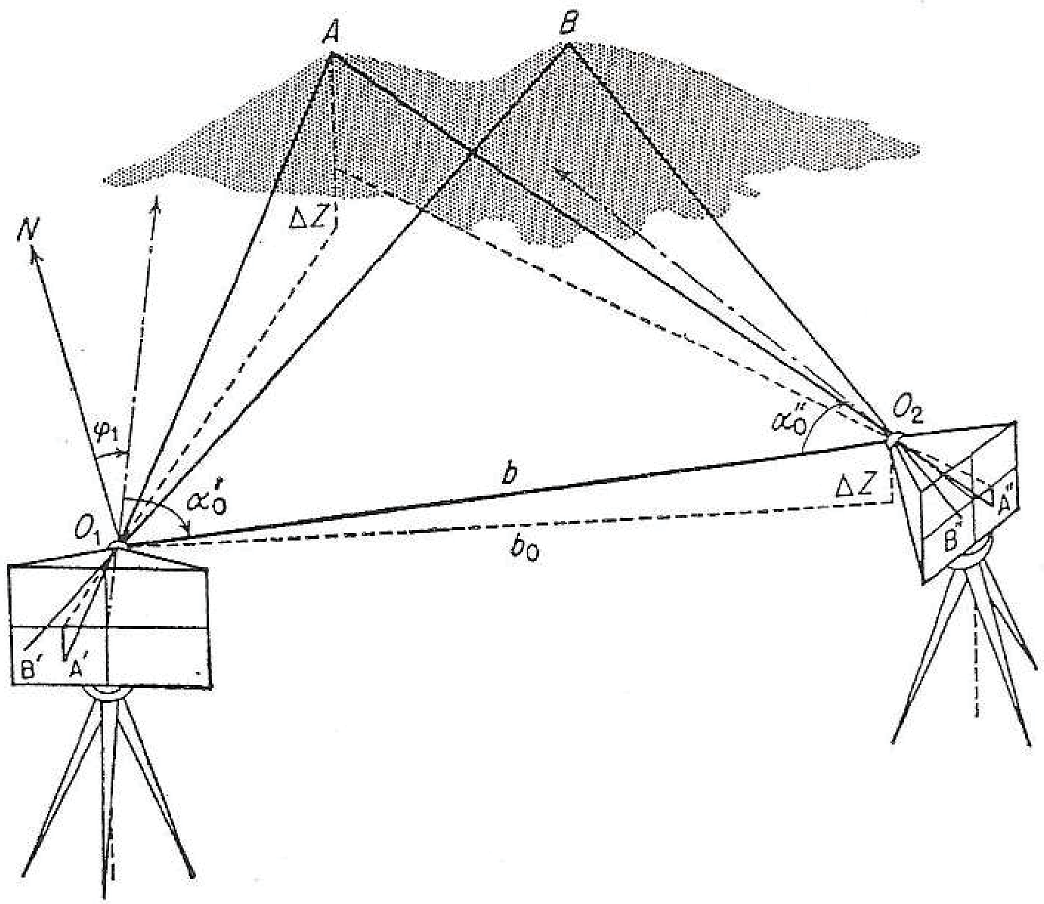
TEMA 7

PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE

7.1.1- EL MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE

La fotogrametría deriva a partir de representaciones terrestres con la utilización de representaciones perspectivas de determinados objetos desde varios puntos de observación. Es decir, la fotogrametría terrestre con fines cartográficos comenzó a aplicarse en la última mitad del S. XIX. Después de los trabajos de Laussedat (1854) y del General Terrero (1862), se inician una serie de ensayos que culminan con el que se puede considerar con el primer levantamiento que se realiza por fotogrametría terrestre, el plano a $E = 1/200.000$ de una extensa zona de las Montañas Rocosas, levantado por el francés Deville.

El método utilizado se basa en la fotogrametría de intersección, mediante el cual se determina la posición de un punto en el terreno, por intersección directa desde dos puntos correlados.



Estos puntos son los centros de estación y las direcciones se obtienen a partir de las fotografías. La dificultad del procedimiento, estriba fundamentalmente, en la magnitud que debe tener el distanciamiento entre los puntos de estación para conseguir una precisión aceptable, y que el punto sea identificable en las respectivas fotografías de toma.

Estos dos condicionantes presentan soluciones contrapuestas. La precisión de la intersección exige base grande y la identificación de puntos homólogos, requiere una base pequeña.

Hasta 1901 no se obtiene la solución del problema, cuando la firma Zeiss construye el estereocomparador de Pulfrich, en el que mediante un índice móvil, se permite identificar puntos homólogos en un modelo estereoscópico.

