

## RESTITUCION FOTOGRAMETRICA

El aprovechamiento estereoscópico de imágenes fotogramétricas se lleva a cabo mediante un proceso denominado “Estéreo-Restitución” o “Restitución Fotogramétrica”, que involucra un conjunto de tareas específicas cuyo resultado final es un producto gráfico y/o numérico que, en forma abstracta, representa al objeto fotografiado.

Cuando el objeto de la aplicación es la superficie terrestre, el producto final es el mapa o la carta topográfica. La restitución constituye un proceso clave, cuyos resultados podrán ser utilizados en proyectos, cálculos específicos, modelaje de superficies, etc.

Desde el punto de vista del uso, es importante destacar que *la escala* del mapa define los límites de su utilidad. Citando como ejemplo proyectos de catastro urbanos que requieren cartografía actualizada a escala grande (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:2500) o anteproyectos viales donde es necesaria cartografía a escalas (1:1000, 1:5000), en tanto que proyectos de planificación regional requieren cartografía a escala media (1:10000, 1:20000, 1:25000, 1:30000).

Técnicamente, el principio básico de la restitución es recomponer espacialmente los haces de rayos que componen el par fotográfico, tal como ellos estuvieron ubicados en el momento de la toma fotográfica. Esto es solamente posible en instrumentos llamados “Restituidores”, que permiten observar a través de un sistema óptico propio, un modelo tridimensional, virtual y a escala, del objeto fotografiado.

Estos instrumentos construidos en base a sistemas mecánicos y ópticos de alta precisión, que de acuerdo a sus características técnicas se dividen en: Analógicos, Semi-analítico y analíticos, permiten explorar y medir dicho modelo en sus tres dimensiones.

Con el transcurrir del tiempo, equipo y métodos, han sufrido la automatización propia de los avances tecnológicos, materializados en cambios generacionales del instrumental fotogramétrico, en la optimización del método y la calidad de los productos finales.

La utilización de ordenadores ha dado lugar a importantes cambios en la modalidad de trabajo, debido a que gran parte de las actividades es controlada desde sistemas informáticos cada vez más eficientes.

Actualmente esta tecnología, ha puesto a nuestro alcance *modernos métodos fotogramétricos digitales* donde, la precisión de la medición es un atributo de la imagen (digital) y no del instrumento restituidor disponible.

**Reconstrucción del Modelo:** Las operaciones básicas que permiten la reconstrucción de modelo son:

## Orientación Interior

## Orientación exterior

**Orientación Interna:** Rutina que permite la reconstrucción del haz de rayos que dio origen al fotograma. Requiere de parámetros propios de la cámara fotogramétrica, determinados en fábrica por calibración. Tales parámetros son:

Punto principal  
Distancia principal  
Distorsión del objetivo

Esta rutina se desarrolla en dos pasos: *Centrado del fotograma* y adaptación del instrumento a la *Distancia principal* correcta.

**El centrado del fotograma:** Se lleva a cabo ubicando la diapositiva fotográfica sobre el portaplacas del instrumento, haciendo coincidir las *líneas guía* con cada marca fiduciaria. Logrando, de esta manera, la coincidencia del punto principal de la imagen y del proyector.

**La distancia principal:** es un valor numérico que determina la separación entre el centro perspectivo y el plano imagen de la cámara métrica. Este dato se encuentra registrado en la información marginal del fotograma y debe reproducirse con exactitud en cada proyector del aparato de restitución.

En los restituidores de tipo analítico, todos parámetros de orientación interna se ingresan como información numérica que adopta el programa central, admitiendo además otros parámetros tales como: coeficientes de funciones que corrigen la distorsión de la lente, coeficientes de deformación del material fotográfico, etc. Los restituidores analógicos no tienen esta posibilidad.

**Orientación Relativa:** Rutina que permite recomponer la situación espacial que dos fotogramas consecutivos tuvieron en el momento de la exposición fotográfica. Condición esta, por la cual todos los rayos homólogos proyectados desde ambas imágenes, se interceptan para formar un modelo tridimensional virtual, semejante al objeto real.

Realizada la *orientación interna* de los fotogramas dispuestos en el restituidor, no es aún posible observar el modelo estereoscópicamente, debido a los desplazamientos diferenciales de los detalles del terreno en ambas imágenes. Estos desplazamientos, denominados "paralaje" son causados por el cambio posicional del centro perspectivo, en cada toma, y la variación altimétrica del relieve.

Tal paralaje, puede ser concebida como un *vector* que pertenece al *plano horizontal de proyección* de ambas imágenes, y por lo tanto puede descomponerse, según las direcciones perpendiculares "X" e "Y" de dicho plano.

