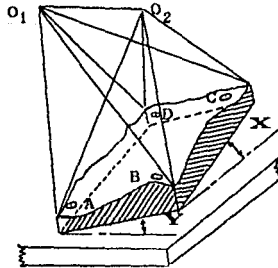
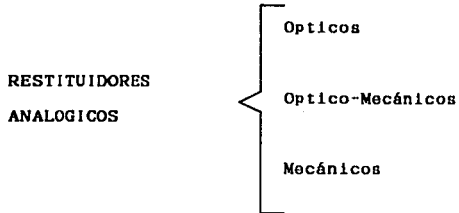


Figura 1.11 Estereomodelo sin nivelar (componentes de inclinación "x" y "y").

1.5 CLASIFICACION DE LOS RESTITUIDORES

La amplia variedad de aparatos restituidores se puede clasificar en grupos que tienen características comunes.

Una de estas clasificaciones puede ser la siguiente:



Enseguida se definirá brevemente cada uno de estos grupos.

1.5.1 RESTITUIDORES OPTICOS

Dentro de este tipo de instrumentos se encuentran todos los restituidores provistos de proyectores luminosos, como el Multiplex y el Balplex.

1.5.2 RESTITUIDORES OPTICO-MECANICOS

El grupo de restituidores óptico-mecánico no es muy común, con objeto de dar un ejemplo de los mismos podemos mencionar al Estereoplanógrafo C-8.

En este grupo de restituidores los rayos determinantes de puntos en una parte de su trayectoria a la carta, es óptica y la otra parte mecánica.

1.5.3 RESTITUIDORES MECANICOS

En este grupo de restituidores mecánicos, los rayos que determinan un punto en su total recorrido desde el fotograma hasta la carta, se materializan por medios mecánicos constituidos por varillas.

II

INSTRUMENTOS OPTICOS

2.1 SISTEMA DE PROYECCION

En este sistema las diapositivas de un estereopar son colocadas en los proyectores e iluminadas.

Se usan dos tipos de sistemas en la iluminación de las diapositivas, los cuales son:

- (a) Los que iluminan la diapositiva entera, simultáneamente.
- (b) Los que iluminan sólo una pequeña área de la diapositiva.

El sistema que ilumina la diapositiva entera, simultáneamente; usa diapositivas de tamaño reducido y para prevenir el calor excesivo, cuenta con un sistema de aire, para mantener frío el aire dentro del proyector. (ver figura 2.1)

Un ejemplo de esto se ilustra en la figura que sigue:

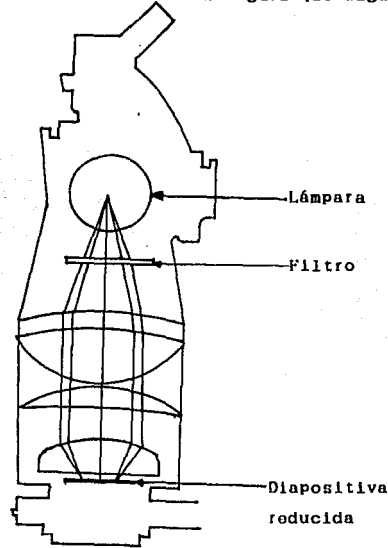


Figura 2.1 Proyector del Multiplex.

Los proyectores que iluminan sólo una pequeña área de la diapositiva, tienen la ventaja de que pueden usar diapositivas de tamaño grande y no requieren de un sistema de enfriamiento.

Si no se va a iluminar toda el área, si debe iluminarse el área

que se esta trabajando, para lo cual las lámparas estan unidas a unas barras guía que a su vez estan conectadas a la platina que contiene la marca flotante.

Al mover la marca flotante, automáticamente las lámparas iluminan la zona correspondiente.

Los rayos de luz homólogos son proyectados a través de los lentes del objetivo del proyector y se intersectan sobre la superficie reflejante de la platina.

En este sistema de proyección se requiere que el instrumento sea operado en un cuarto obscuro, y además los rayos se representan en toda su longitud por rayos luminosos.

La distancia focal de la diapositiva es igualada a la distancia focal de los lentes del proyector mediante una impresión reducida.

Aunque los reproductores con sistema de proyección óptico de diferente manufactura cambian poco en el diseño y apariencia individual, todos estan integrados básicamente por los siguientes componentes:

**Componentes
de un
Instrumento
Optico**

- 1) Marco Principal
- 2) Mesa de Referencia
- 3) Mesilla Trazadora
- 4) Platina
- 5) Barras guía
- 6) Projectores
- 7) Lámparas de iluminación
- 8) Diapositivas
- 9) Tornillos Niveladores
- 10) Barra de Projectores

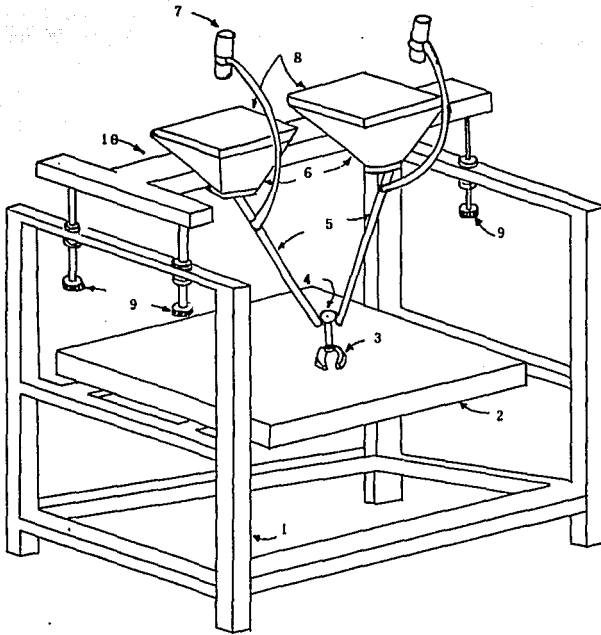


Figura 2.2 Componentes principales de un típico restituidor con proyección óptica.

A continuación se describirán cada uno de los componentes.

1) Marco Principal:

Se le designa de esta forma a la estructura metálica que soporta los proyectores, manteniendo estable la orientación de los fotogramas.

2) Mesa de Referencia:

Es una superficie grande y lisa que sirve como datum vertical, a la cual son referidas todas las elevaciones del modelo. Esta mesa también se usa para dibujar el mapa.

3) Mesilla Trazadora:

Consta de platina y lápiz trazador.

4) Platina:

Es la superficie en la que se observa el modelo y que contiene la marca flotante.

5) Barras Guía:

Por medio de las barras guía las lámparas iluminan la zona en observación.

6) Proyectores:

Son semejantes a los proyectores ordinarios de transparencias, siendo sus principales diferencias, la precisión óptica, su tamaño y la capacidad de orientarse uno con respecto al otro.

7) Lámparas de Iluminación:

Se utilizan para iluminar las diapositivas.

8) Diapositivas:

Se tienen que reducir para que su distancia focal coincida con la del proyector. Lo cual se logra con unos aparatos de reducción especialmente diseñados para este fin.

Este aparato se esquematiza en la figura 2.3

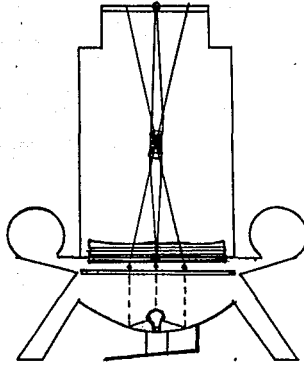


Figura 2.3 Reductor de diapositivas.