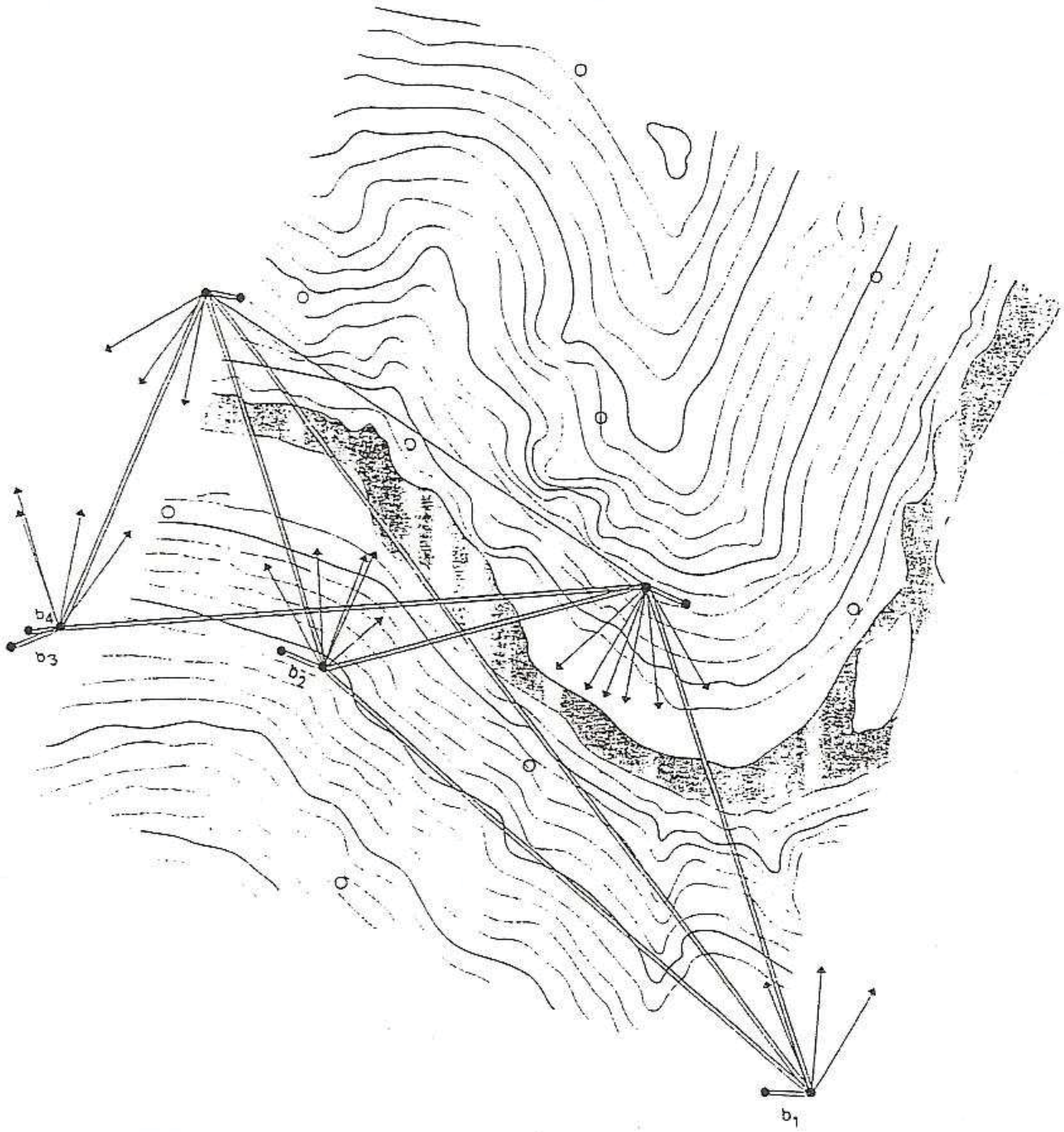
Basándose en estas técnicas, durante la 1ª guerra mundial, se ensayó la fotogrametría aérea, relegando a la terrestre a un segundo plano, pero complementándose en muchas ocasiones para levantamientos de planos a gran escala. Obteniéndose gran importancia cuando la toma fotogramétrica aérea no puede obtenerse o por su reducido tamaño no merece la pena el elevado coste de vuelo, siendo importantes los levantamientos de presas, glaciares …

Actualmente los principios de la fotogrametría terrestre han vuelto a resurgir, para microfotogrametría y levantamiento de monumentos para patrimonio principalmente.

Para proyectar un levantamiento por fotogrametría terrestre, Deberemos proyectar de antemano el número de fotografías que necesitaremos para tener toda la superficie estereoscópicamente. Para ello atenderemos al tipo de levantamiento:

- Fachadas de edificios.
- M.D.T. de monumentos.
- Superficie terrestre (minas…)

Según el caso será necesario proyectar y observar una triangulación o en su defecto un poligonal, completando en algunos casos la red con intersecciones inversas, de forma que en la base escogida podamos situar la cámara y así fotografiar la mayor parte del espacio visible.



Lógicamente, las bases consecutivas, se encontrarán aproximadamente al mismo nivel para el aprovechamiento del fotograma.

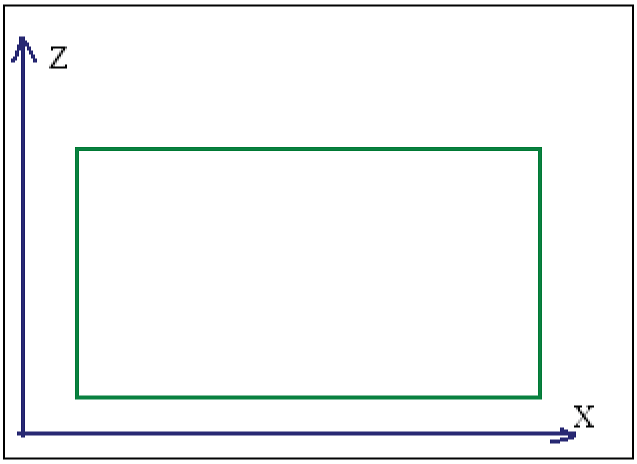
Actualmente la forma de trabajar no requiere el conocimiento previo de las coordenadas de los centros de proyección, obteniéndose a partir de los puntos de apoyo, obtenidos por métodos topográficos.