La componente de paralaje sobre el eje “X” se denomina “px”. Puede eliminarse variando la altura del plano de proyección, en el restituidor. Este desplazamiento es de gran importancia ya que el mismo está relacionado con la variación altimétrica del relieve. Su determinación permite la medición de la coordenada “Z”

La componente de paralaje sobre el eje “Y” se denomina ‘py’. Se manifiesta como una incomodidad de observación en el restituidor ya que no permite buena visión estereoscópica, por lo tanto es necesaria su eliminación de todo el modelo.

La corrección “py” se realiza eliminando esta componente en 6 puntos distribuidos en la zona de superposición de ambos fotogramas. Siguiendo un método propuesto por Otto Von Gruber (1884-1942) de acuerdo con algunos principios de geometría proyectiva.

Una vez eliminadas las paralajes “py”, en los puntos de Von Gruber, la observación simultánea de las imágenes, reproduce al observador un modelo tridimensional virtual del objeto fotografiado. Este se conoce en fotogrametría como: “modelo plástico”, “modelo estereoscópico”, o simplemente “modelo”.

**Orientación Absoluta:** Rutina que permite reproducir la situación espacial de ambos fotogramas, como un conjunto, respecto al terreno. Tal situación se establece de acuerdo a los parámetros del sistema de coordenadas utilizado en la medición.

Dada la imposibilidad de conocer de antemano y con precisión la posición de exacta de cada haz de rayos, es necesario disponer de alguna información geométrica propia del objeto, para escalar y posicionar correctamente al modelo.

Esta información consiste en coordenadas espaciales de al menos tres puntos del objeto, no alineados y ubicados en el área que cubre el modelo. De esta manera se conforma el apoyo fotogramétrico que permite dar al mismo: rumbo, tamaño y nivelación.

Finalizado este proceso, el modelo está en condiciones de ser explorado y medido, obteniendo de él información planialtimétrica geo-referenciada.

**Apoyo Fotogramétrico:** Involucra todas las tareas *prevuelo y/o posvuelo* que permiten obtener la información de coordenadas necesaria de los puntos que servirán para el ajuste espacial de los modelos a restituir.

En rigor, tres puntos no alineados son condición necesaria y suficiente para orientación absoluta de cada modelo. En la práctica todo apoyo se diseña con, por lo menos, cuatro puntos que satisfacen la condición de control y permite el tratamiento de errores.

La obtención de puntos de apoyo exige arduas tareas de campo y costosas campañas, particularmente cuando la cantidad de modelos a restituir es demasiado grande o la zona es de difícil accesibilidad.

A los fines de densificar el apoyo en áreas extensas, reduciendo las tareas de campo y costos, se recurre a un proceso de gabinete donde se realiza la medición y registro de coordenadas de

determinados puntos en cada modelo. Estos luego son geo-referenciados a partir de un apoyo mínimo, mediante un proceso denominado *Aerotriangulación fotogramétrica*.

**Aerotriangulación Fotogramétrica:** Método fotogramétrico que permite la transferencia de coordenadas, a puntos que servirán de apoyo a la restitución, desde modelos con apoyo a modelos que no lo tienen, en tanto los mismos conformen fajas o bloques.

Este proceso se compone de las siguientes tareas:

Puntinado  
Medición  
Cálculo

**Puntinado de los fotogramas:** Dado que estos métodos requieren la ligazón de los modelos consecutivos ya sea para tratamientos en faja o en bloque, es imprescindible indicar en forma precisa e inequívoca la ubicación de los puntos que permiten la unión o “enganche” de los modelos.

Estos puntos, denominados “artificiales”, ubicados convenientemente en la zona de superposición de modelos consecutivos, se señalizan extrayendo de la emulsión del fotograma un diminuto bocado circular que, durante la observación del modelo, se muestra como un punto luminoso, permitiendo el correcto centrado de la marca de medición del instrumento fotogramétrico.

En contrapartida, los puntos identificados con algún detalle del objeto, se denominan “naturales. Estos deben ser ubicados estratégicamente en la faja o el bloque de modelos y funcionarán como apoyo de la aerotriangulación, con coordenadas en el sistema de referencia elegido. Cuando el apoyo es de tipo pos-vuelo se requiere la realización de monografías para la correcta localización de los mismos.

**Medición:** La medición de los fotogramas se puede realizar en instrumentos denominados monocomparadores o en estereocomparadores.

En los monocomparadores, aunque más precisos, la identificación de los puntos naturales es dificultosa, particularmente cuando de ser medido en varios fotogramas. Debido a ello, la máxima precisión en aerotriangulación se logra cuando la medición es realizada en estereocomparadores.

En la práctica se utilizan restituidores analíticos o restituidores analógicos de 1° orden provistos de salida numérica y dispositivos para la registración de coordenadas.