9) Tornillos niveladores:

Se utilizan para inclinar los proyectores simultáneamente en el proceso de orientación absoluta.

10) Barra del Proyector:

Esta barra es la que soporta a los proyectores.

2.2 SISTEMA DE OBSERVACION

La función del sistema de observación de un restituidor es la de hacer posible al operador la vista del modelo tridimensional.

La estereovisión se hace posible induciendo el ojo izquierdo para ver sólo el área traslapada de la fotografía izquierda, mientras que el ojo derecho simultáneamente ve sólo el área traslapada de la fotografía derecha.

Los diferentes sistemas de observación comunmente usados en restituidores de proyección óptica son los siguientes:

- 1) Sistema Anaglífico
- 2) Sistema Visualizador
de Platina Polarizada
- 3) Sistema Alternador de
Imagen Estereoscópica

2.2.1 SISTEMA ANAGLIFICO

Este sistema usa unos filtros de colores complementarios, usualmente rojo y azul-verde para separar las proyecciones izquierda y derecha.

La imagen que va a ser observada por el ojo derecho puede estar impresa en azul-verde y aquella para el ojo izquierdo en rojo.

Las imágenes de las diapositivas que se proyectan a través de filtros de colores complementarios, azul-verde y rojo, se proyectan sobre la platina y al ser observadas con las gafas de colores complementarios, si el lente izquierdo es azul-verde y el lente derecho es rojo se logrará ver la estereoscopia.

Entonces el ojo derecho vera sólo lo proyectado con el filtro rojo y el ojo izquierdo vera sólo lo proyectado con el filtro azul-verde. Al complementarse los colores el modelo será en blanco y negro.

El sistema de observación anaglífica es simple y económico, sin embargo, este excluye el uso de diapositivas a color y causa considerable pérdida de luz, así que el modelo no es tan claro como sería si los filtros no se hubieran usado.

Este sistema se ejemplifica en la figura 2.4.

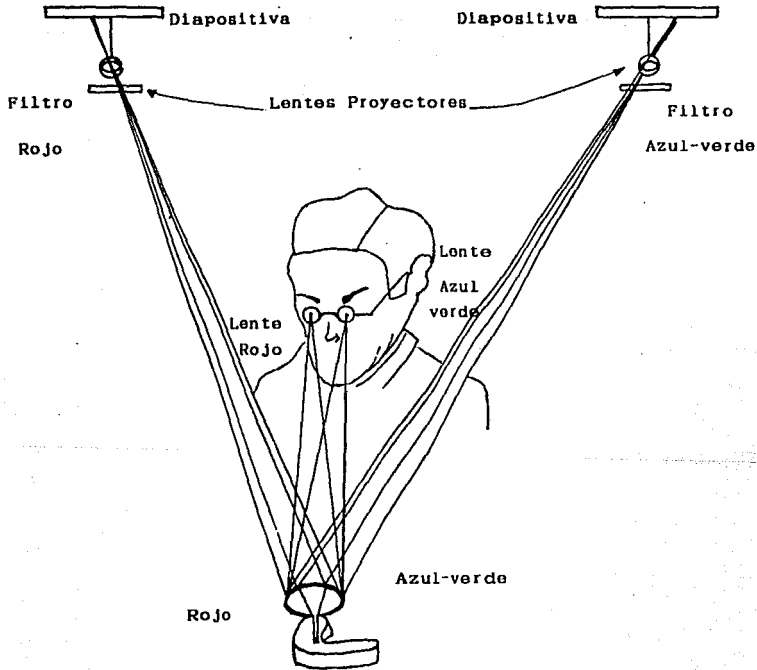


Figura 2.4 Observación Anaglífica

2.2.2 SISTEMA VISUALIZADOR DE PLATINA POLARIZADA

Este sistema opera similarmente al sistema anaglífico excepto que este usa filtros polarizados en lugar de filtros de colores complementarios.

Se usan filtros que polarizan linealmente los haces de la luz de proyección de cada vista en planos perpendiculares, esto es una imagen es iluminada y proyectada a través de un filtro polarizado teniendo unos ejes de polarización vertical y la otra imagen unos ejes horizontales (90° uno del otro).

Para que sea posible la observación se emplean lentes polarizados que permitan ver cada ojo la imagen correspondiente dejando pasar sólo la luz polarizada en la dirección vertical, mientras que el otro haz que pasa horizontalmente, se extinguirá consiguiéndose así la separación de imágenes, con lo cual se observará el modelo tridimensional.

En contraste para el sistema anaglífico, el sistema visualizador de platina polarizada y el sistema de imágenes alternadas causan muy pequeño gasto de luz, y ambos permiten el uso de diapositivas a color.

2.2.3 SISTEMA DE IMAGENES ALTERNADAS

Este sistema usa disparadores sincronizados para llevar a cabo la estereovisión.

Un obturador es colocado enfrente de cada uno de los lentes del proyector.

También, un par de obturadores a través de los cuales el operador debe ver, están situados enfrente de la platina.

Los obturadores están sincronizados, así que los obturadores del proyector izquierdo y ocular izquierdo están abiertos simultáneamente, mientras que los obturadores del proyector derecho y ocular derecho están cerrados y viceversa.

El operador ve solamente las imágenes del proyector izquierdo con el ojo izquierdo y las imágenes del proyector derecho con el ojo derecho.

La ventaja principal de el sistema de imágenes alternadas sobre los sistemas anaglífico y visualizador de platina polarizada es que la imagen es más brillante sobre la platina de observación.

Un ejemplo de este sistema se ilustra en la figura 2.5.

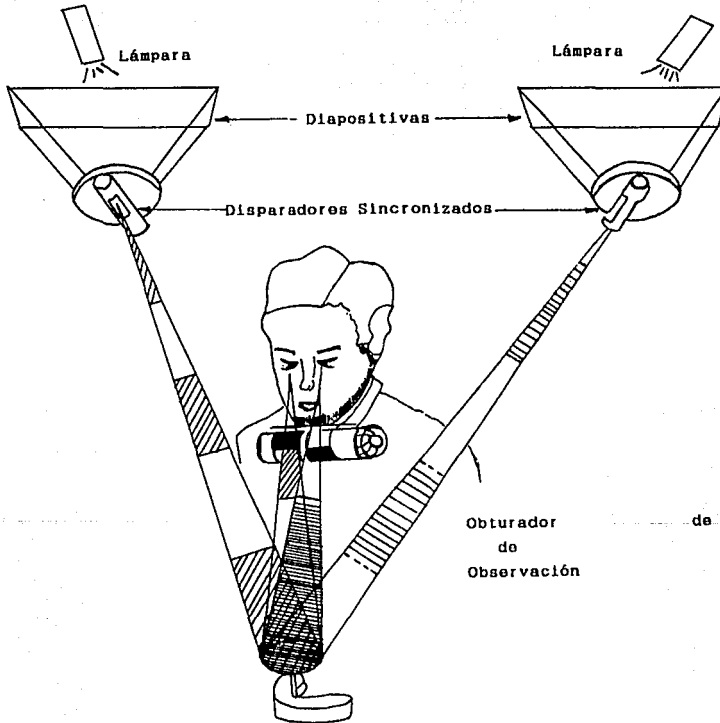


Figura 2.5 Principio del Sistema de Imágenes Alternadas.