La fotografía terrestre está sufriendo un cambio muy brusco debido al láser-escáner, el cual sustituirá a la foto terrestre definitivamente cuando se abarate.

El láser-escáner no sirve para aristas.

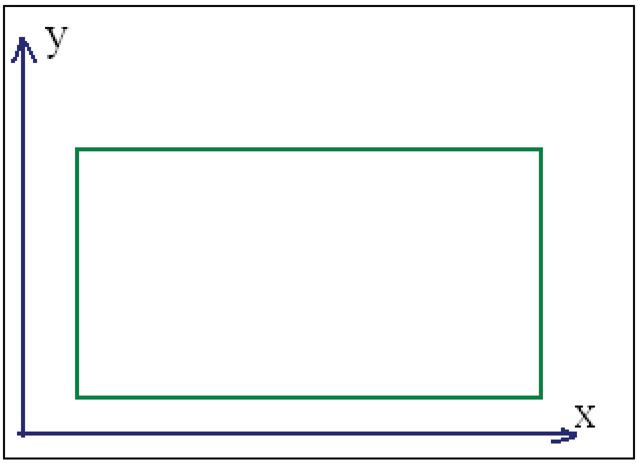
Para hacer un levantamiento con foto terrestre lo primero es definir 2 puntos y asignarles coordenadas. Luego definir las coordenadas de los centros de proyección y luego definir las coordenadas de los puntos de apoyo para definir los ejes.

El objeto queda definido así en terrestre:



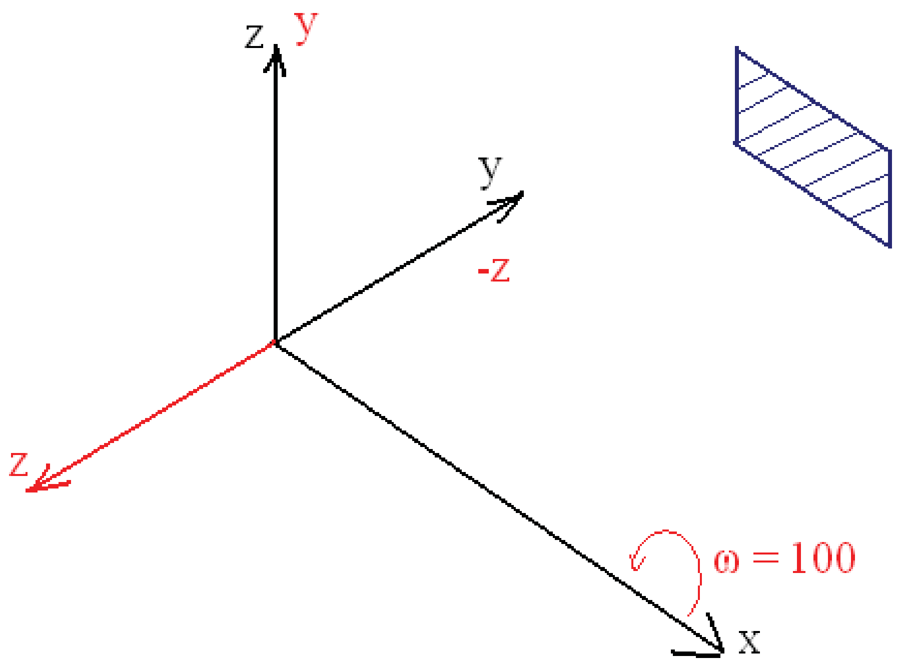
La y es la profundidad.

En aérea, en cambio, queda definido así:



La colimación debería hacerse en y ya que la intersección de rayos homólogos se hace en y. Esto obligaba a desmontar los restituidores analógicos para adaptarlos.

Los restituidores analíticos tienen la posibilidad de hacer $\omega = 100$ para fotos terrestres.

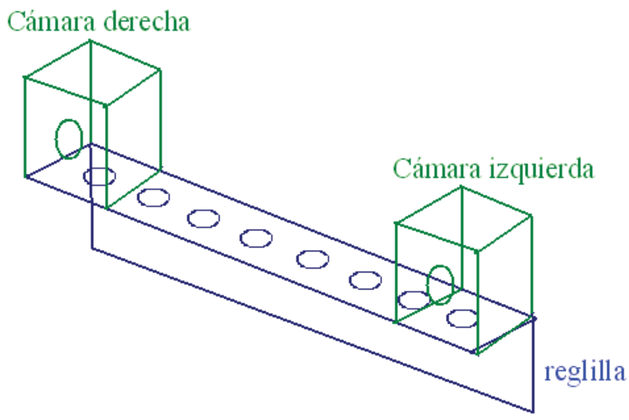


Para hacer el giro solo tengo los puntos de apoyo ya que no tengo el punto principal definido.