**Cálculo:** El cálculo de la aerotriangulación se realiza en ordenadores, mediante el uso de programas específicos, de acuerdo al método utilizado:

En Fajas  
Por Haces de Rayos  
Por Modelos Independientes.

Cualquiera de estos métodos, requiere compensación matemática para la distribución de los errores accidentales de la medición.

**Restituidor Fotogramétrico:** Es un instrumento de precisión cuya finalidad es la restitución estereoscópica de fotogramas aéreos o terrestres para el aprovechamiento gráfico o numérico de los mismos. Se compone por cinco sistemas básicos:

Sistema de observación  
Sistema de orientación  
Sistema de exploración  
Sistema de medición  
Sistema de referencia

Por su tecnología pueden clasificarse en:

Analógicos (Mecánicos, Ópticos, Óptico-Mecánicos)  
Híbridos (Analógicos Asistidos por ordenador)  
Analíticos (Mecánico con soporte informático)  
Digitales (Sistema informático)

Por su precisión se clasifican:

1° orden (Aerotrianguladores)  
2° orden (Topográficos)  
3° orden (Exploración estereoscópica)

**Restituidores Universales:** Son instrumentos muy versátiles que aceptan diferentes distancias focales y formatos de imagen, siendo útiles para trabajar con una amplia gama de escalas. Los de tipo No Universal, sus condiciones de trabajo son limitadas. En todos los casos el uso de este equipamiento fotogramétrico requiere de personal técnico calificado.

### Digitalización fotogramétrica

**Concepto:** Llamase así a aquellos procesos que permiten la obtención de *coordenadas numéricas planas o espaciales*, medidas a partir de imágenes fotogramétricas, para determinar la forma, posición y tamaño del objeto fotografiado.

La medición se realiza en instrumentos bi- dimensionales (tabletas o mesas digitalizadoras) o tri- dimensionales (restituidores y correladores de imágenes)

**Objetivos:** Proveer la información adecuada para lograr efectividad en la Producción de Cartografía Automatizada (PCA) y la generación de Modelos Digitales del Terreno (MDT). Estos procesos son posibles hoy, gracias a los actuales soportes informáticos, *hardware* y *software*, que permiten administrar y almacenar grandes volúmenes de datos, cuya confiabilidad depende de una óptima digitalización.

**Tipo de datos:** Vectoriales

**Producto de la digitalización:** Es un conjunto de valores numéricos, que representan la posición de elementos puntuales, discretamente distribuidos sobre la superficie del objeto.

El grado de discretización de estos elementos dependerá de:

Escala del material fotográfico.

Relieve del objeto.

Nivel de detalles a representar.

Precisión del instrumento para la adquisición de datos.

...é involucra tareas de: Selección, Captura de datos y Cálculo que deben ser cuidadosamente planificados para obtener una eficiente descripción del objeto.

En definitiva, se busca *una buena aproximación al objeto real con la menor densidad de datos*.

**Cuadro descriptivo:**

Objeto	Digitalización -2D	Digitalización -3D	Producto
Terreno	Fotograma	Modelo espacial	Modelo Numérico
Superficie real	Imagen Perspectiva - plana	Imagen virtual - 3D	Superficie virtual (2D / 3D)
<i>Detalle:</i> Continúo a escala macro	<i>Detalle:</i> Continúo hasta límite de resolución de la imagen	<i>Detalle:</i> Continúo hasta límite de resolución de la imagen	<i>Detalle:</i> Discreta

**Tipos de digitalización:** Se denomina *Relevamiento fotogramétrico numérico*, a todo proceso cuyo resultado es la obtención de coordenadas espaciales que describen al objeto en estudio. De acuerdo a la información contenida en los datos, se clasifican como:

*Planimétrico:* Definido por sus coordenadas (x,y)

*Planialtimétrico:* Definido por sus coordenadas (x,y,z)

**Estructura de los datos:** Estos datos pueden presentarse en forma de *listas numéricas codificadas ó gráficos vectoriales temáticos*.

En el caso de *listas*, el formato de los datos responde a una estructura simple de coordenadas planimétricas o planialtimétricas. En ambos tipos de relevamiento puede agregarse *atributos de especificidad* a la estructura del dato.

En el caso de *gráficos*, el formato de los datos responde a estructuras, relativamente complejas, que solo interpreta el controlador de dibujo. Tales estructuras contienen: Identificador (ID) del dato, Información espacial (coordenadas) y varios atributos de representación (color, tipo de línea, nivel desagregación, etc.)

**Geo-referenciación:** Cuando el objeto del relevamiento es la superficie terrestre, se debe tener en cuenta que la misma está convencionalmente asociada a una elipse de revolución denominado *Geoide*, cuyo sistema de coordenadas permite la referenciación de todo hecho localizado en su superficie.