2.3 SISTEMA DE MEDICION

El sistema de medición usado en los instrumentos de proyección óptica, una simple marca luminosa (marca flotante), localizada en el centro de una platina blanca, la cual es una parte de la mesa trazadora.

La marca flotante se observa simultáneamente con el modelo.

Los movimientos hacia arriba y hacia abajo de la platina, se registran en un contador que tiene la mesa trazadora y estos registros pueden ser en pies o en metros.

Algunas mesas trazadoras en uso, contienen escalas milimétricas cuya lectura puede ser convertida a pies o metros de acuerdo a la escala del modelo deseada.

Los desplazamientos X y Y de la marca de medición no pueden ser medidos directamente en la mesilla, a menos que el instrumento sea ajustado con un coordinatógrafo X-Y.

Los desplazamientos X-Y tendrán que medirse en base a la cuadrícula del plano base.

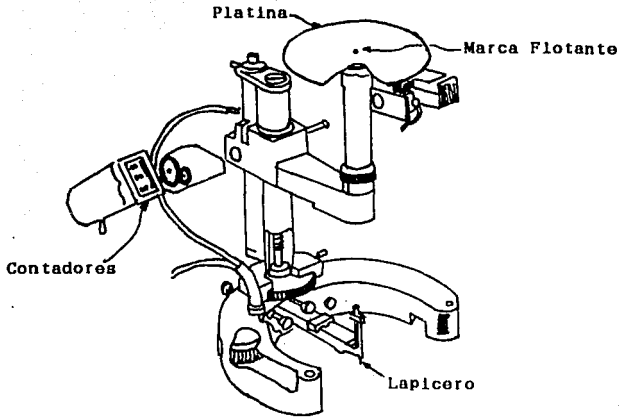


Figura 2.6 Mesa Trazadora.

Uno de los elementos principales del sistema de medición de un restituidor de proyección óptica es la mesa trazadora.

La platina (disco blanco) contiene una marca de referencia en su centro, usualmente un diminuto punto de luz (ver figura 2.6).

La marca de referencia aparece como flotando abajo del estereomodelo si la platina está arriba del terreno, por ello esta marca es llamada marca flotante.

La platina puede subir o bajar girando un tornillo.

El movimiento vertical de la platina es un mecanismo de engranes y variando las combinaciones del mecanismo de dicho engrano, se pueden registrar directamente elevaciones en pies o metros por variación de escalas del modelo.

Una hoja base de material estable es colocado arriba de la mesa de referencia. La mesa de trazo descansa sobre la hoja base y se mueve manualmente en las direcciones "x" y "y".

2.4 SISTEMA DE TRAZO

Consiste de un lapicero colocado directamente abajo de la marca de medición (figura 2.6)

Para trazar la posición de cualquier punto, la platina se ajusta hasta que la marca de referencia descansa exactamente sobre el punto deseado en el modelo.

Para trazar una característica semejante a un arroyo ó riachuelo, el lapicero se baja a la hoja base y la mesa de trazo se mueve en el plano X-Y, mientras que la platina se mueve hacia arriba o abajo, para que la marca flotante este en contacto con dicha característica.

El lapicero de este modo registra trazos continuos de la característica.

Se pueden trazar curvas de nivel colocando la marca flotante a la altura correspondiente de la cota que tiene la curva de nivel, y moviendo la mesa trazadora de un lado a otro de modo que la marca flotante se mantenga en contacto con la superficie del terreno.

El trazo es a la misma escala que la del modelo.

Un pantógrafo puede ser conectado a la mesa. Esto permite una ampliación o usualmente una reducción de la escala del modelo para la escala del mapa.

Un pantógrafo se ilustra en la siguiente figura 2.7.

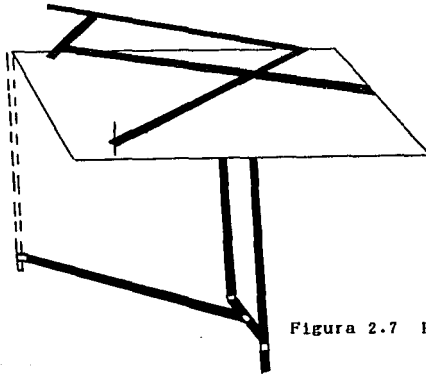


Figura 2.7 Pantógrafo

2.5 HISTORIA DE LOS INSTRUMENTOS OPTICOS

En 1919 fue patentado por Predhumeau un instrumento llamado Estereotopómetro en el cual se realiza la idea de revertir el patrón de luz, creando un punto de luz como guiado por una marca flotante y proyectarlo en las cámaras de restitución.

El diseño de este instrumento tuvo un predecesor que fue el Estereoplasto de Bauersfeld y un sucesor en el Proyector de punto de luz de Kuiper.

En 1920 se construyó en Roma, un Fotocartógrafo, de acuerdo a un diseño en 1919 por Nistri, este instrumento fue dirigido a la restitución en gran escala. Difería del instrumento de Gasser en el uso de proyección horizontal y una base vertical más grande que hacía innecesario el uso de espejos.

En 1921, Bauersfeld inventó un sistema óptico auxiliar para enfoque automático, que colocó enfrente de los lentes de proyección. Automáticamente proporciona un enfoque de la imagen en la marca flotante M, (ver figura 2-8).

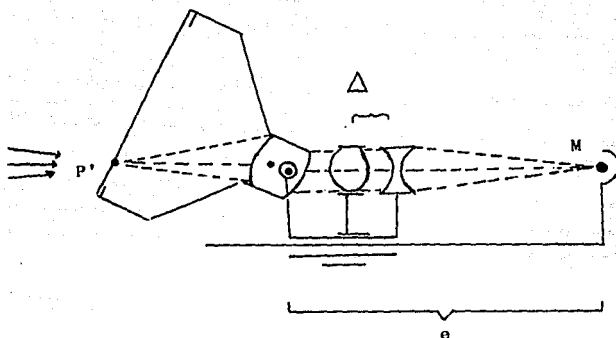


Figura 2.8 Sistema óptico auxiliar de Bauersfeld.

En este mismo año Bauersfeld diseñó el Estereoplanigrafo redirigiendo los dos rayos proyectados por medio de elementos ópticos adicionales de un mismo eje en la dirección "x" y los dirigió a un microscopio estacionario doble (ver figura 2.9). Empleo para este propósito dos superficies de espejo montadas en balancines; su normal fue puesta automáticamente a la mitad del ángulo entre el rayo proyectado y el eje "x".

Las marcas de medición eran localizadas en los centros de rotación de los dos espejos, y la imagen era enfocada en estas marcas.

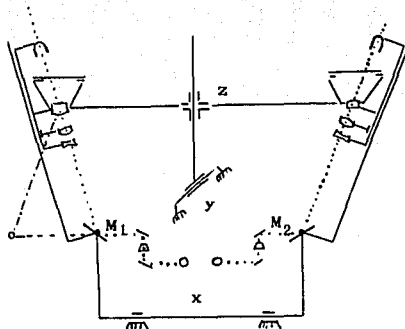


Figura 2.9 Diagrama esquemático simplificado, del Entarcomanógrafo Bauersfeld-Zeiss.

Algunos otros instrumentos que usan la proyección óptica se mencionan a continuación:

En 1921, apareció el proyector doble gigante Boykow-Askania de Berlín.