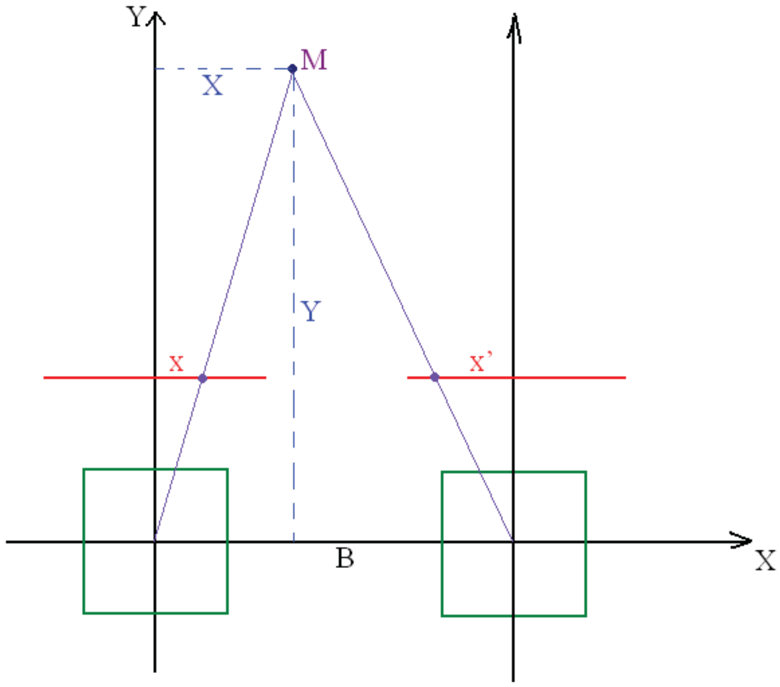
El centro de proyección se hace por intersección inversa con una resección espacial con los puntos de apoyo en el terreno y en el fotograma. También se puede definir el CDP con un GPS y un inerciómetro.

Cuando ya están hechas las fotografías y he obtenido las coordenadas de los puntos de apoyo, hay que girar los puntos de apoyo a un sistema que corresponda a aéreo, teniendo en cuenta que es un sistema de coordenadas local para ese fotograma.

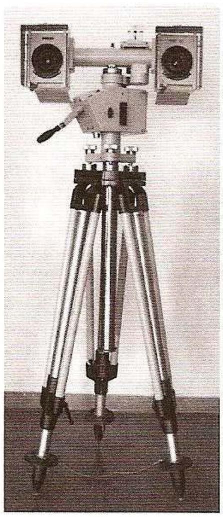
En resumen; hay que conseguir que se parezca lo máximo posible a un sistema de fotografía aérea.

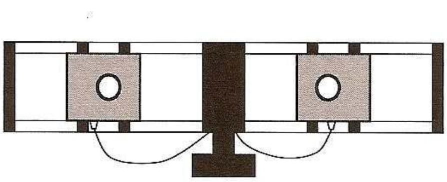


Esto es para tomar fotografías estereoscópicas en tiempo real.



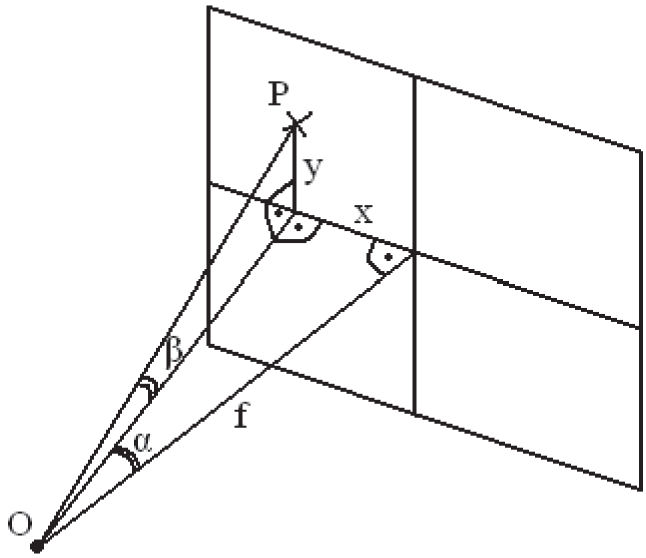
Esto es la cámara SMK, es una cámara estereoscópica muy útil para obtener fotogramas de objetos en movimiento.





7.1.2- Relaciones matemáticas de la fotogrametría terrestre:

Si midiéramos en un solo fotograma, podríamos obtener las coordenadas cliché de un punto de las relaciones:



$$\left.\begin{array}{l} tg\alpha = \dfrac{x}{y} \\ tg\beta = \dfrac{y}{\sqrt{x^2 + f^2}} \end{array}\right\}$$

$$\boxed{x = f \cdot tg\alpha;}$$

$$tg\beta = \frac{y}{\sqrt{\underbrace{x}_{x=f\cdot tg\alpha}{}^2 + f^2}} = \frac{y}{\sqrt{f^2 \cdot tg^2\alpha + f^2}} = \frac{y}{f\sqrt{tg^2\alpha + 1}} = \frac{y}{f\sqrt{\dfrac{sen^2\alpha}{\cos^2\alpha} + 1}} =$$

$$= \frac{y}{f\sqrt{\dfrac{sen^2\alpha + \cos^2\alpha}{\cos^2\alpha}}} = \frac{y}{\dfrac{f}{\cos^2\alpha}\sqrt{\underbrace{sen^2\alpha + \cos^2\alpha}_{1}}} \Rightarrow$$