Dada la semejanza de este cuerpo con una esfera, es posible referenciar tales hechos mediante los parámetros: *Latitud y Longitud*, con sus orígenes en el Ecuador terrestre y el meridiano de Greenwich respectivamente. Este sistema de coordenadas denomina *Sistema Geográfico*.

Cuando la superficie de estudio es de reducidas dimensiones es conveniente el uso de proyecciones cartográficas planas, que utilizan sistemas de coordenadas rectangulares facilitando la localización.

Las ciencias cartográficas se ocupan de la representación y conversión entre sistemas, basándose en transformaciones matemáticas que, mediante complejos algoritmos, convierten sistemas esféricos en planos y viceversa.

$$\text{Geodésico } (\varphi, \lambda, z) \Leftrightarrow \text{Rectangular } (x, y, z)$$

**Modos de Relevamiento:** En función del equipamiento disponible y del recurso de programas para la adquisición de datos, gráficos o numéricos, es posible optar por alguno de los siguientes de los métodos:

**Curvas de Nivel:** Es una secuencia de datos discretos, cuya coordenada (z) se mantiene constante para describir la traza de intersección de un plano horizontal con el terreno.

Cuando el relevamiento se realiza en instrumentos analógicos asistidos por computador requiere de un modelo nivelado y a escala. Dicha traza puede ser cerrada o abierta.

La adquisición de los datos se realiza automáticamente, en función de un intervalo de distancia prefijado, controlado por el dispositivo de registración o el computador.

**Grillas regulares:** Distribución uniforme de datos, dispuestos planimétricamente en forma triangular o rectangular de igual densidad.

En instrumentos analógicos asistidos, se obtienen mediante recorridos lineales paralelos a uno de los ejes del instrumento (X ó Y). La adquisición de los datos, se realiza en forma automática manteniendo, con exactitud, el espaciado entre los puntos a lo largo de la línea o perfil.

**Grillas Irregulares:** Responde a una distribución planimétrica uniforme, con densidad variable en función al relieve del objeto.

La adquisición de los datos, se realiza automáticamente, siendo el sistema mismo quien define donde densificar los datos a partir de algunos parámetros iniciales. Se utiliza en instrumentos analíticos y/o digitales, aunque estos últimos disponen de recursos de automatización que tienden a prescindir, parcialmente, del operador.

**Perfiles:** Es una secuencia de puntos discretos alineados, donde la dirección del alineamiento es fijada de acuerdo a la estrategia del relevamiento.

Operativamente, cuando el relevamiento sea en modo dinámico, es aconsejable alinear los perfiles según el eje "Y" para evitar que el movimiento interfiera con la determinación de paralaje "px".

**Puntos discretos:** Distribución al azar de puntos que representan características notables de la superficie en estudio. Su adquisición está basada en el criterio y experiencia de quien realiza el relevamiento

**Cadenas:** Secuencia de puntos que representan líneas notables de la superficie en estudio. Su adquisición en modo automático, esta basada en criterios predefinidos.

La adquisición de los datos, se realiza de acuerdo a un intervalo de distancia que es controlado por el dispositivo de registración o el computador.

Pueden tener mayor densidad de datos que el resto del relevamiento, ya que son utilizadas para definir características importantes del objeto.

## Bibliografía

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Photogrammetry** – 4<sup>o</sup> Edición –.1980 - Virginia – U.S.A.

JOHN CAMPBELL. **Introductory Cartography** — Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey 07632. U.S.A.

ALBERTZ KREILING. **Manual Fotogramétrico de Bolsillo** – Herbert Wichmann Verlag-Karlsruhe - 1975 - Germany

ANGEL MANUEL FELICÍSIMO. **Modelos Digitales del Terreno** — Pentalfa Ediciones. Apartado 360 / 33080 - Oviedo - (España).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN - **Desarrollo de un Sistema de Modelos Digitales del Terreno (DTM) y su Aplicación a la Glaciología**. Informe de proyecto - 1989 - San Juan - Argentina

CHUECA PASOS, N. **Topografía. Tomos I y II**. – 1982 – Editorial Dossat, S.A. – 1982 - Madrid – España.

GOLDEN SOFTWARE INC. - **Manual del Usuario Programa SURFER. Verión 6.4**. 1987. U.S.A.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN - **Cartografía Digital desde Procesos Fotogramétricos – Parte I. – Desarrollo de técnicas de relevamiento fotogramétrico numérico para mapeo automatizado** - Informe de proyecto - 1994 - San Juan - Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN - **Cartografía Digital desde Procesos Fotogramétricos – Parte II - Aplicaciones y alcances de la modelación digital de terrenos en la producción cartográfica** - Informe de proyecto - 1999 - San Juan - Argentina