En 1926, es fabricado por Barr & Stroud en Glasgow el proyector doble "Gran Berta".

En 1928, se diseñó el pequeño doble proyector Aerosimplex, por Heyde en Dresden.

En el mismo año se diseñó por Ferber el proyector doble y construido por Gallus en París.

En 1933, fueron introducidos por Carl Zeiss, Jena los instrumentos con más de dos proyectores, los llamados

Instrumentos Multiplex.

En 1940 H. Fourcade diseño, un proyector doble con estereopares transformados en fotografías verticales.

En 1947 fue diseñado o construido por Kelsh, en U.S.A., un proyector doble de uso más general.

En 1951 Bausch & Lomb de U.S.A. dio origen al Balplex.

En 1952 apareció la última versión del Estereoplanígrafo modelo C-8, dicho restituidor contiene una remarcada universalidad de desviación y rotación de las cámaras, contiene un ajuste de aumento automático y el Paralelogramo de Zeiss. Los sistemas de medición y restitución guían las marcas de medición.

El instrumento estaba equipado con una impresora mecánica de coordenadas.

En su época, el Estereoplanígrafo era el estereorestituidor fotogramétrico más exacto.

III

INSTRUMENTOS OPTICO-MECANICOS

3.1 SISTEMA DE PROYECCION

Este sistema de proyección emplea proyectores o lentes de cámara, los cuales nominalmente igualan los lentes de la cámara aérea usada para adquirir las fotografías.

Si se puede imaginar que los lentes usados en los proyectores igualan exactamente la distancia focal y características de distorsión de los lentes de la cámara; entonces:

Los puntos p' y p'' serían proyectados a través de los lentes hacia el infinito precisamente en las direcciones correctas.

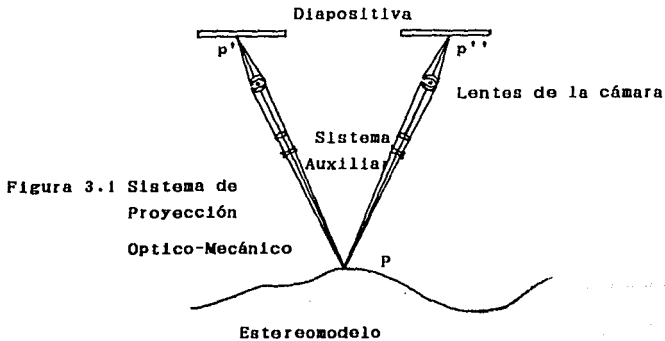


Figura 3.1 Sistema de Proyección Optico-Mecánico

Esto es, los lentes re-crean en sentido inverso las direcciones de los rayos originales que entraron a la cámara al instante de la exposición; dicho concepto es llamado el principio de Porro-Koppe. Y fue este principio muy tomado en cuenta en el pasado.

Los instrumentos modernos que incorporaron el sistema de proyección óptico-mecánico; como son el Thompson-Watts, y el Estereoplanigrafo C-8, usan otros métodos para re-crear las trayectorias de los rayos originales.

Los rayos que pasan a través de los lentes son paralelos entre sí. Estos rayos entonces son proyectados por un sistema de lentes auxiliares, el cual los lleva a foco en una superficie de referencia en el modelo en el punto, que contiene la marca flotante.

El aspecto mecánico de este tipo de sistema de proyección proviene del hecho, que la marca flotante debe ser movida mecánicamente en las tres direcciones, ubicar un punto del modelo ó bien para definir la superficie del mismo.

El Estereoplanigrafo C-8 (ver figura 3.2) es uno de los pocos reconstituidores que usa una combinación de proyección óptica y mecánica. En este instrumento, las diapositivas estan centradas en los dos proyectores e iluminadas desde arriba.

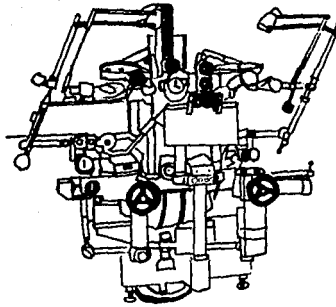


Figura 3.2 Estereoplanígrafo C-8.

Las imágenes correspondientes son proyectadas ópticamente por medio de los lentes del objetivo del proyector y vienen a enfocarse sobre un par de espejos de referencia, como se muestra en el diagrama 3.3.

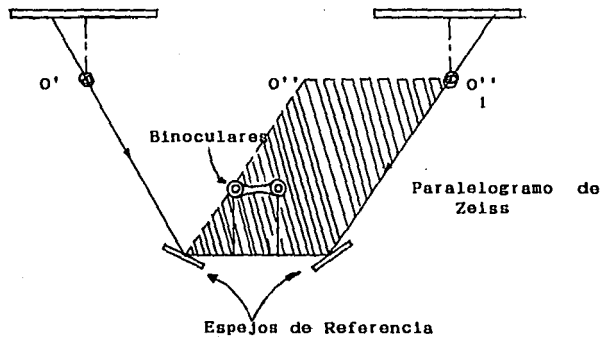


Figura 3.3 Diagrama esquemático del sistema de proyección del C-8

Los rayos son reflejados por los espejos dentro de dos guías ópticas y son observados a través de los binoculares por el operador.

Una conexión mecánica especial alinea los espejos, así que los rayos reflejados son recibidos dentro de las guías ópticas, independientemente del área de las diapositivas observadas.

Las medias marcas de referencia sobrepuestas en cada espejo de referencia se fusionan en la marca flotante, que aparece exactamente sobre un punto del modelo cuando las medias marcas están colocadas sobre imágenes correspondientes.

Un sistema auxiliar de lentes Bauersfeld, anexo abajo de cada lente del objetivo del proyector, (como se ilustra en la figura 3.4), asegura el enfoque perfecto de los rayos proyectados sobre los espejos de referencia, independientemente de la distancia de proyección.

La distancia focal f' de los lentes es igual a la constante de las lentes y por lo tanto los rayos proyectados emergen de las lentes del proyector en forma paralela. Estos rayos paralelos entran a la combinación de lentes Bauersfeld positiva y negativa estando ambas lentes separadas por una distancia "e".

La distancia "e" varia mecánicamente para mantener el enfoque sobre los espejos, según las variaciones en la distancia de proyección "h".

Cada proyector del Estereoplanógrafo C-8 tiene las tres rotaciones angulares de costumbre ($d\chi$, $d\varphi$, $d\omega$), pero las traslaciones se introducen como movimientos de los espejos de referencia. Esto es debido a que el instrumento utilice el paralelogramo de Zeiss, como se ilustra en la figura 3.3 .

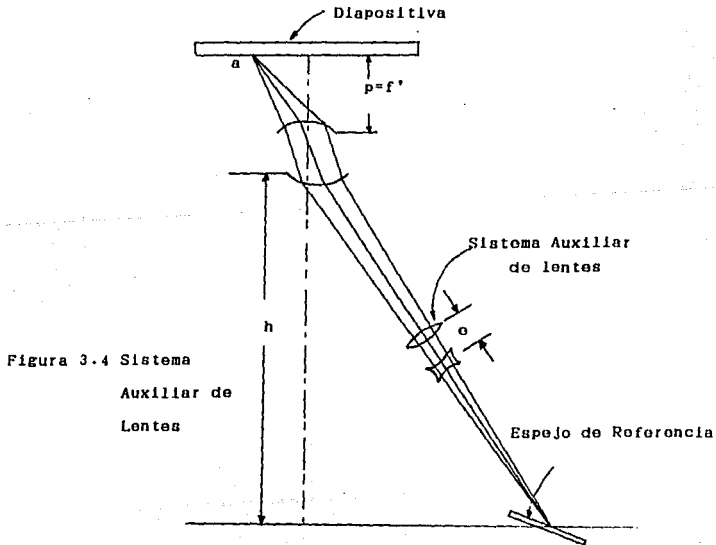


Figura 3.4 Sistema
Auxiliar de
Lentes

3.2 SISTEMA DE OBSERVACION

El sistema de observación de uno de los restituidores con proyección óptico-mecánico es el siguiente:

El sistema de observación del Estereoplanígrafo Zeiss C-8, es una combinación de un goniómetro y un sistema de guía óptica.