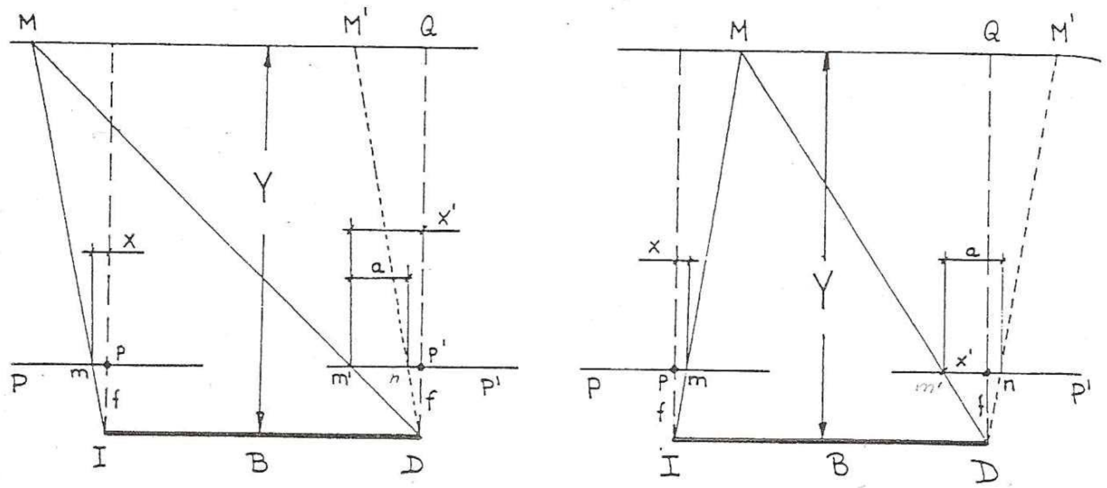
$$\boxed{y = \frac{f}{\cos\alpha} \cdot tg\beta}$$

Para poder obtener las coordenadas terreno de un punto según el método estudiado, es necesario obtener la impresión fotográfica en al menos dos fotogramas tomados con una cierta separación denominada

base, de forma que dos fotogramas consecutivos contengan una zona común del terreno denominada **recubrimiento**.

Según la disposición de dos fotogramas estereoscópicos, la toma será:
- Normal.
- Desviada.
- Convergente.

7.1.2.1- Toma normal:



Será cuando las direcciones de toma de cada fotograma sean paralelas entre sí, y perpendiculares a la base (caso de las estereocámaras).

Sean dos fotogramas P y P' tomados desde I y D respectivamente, M un punto del terreno (se muestran dos casos), con p y p' los puntos principales de cada placa, se tiene:

$$x = m \cdot p \qquad\qquad x' = m' \cdot p'$$

FOTO IZQ FOTO DCHA

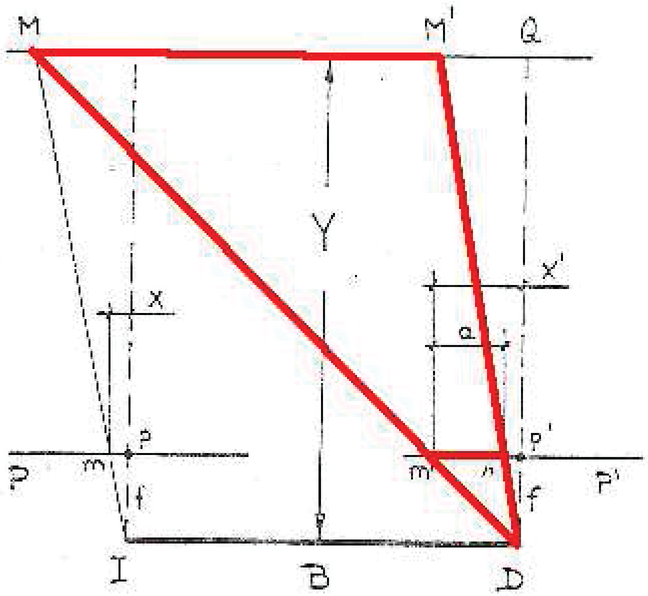
La diferencia de ambas será el paralaje de dicho punto:

$$a = p_a = x - x'$$

(Izquierda – derecha)

Trazando una paralela a IM, obtendremos DM, permitiendo hacer las relaciones.

$$Dm'n \,\square\, DMM'$$



$$\frac{\overline{MM'}}{\overline{m'n}} = \frac{\overline{DQ}}{\overline{Dp'}}$$

Siendo:

$\overline{MM'}$ = Base

$\overline{m'n} = a = p_a$

$\overline{DQ} = Y$ (distancia al plano de frente).