En la figura 3.5, imagine que el ojo ocupa la posición de la marca flotante con el sistema auxiliar quitado, el ojo se podría mover alrededor, debajo de la lente del proyector y observando diferentes partes de la diapositiva.

Esto es idéntico a la observación goniométrica excepto que el telescopio de medición es reemplazado por el ojo.

En los instrumentos, la imagen formada por el sistema auxiliar sobre la marca de referencia es transportada a los ojos del observador por medio de una guía óptica como se muestra esquemáticamente en la figura 3.5(b).

Debido a que la marca de referencia se mueve mecánicamente alrededor de los lentes del proyector.

Entonces la figura 3.5(a) es conceptualmente la misma que la figura 3.5(b)

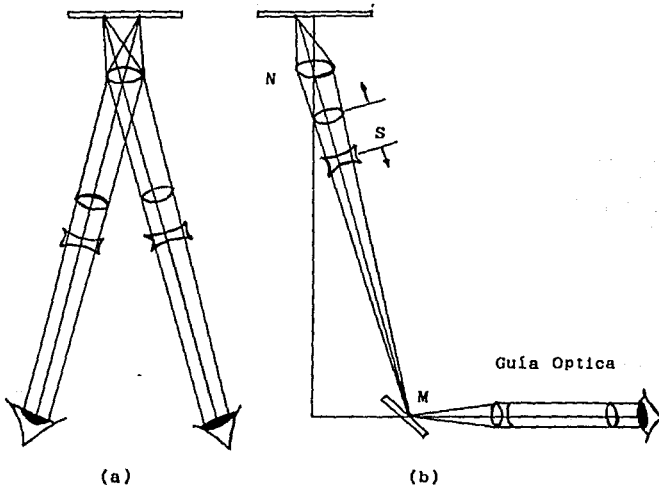


Figura 3.5 Observación Goniométrica de una diapositiva.

Los sistemas de proyección y observación completos del Estereoplanógrafo Zeiss C-8 se muestran en la figura 3.5'

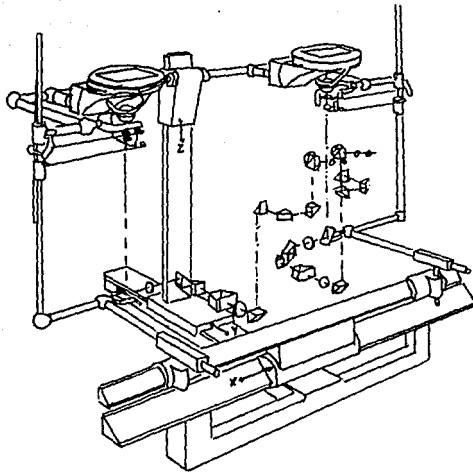


Figura 3.5' Sistemas de proyección y observación del Estereoplanógrafo C-8.

3.3 SISTEMA DE MEDICION

El sistema de medición de este grupo de restituidores es el mismo que el de los restituidores mecánicos, en el siguiente capítulo se detallará este sistema.

3.4 SISTEMA DE TRAZO

El sistema de trazo de este tipo de restituidores es igual al de los restituidores mecánicos, debido a esto en el siguiente capítulo se describirá dicho sistema.

3.5 HISTORIA DE LOS INSTRUMENTOS OPTICO-MECANICOS

En 1917, Hegershoff desarrolló un restituidor, en el cual estaba usando la proyección óptica de acuerdo al principio de Porro-Koppe en el espacio de la imagen, y la proyección mecánica en el espacio del modelo. El instrumento era llamado Autocartógrafo y construido por Heyde Company en Dresden, figura 3.6

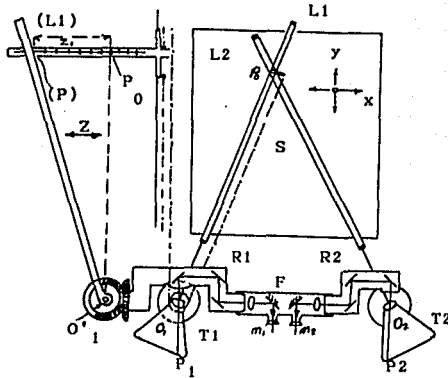


Figura 3.6 Diagrama esquemático del primer diseño del Autocartógrafo de Hegershoff.

El instrumento está basado en dos teodolitos de imagen como los usados por Koppe con ejes intercambiables de tal manera que las cámaras rotan durante el proceso de medición alrededor de un eje vertical y un telescopio de vista alrededor de un eje de inclinación.

Las fotografías terrestres, así como las aéreas, pueden ser usadas y no hay restricciones impuestas por las desviaciones del caso normal.

En 1922, la Sociedad de Optica y Mecánica de Alta Precisión (S.O.M. más tarde llamada Sociedad de Optica, Precisión, Electronica y Mecánica, SOPELEM) en París, construyó el Estereotopógrafo diseñado por Poivilliers.

Muestra algunas analogías con el Autocartógrafo de Hegershoff, pero con otro arreglo para la transformación del ángulo de elevación, figura 3.7

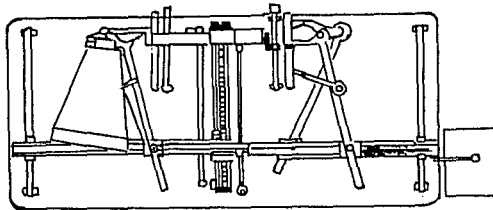


Figura 3.7 Diagrama esquemático del Estereotopógrafo modelo A

En 1925, apareció el Autógrafo modelo A2, que fue una atracción en el congreso del ISP(Sociedad Internacional de Fotogrametría) que se llevó a cabo en Berlín en el año de 1926.

En 1926, fue diseñado por Hegershoff, y construido por Heyde, el Aerocartógrafo, figura 3.8, que difiere del autógrafo en su construcción más elegante y en el uso de varillas espaciales.

Una importante innovación introducida por Hegershoff fue el intercambio de patrones ópticos estereoscópicos entre las imágenes ortoscópicas y pseudoscópicas que, en conexión con la posibilidad de colocar una base negativa, permite conexiones ilimitadas en fotografías adicionales y, por lo tanto, aereotriangulación.

El intercambio de ejes fue hecho posible gracias a los manguitos de deslizamiento. Los prismas erguidos y los sistemas zoom para el ajuste de aumento permiten una observación óptima.

En este mismo año de 1926, Fourcade, desarrolló un instrumento llamado Fotogoniómetro que permitía, adherido al principio de Porro-Koppe, la medición estereoscópica de ángulos.

En 1932, apareció el modelo A3 del Autógrafo, construido por la Wild Company.