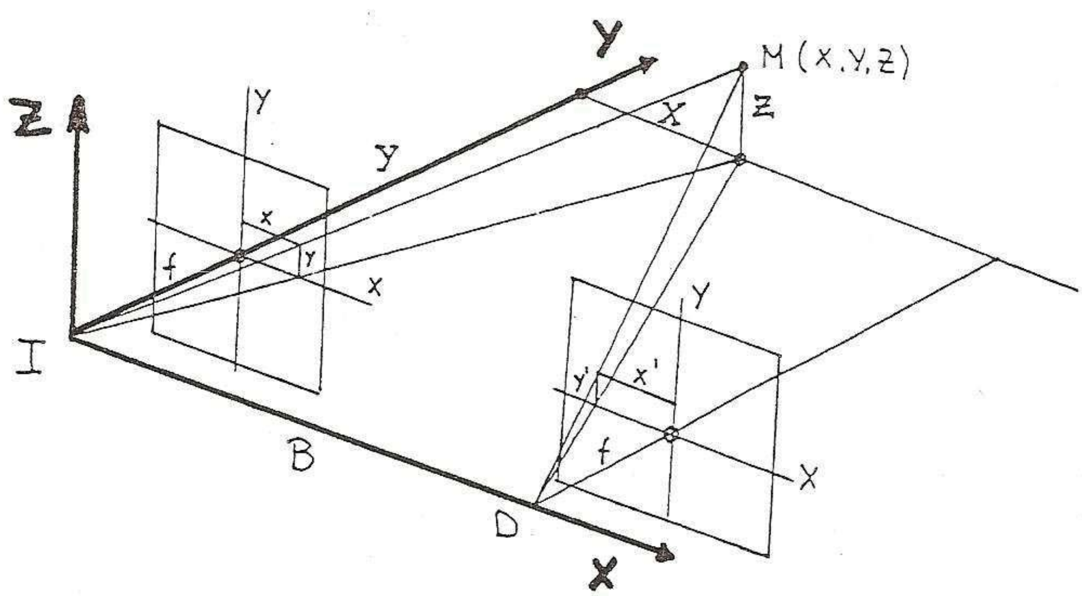
$\overline{Dp'} = f$

Resultando:

$$\frac{B}{a} = \frac{Y}{f} \Rightarrow \boxed{Y = \frac{B \cdot f}{a}}$$

Ecuación fundamental de la fotogrametría estereoscópica que define la distancia a un plano de frente en función de la paralaje.

Sea un sistema de ejes cartesianos con origen en I foco del fotograma director.



Para un punto M del espacio se tienen las siguientes relaciones:

$$\frac{X}{x} = \frac{Y}{f}; \qquad X = \frac{x}{f} Y$$

$$\frac{Z}{y} = \frac{Y}{f}; \qquad Z = \frac{y}{f} \cdot Y$$

Sustituyendo el valor obtenido antes para Y:

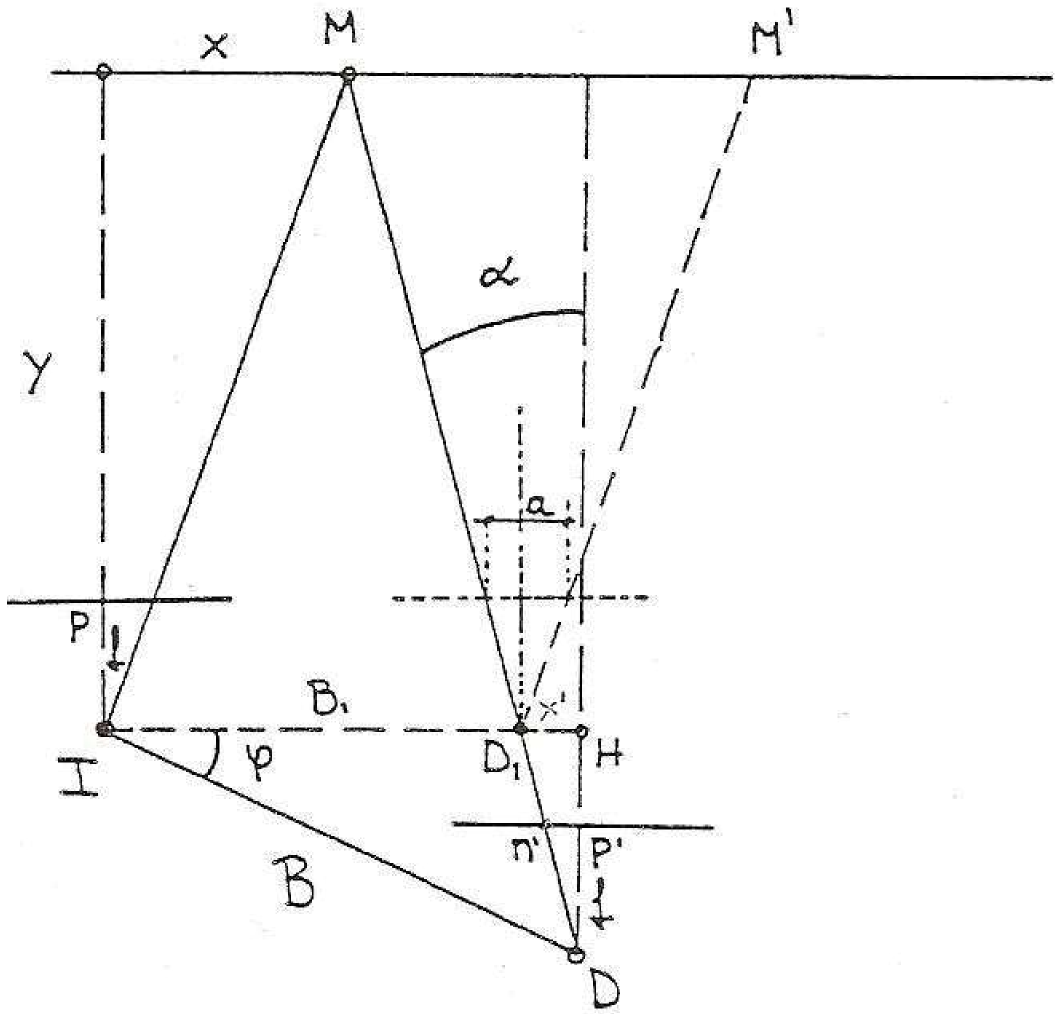
$$X = \frac{x}{f} \cdot \frac{B \cdot f}{a} = \frac{B}{a} \cdot x$$