En 1933, aparece un modelo A4 del Autógrafo, más simplificado, apropiado para fotogrametría de bajo rango conocido como ;

"Autógrafo Policia" construido por la Wild Company.

En 1934, fue usada por Nistri otra solución óptico-mecánica de la proyección en su Fotoestereógrafo, modelo alfa. El eje de inclinación de la varilla en dos ángulos enfrente del lente de la cámara guía, con la ayuda de un prisma de ángulo recto, los rayos paralelos que vienen del punto de la fotografía al sistema de observación y su marca de medición.

En 1937, fue arreglado para el uso de fotografías terrestres y aéreas el modelo B del Estereotopógrafo de Poivilliers, que tenía una gran exactitud. Fue el instrumento francés estándar y se uso gran número de veces en el Instituto Geográfico Nacional en Paris para trabajos de gran escala.

Hasta 1950, aparecieron versiones adicionales del Estereotopógrafo como los modelos C y D.

En 1963, se desarrolló el Autógrafo modelo A40 construido por la Wild Company.

Heinrich Wild, diseñó un instrumento con varillas espaciales y proyección óptico-mecánica. Principalmente él consideró las exposiciones de la inclinación, influenciado posiblemente por sus experiencias ocurridas durante su trabajo topográfico en

los Alpes.

Las cámaras se movían durante la restitución alrededor de dos ejes y se unían a varillas espaciales (con una inclinación de 90° con respecto a las cámaras), intersectadas como en otros restituidores los puntos base del Paralelogramo de Zeiss.

Este arreglo resulta en un sistema de observación estacionario y un simple diseño, pero así como los ejes estaban arreglados como los del teodolito, se origina una curvatura errónea, que tuvo que ser compensada por medio de control mecánico. Los rayos de las cámaras que forman la imagen, eran guiados por medio de prismas al microscopio doble, satisfaciendo el principio de Porro-Koppe.

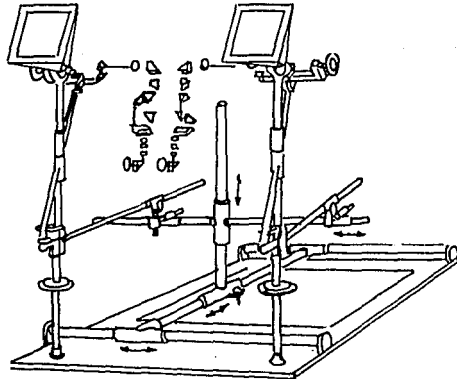


Figura 3.8 Aerocartógrafo de Hegershoff de 1926.

IV

INSTRUMENTOS MECANICOS

4 - 1 SISTEMA DE PROYECCION

El sistema de proyección de los instrumentos mecánicos simula el sistema de proyección óptico de rayos de luz, por medio de dos varillas espaciales de metal elaboradas con precisión.

Los principios básicos del sistema de proyección mecánica están ilustrados en el diagrama simplificado de la figura 4.1 .

Las diapositivas están colocadas en los portaplacas e iluminadas, frecuentemente con luces de neón.

Los proyectores son análogos para instrumentos de proyección óptica. Las dos varillas espaciales tienen una rotación libre alrededor de las uniones gimbal O'yO'', también pueden deslizarse hacia arriba y hacia abajo a través de estas uniones.

Dichas varillas espaciales representan rayos de luz proyectados, y las uniones gimbal son centros de proyección mecánica análogo a los lentes del objetivo del proyector de los

restituidores de proyección óptica.

Las estaciones del modelo expuesto son por lo tanto representadas por $O'yO''$ y la distancia $O'O''$ es la base del modelo. Las uniones gimbal $O'yO''$ tienen posición fija y solamente se puede cambiar su espaciamiento durante la operación para obtener la escala correcta del modelo.

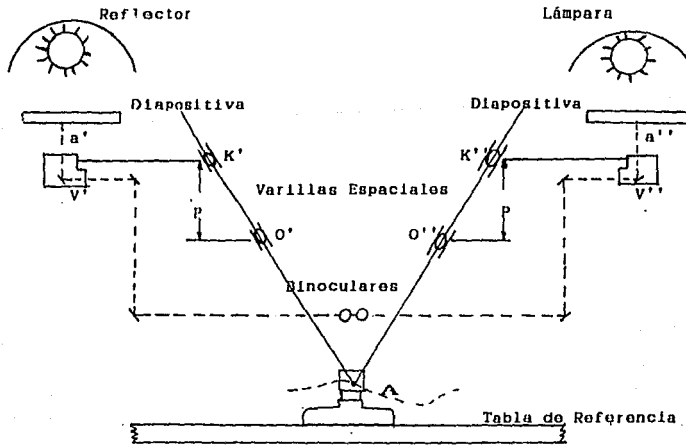


Figura 4.1 Principios básicos de la proyección mecánica.

El sistema de proyección mecánico mostrado en la figura 4.2, emplea un par de varillas espaciales de precisión que pasan a través de las gimbals, localizado en los centros de perspectiva de las diapositivas.

La distancia entre el plano de las diapositivas a la unión gimbal es colocada mecánicamente para coincidir con la distancia principal de las diapositivas.

Los puntos p' y p'' son proyectados ortogonalmente hacia abajo. Estos son entonces proyectados mecánicamente a lo largo de los ejes de las varillas espaciales para fijar la posición del punto P en el modelo.

El método ilustrado en la figura 4.2, tiene cierta analogía con el principio de la proyección óptica.

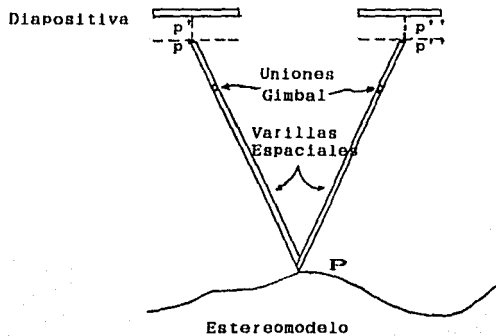


Figura 4.2 Proyección Mecánica.

Estos instrumentos tienen ciertas características como: versatilidad, comodidad en la operación, capacidad de exactitud, y una estabilidad global, también como el hecho de que estos no necesitan ser operados en un cuarto oscuro.

4.2 SISTEMA DE OBSERVACION

Este sistema de observación consiste:

De dos guías ópticas, de lentes, espejos y prismas. Las dos trayectorias ópticas están ilustradas por las líneas punteadas de la figura 4.1 .

Los lentes del objetivo V' y V'' están situados en las guías ópticas directamente debajo de las diapositivas.

Los lentes son orientados para que la observación de las diapositivas sea ortogonal, consecuentemente los planos (de la superficie de la emulsión) de imagen de las diapositivas puede descansar en la superficie superior del vidrio de la diapositiva. Con lo cual no se introduce error de refracción, porque los rayos no pasan en forma oblicua a través del vidrio.

Una media marca de referencia esta sobrepuesta en el eje óptico de cada uno de los lentes V' y V'' .

El movimiento se imparte para los lentes desde las varillas espaciales por medio de varillas de unión conectadas a otro conjunto de uniones gimbal K' y K'' . Estas uniones estan fijadas en posición vertical y la distancia vertical desde las uniones gimbal inferiores O' y O'' a sus correspondientes uniones gimbal superiores K' y K'' es la distancia principal p .

Durante la orientación interior esta distancia se iguala a la distancia principal de las dispositivas.

Las varillas espaciales se intersectan en el soporte trazador, el cual se maneja manualmente y con este se mueven las varillas espaciales, las cuales impulsan el sistema de observación y esto hace posible mirar toda la diapositiva.

Por manipulación del soporte trazador en las direcciones "x", "y", y "z", los ejes ópticos de los lentes V' y V'' , pueden ser colocados sobre imágenes correspondientes tales como a' y a'' .

Esto ocurre cuando las medias marcas de referencia se fusionan en una marca que aparece exactamente sobre un punto del modelo.

Si la orientación del instrumento se hace cuidadosamente con la marca flotante fusionada sobre el punto "a", las varillas espaciales tienen la misma orientación que los rayos de luz de entrada desde el punto A del terreno, que tenían en el momento de la toma, y la intersección de las varillas espaciales fija ese punto del modelo. Cada punto del modelo adicional se fija de la misma manera.

Por comparación geométrica el sistema de proyección mecánico ilustrado en la figura 4.1, es exactamente el mismo que la proyección óptica.

Los instrumentos de proyección mecánico emplean una observación ortogonal de la diapositiva, la cual se observa directamente por el ocular del instrumento mediante una guía óptica.

Un sistema se muestra esquematizado en la figura 4.3.

Los lentes del objetivo I, proyectan la imagen p' desde la diapositiva sobre la superficie de referencia que contiene la marca de medición M.

Esta marca está colocada en el plano focal de los lentes del objetivo II.

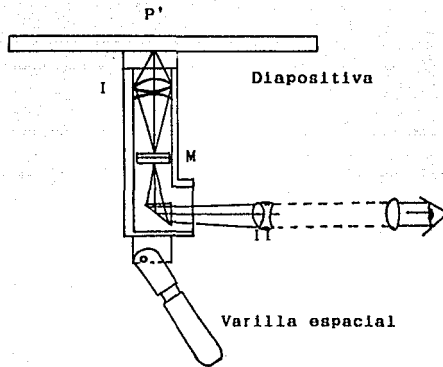


Figura 4.3 Observación ortogonal de la diapositiva en un instrumento con proyección mecánica.

Los rayos son desviados por el prisma, y entonces se proyectan a través del objetivo I1 en la guía óptica, la cual lleva la imagen al observador.

Dos sistemas semejantes, uno para cada ojo, permiten que las diapositivas puedan ser observadas estereoscópicamente.

Los lentes I, la marca de referencia M, el prisma, y lentes II, todos se mueven como una unidad.

Este movimiento ocasiona que la parte superior de la varilla espacial, describa un plano "q" que es paralelo al plano de la diapositiva.

El operador observa por medio del binocular la diapositiva directamente y percibe el estereomodelo ver figura 4.4 .

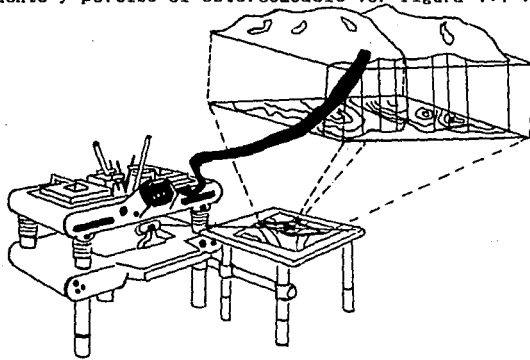


Figura 4.4 Observación a través de binoculares.

4.3 SISTEMA DE MEDICION

Este sistema de medición incorpora dos marcas de medición exactamente iguales, como las medias marcas de la barra de paralaje; estas marcas están colocadas una en cada trayectoria óptica, entre la diapositiva y el ocular de un instrumento mecánico u óptico-mecánico.

Por ejemplo, la marca de medición es colocada en M en la figura 4.3 en un instrumento de proyección mecánica y en M en la figura 3.5 en un instrumento de proyección óptico-mecánico.

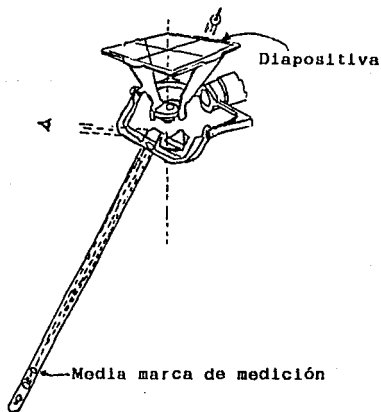


Figura 4.5 Ilustración de la media marca de medición en el instrumento Kelsh.

Los movimientos "X" y "Y" son impartidos para cada una de estas marcas, ya sea a mano libre o por manivelas, en estos instrumentos.

Refiriéndose a la figura 4.1, si la intersección de las varillas espaciales en P se mueve a la izquierda, el extremo superior de las varillas espaciales se mueve a la derecha, pivoteando alrededor de los gimbals, así se examina la diapositiva en la dirección "X".

Un movimiento en P hacia fuera o hacia dentro del plano de dibujo, desplaza las partes superiores de las varillas espaciales en la dirección "Y".

Por lo tanto ya que las marcas de medición se mueven junto con el extremo superior de las varillas espaciales como se muestra en la figura 4.1. Entonces cualquier movimiento impartido para P es también impartido para el par de marcas de medición.

En algunos instrumentos, los movimientos de "X" y "Y" de las marcas pueden ser leídos desde las escalas de precisión "X" y "Y" unidas al instrumento. Estos movimientos pueden también ser automáticamente registrados.

La medición en la dirección vertical esta basada sobre el mismo principio de la medición vertical de la marca flotante usando la barra de paralaje.

Refiriendose nuevamente a la figura 4.1 , si P se mueve verticalmente hacia arriba o hacia abajo, el extremo superior de las varillas espaciales y por lo tanto las marcas de medición se desplazarían en dirección opuesta a la dirección "x". Esto cambia el paralaje "x" de las marcas.

Ya que las marcas de medición y las diapositivas son observadas estereóscopicamente, la marca flotante se ve moverse verticalmente en la estereoisagen vista por el operador.

El movimiento vertical de P se lee en la escala de elevación de el instrumento o también se registra automáticamente.

Un sistema para hacer mediciones precisas de el estereomodelo es esencial para cualquier restituidor. Las mediciones pueden ser registradas como trazos directos de características planimétricas y contornos de elevación, o estos pueden ser tomados como coordenadas de el modelo "x", "y", y "z" .

4.4 SISTEMA DE TRAZO

En el sistema de trazo de un instrumento mecánico; si la marca de medición se mueve por un par de manivelas "x" y "y", estos movimientos deben de ser transferidos a una hoja para compilar el mapa, montada sobre un coordinatógrafo, en la siguiente figura 4.6 se muestran estos. (ver figura 4.7)

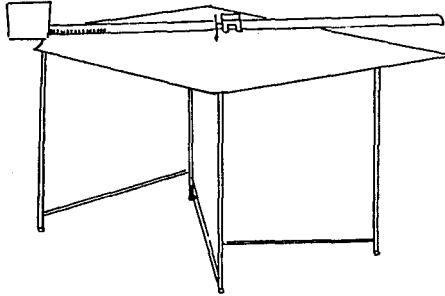


Figura 4.6 Pantógrafo Lineal.