$$Y = \frac{B}{a} \cdot f$$

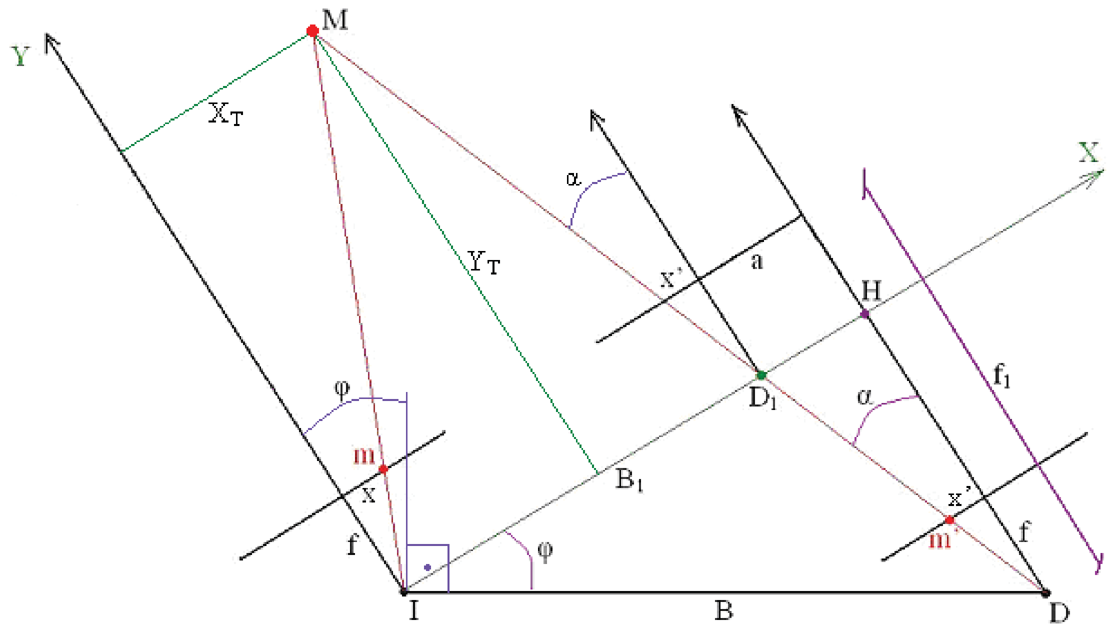
$$Z = \frac{y}{f} \cdot \frac{B \cdot f}{a} = \frac{B}{a} \cdot y$$

Ecuaciones fundamentales de la fotogrametría estereoscópica.

7.1.2.2- Toma desviada.



Tal vez en este dibujo se vea mejor:



Las direcciones principales de cada toma son paralelas entre sí, pero no perpendiculares a la base.

El fin es conseguir un sistema como el de toma normal, para ello trasladamos D a lo largo de DM hasta D_1, teniendo las relaciones:

$$Y = \frac{B_1 \cdot f}{p_a} \qquad B_1 = IH - D'H \begin{cases} IH = B \cdot \cos\varphi \\ D'H = \underbrace{DH}_{sen\varphi = \frac{DH}{B}} \cdot tg\alpha = B \cdot sen\varphi \cdot tg\alpha \end{cases}$$

1ª fórmula:

$$B_1 = B\left(\cos\varphi - sen\varphi \cdot tg\alpha\right)$$

Como:

$$tg\alpha = \frac{n'p'}{f} = \frac{x'}{f}$$

Podemos sustituir:

$$B_1 = B\left(\cos\varphi - sen\varphi \cdot \frac{x'}{f}\right) = \frac{B}{f}\left(f \cdot \cos\varphi - x' \cdot sen\varphi\right)$$

Sustituyendo en $Y = \frac{B_1 \cdot f}{p_a}$:

$$Y = \frac{B}{p_a}\underbrace{\left(f \cdot \cos\varphi - x' \cdot sen\varphi\right)}_{f_1} \qquad \rightarrow \qquad Y = \frac{B}{p_a} \cdot f_1$$

Para poner con su signo x':

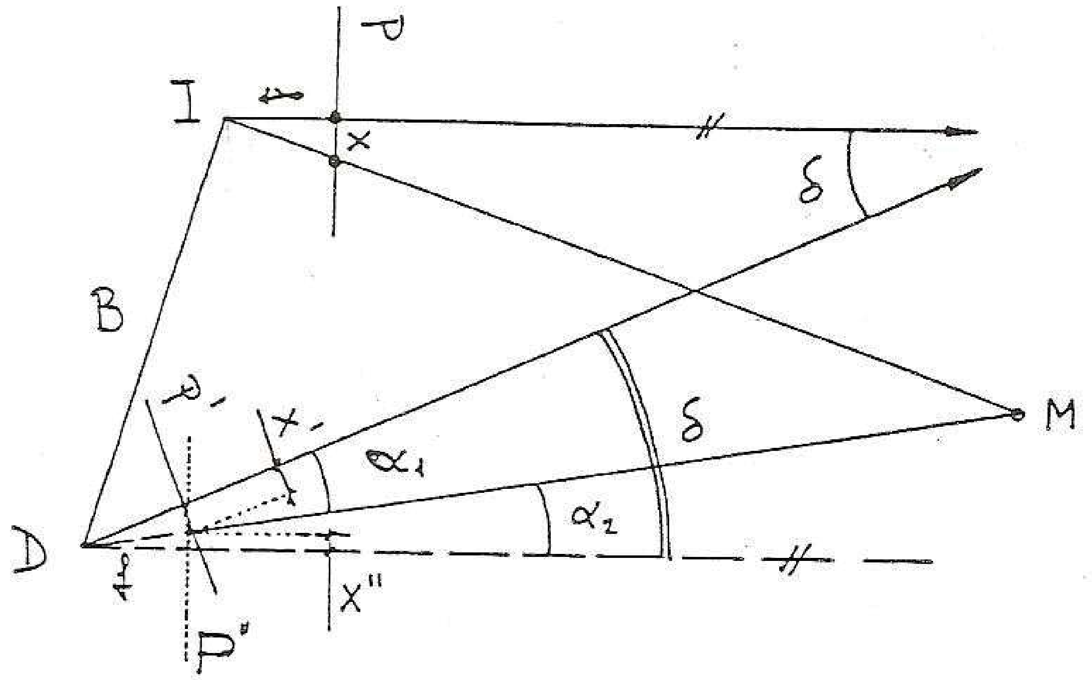
$Y = \frac{B}{a}\left(f \cdot \cos\varphi - x' \cdot sen\varphi\right)$ → toma desviada a la derecha.

$Y = \frac{B}{a}\left(f \cdot \cos\varphi + x' \cdot sen\varphi\right)$ → toma desviada a la izquierda.

$$X = \frac{B \cdot x}{P_a} \qquad Z = \frac{B \cdot y}{P_a}$$

7.1.2.3- Toma convergente.

Las direcciones de toma de cada fotograma, no son paralelas entre sí, ni perpendiculares a la base.



Se transformará de toma convergente a toma desviada, calculando el valor de x'' que será la coordenada x en el fotograma derecho, una vez realizado el giro correspondiente. Pudiendo de esta forma medir paralajes.

Observando la figura:

$$tg\alpha_1 = \frac{x'}{f} \Rightarrow \alpha_1 = arctg\frac{x'}{f}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \delta \Rightarrow \alpha_2 = \delta - \alpha_1 = \delta - arctg\frac{x'}{f}$$

$$tg\alpha_2 = \frac{x''}{f} \Rightarrow x'' = f \cdot tg\alpha_2 = f \cdot tg\left(\delta - arctg\frac{x'}{f}\right)$$

$p_a = x - x''$ (Cuidado con los signos de x'')

7.1.3- Apoyo fotogramétrico.

Para poder dotar de escala al modelo estereoscópico, tomaremos sobre el terreno por métodos topográficos las coordenadas de unos puntos situados estratégicamente para que "cubran" la mayor zona de modelo estereoscópico posible.

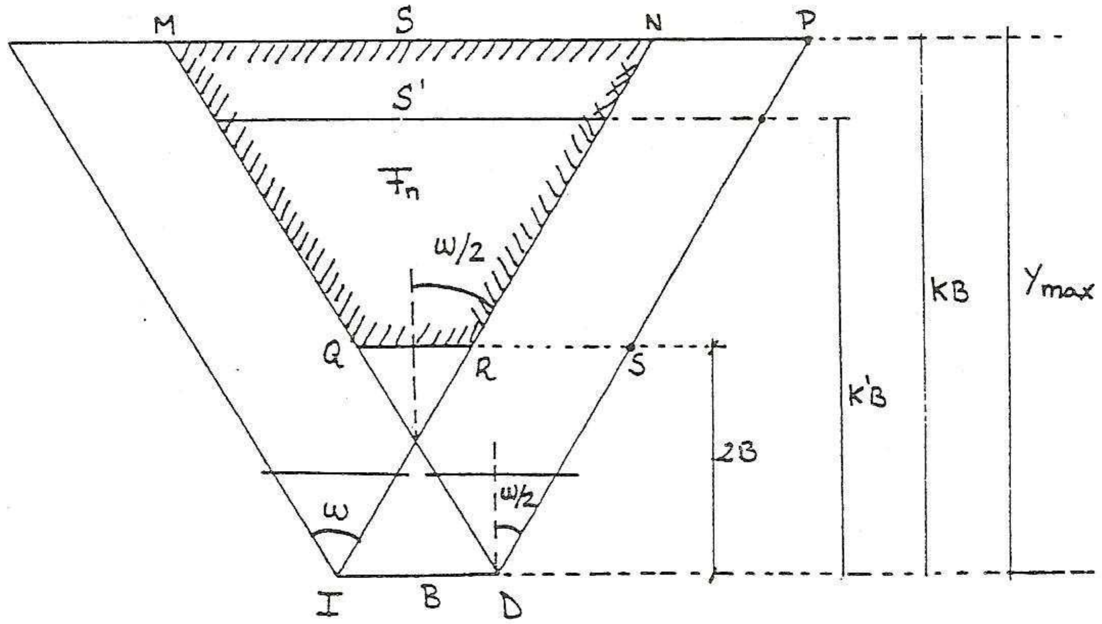
Según el tipo de levantamiento fotogramétrico se tomará una distribución de puntos de apoyo determinada. A saber:

- Toma de fachada.
- Toma de monumentos (3D).
- Toma de terreno.

- Para el caso de fachadas habría que hacer un planeamiento de la distribución de los fotogramas en función del ángulo de apertura de la cámara y de la distancia a la fachada, para así, situar con pegatinas los puntos de apoyo, o seleccionar elementos bien definidos de la fachada.

- Para monumentos y objetos en 3D se hará lo que se pueda.

- Para la superficie terrestre, lo correcto es hacer un planeamiento de la distribución de los solapes y así repartir las placas de puntería. Para esto se necesita conocer la geometría del modelo estereoscópico que conseguimos con nuestra cámara.



Conociendo la superficie de recubrimiento, podemos conocer el número de tomas necesarias.