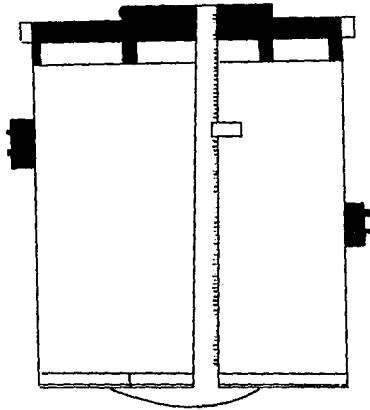


Figura 4.7 Mesa de Dibujo Digital.

La relación entre la escala del modelo y la escala de compilación del mapa puede ser incrementada o disminuida por medio de engranes intercambiables.

Entonces como las manivelas del instrumento son giradas, para seguir los detalles del mapa, estos movimientos se transmiten al lapicero del coordinatógrafo, el cual traza los detalles en la hoja mapa a una escala mayor o menor.

Para algunos proyectos es deseable obtener el registro de mediciones en forma digital en lugar de forma gráfica, esto es posible si el graficador está equipado con un coordinatógrafo XY, tal como se muestra en la figura 4.7 .

El coordinatógrafo está montado sobre la mesa de referencia, y la mesa de trazo esta conectada a él, al mover la mesa trazadora alrededor del modelo, las coordenadas "X" y "Y" pueden ser leídas directamente en la escala graduada sobre los dos rieles del coordinatógrafo. Las elevaciones (coordenada "Z") pueden ser leídas directamente en el disco de la mesa trazadora.

Equipo electrónico especial permite que las tres coordenadas de cualquier punto, se muestren visualmente y se registren automáticamente en cinta magnética.

En esta era de computación se pueden registrar sistemáticamente las coordenadas "x", "y", y "z" de una densa red de puntos en el estereomodelo, obteniendo así el llamado modelo digital del terreno (DTM).

4.4 HISTORIA DE LOS INSTRUMENTOS MECANICOS

El problema de la claridad del enfoque óptico puede ser evitado completamente si los brazos mecánicos (como en el caso del estereoautógrafo), o las varillas, son utilizadas para realizar la proyección, y las fotografías son desplazadas en sus planos de tal manera que los puntos correspondientes de la imagen puedan ser puestos bajo las marcas de medición de un microscopio doble. Tal solución fue incorporada en el modelo K del estereoautógrafo.

En 1921, fue diseñado en Italia por Santoni un restituidor experimental llamado Autoreductor, que usa varillas espaciales, figura 4.8. Santoni diseñó en los siguientes años una gran serie de instrumentos de proyección mecánica.

En 1925, Santoni diseñó el Estereocartógrafo, y después el Estereosimplex, que fue construido en varios modelos modificados.

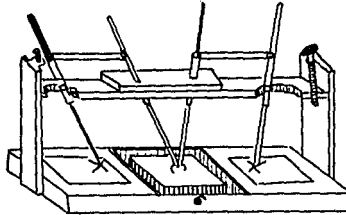


Figura 4.8 Autoreductor de Santoni.

Los fabricantes de restituidores aerofotogramétricos, cambiaron cada vez más a la proyección mecánica, ya que esta ofrecía la posibilidad de tomar ventaja óptimamente de una mejor calidad de imagen, por medio de observación frontal, en

la marca de medición al microscopio, tomando en cuenta tanto la interpretación de la imagen como el punteado de la marca de medición.

Los restituidores basados en la proyección mecánica también eran fáciles de entender por los usuarios, su fabricación era más sencilla, así como en su uso, y permitía una construcción más ligera y elegante.

Pronto, lograron también dichos restituidores, un impresionante grado de exactitud y desempeño general.

En 1936, Wild Heerbrugg produjo exclusivamente, instrumentos con proyección mecánica. Estos ya no eran construidos por el mismo Heinrich Wild, sino por sus empleados, entre los cuales estaban Blachut, Kasper, Löscher y Bormann. Se desarrollaron series de versiones modificadas del Autógrafo, el modelo A5 apareció en el año mencionado.

En 1938, se desarrollo el más simple Autógrafo modelo A6, construido por la Wild Company.

En 1949, aparece el modelo A7 del Autógrafo (figura 4.9), fue el instrumento de restitución análogo más importante que construyó Wild Heerbrugg. Se derivó el Autógrafo A5, con algunas modificaciones.

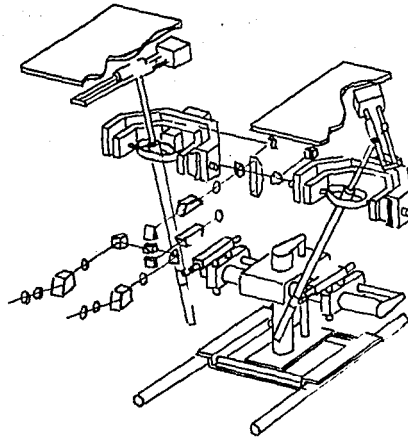


Figura 4.9 Autógrafo A7.

En 1950, la Sociedad de Óptica y Mecánica de Alta Precisión (S.O.M.), en París construyó el Estereotopógrafo D, diseñado por Poivilliers.

Instrumentos posteriores con proyección mecánica fueron producidos por el instituto CNIIGAİK, en Moscú.

En 1955, fue diseñado por Romanovski el Estereoprojector SPR-2.

En 1956, se diseñó por Drobyshev el Estereógrafo SD.

En 1958, la Sociedad de Óptica y Mecánica de Alta Precisión (S.O.M.), construyó el Estereofoto, en París.

En 1960, Jenoptik, en Jena, construyó el Estereometrógrafo.

En el mismo año la Kern Company, en Aarau, produjo el PG2.

En 1964, la Sociedad de Óptica y Mecánica de Alta Precisión, en París construyó el Presa 224.

En 1967, aparece el Planimat D3, construido por la Carl Zeiss Company, en Oberkochen.

V

CONCLUSIONES

La tarea fundamental de la fotogrametría es la recopilación de informaciones topográficas relevantes y su representación gráfica a una escala apropiada.

Los instrumentos restituidores fotogramétricos analógicos permitieron la ejecución económica de extensos proyectos cartográficos.

La evolución de las computadoras hizo renacer las soluciones analíticas a los problemas fotogramétricos, dichas soluciones analíticas ya eran conocidas en el pasado pero no había medios para su ejecución, hoy en día los restituidores analíticos realizan estas soluciones minimizando el tiempo, y costo.

La producción de aparatos analógicos es más costosa que los analíticos, lo que hace que desde mediados de la década pasada dejaran de producirse, pero esto no significa que dejen de usarse.

Sin embargo, la vigencia de los aparatos analógicos será permanente en el área de la enseñanza, debido a que este tipo de instrumentos son útiles para este fin, en los cuales se puede entender el fenómeno físico que se va a representar matemáticamente.

BIBLIOGRAFIA

American Society of Photogrammetry, "Manual of Photogrammetry"

Church Earl, Quinn Alfred O., "Elements of Photogrammetry"

Davis, "Instrumentos Estereoscópicos"

Instituto Panamericano de Geografía e Historia, "Revista Cartográfica N°45"

Kilford, "Elementary Air Survey"

M. en C. Lutho García Gualterio, "Fundamentos de Fotogrametría"

M. en C. Lutho García Gualterio, "Apuntes de Fotogrametría II"

Moffitt Francis, Mikhail Edward, "Photogrammetry"

Talley and Robbins, "Photographic Surveying"