



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE CARRETERAS (REPLANTEO
DE UN EJE) POR EL MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL.”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

Jonathan Silva Espinosa

ASESOR:

M.I. Luis Manuel Pérez Alcalá

Morelia, Mich., AGOSTO DE 2013.



“Los adelantos tecnológicos y científicos están revolucionando al mundo entero, adelantos que no son producto de la casualidad, sino de la dedicación y el empeño de los hombres por aprovechar y optimizar mejor los recursos que nos brinda la naturaleza, así como su anhelo de tratar de dejar una huella de su paso por este mundo, huella que pueda ser vista y al mismo tiempo seguida por los hombres que le antecedan, para que así, todos juntos con nuestras huellas podamos dejarles un camino mejor a las futuras generaciones”.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por darme el mejor regalo “MIS PADRES Y LA VIDA”

A MIS PADRES:

EN ESPECIAL A MI MADRE MARTHA ESTELA POR SU SACRIFICIO HECHO EN LOS AÑOS TRANSCURRIDOS DURANTE EL ESTUDIO Y POR ENSEÑARME QUE DESPUÉS DE TODO SACRIFICIO HAY UNA GRAN RECOMPENSA. A MI PADRE FERNANDO POR SU MOTIVACIÓN DE SEGUIR ADELANTE SIEMPRE.

A MI ESPOSA PATRICIA Y A NUESTRO HIJO EMILIO:

Por tu amor, comprensión, tolerancia, paciencia y esfuerzo, por compartir tu vida y tu tiempo conmigo y para Emilio, por tomar mi mano y apretarla fuerte cuando las cosas no andaban muy bien.

A Emilio por enseñarme a sentir que vivir es más que solo caminar y respirar y por iniciar en mí el valor de la responsabilidad.

A MI ASESOR:

Ing. Luis Manuel Pérez Alcalá, por la atención prestada para la realización de la presente y en reconocimiento a su espíritu de servicio a los demás.

AGREDECIMIENTOS ESPECIALES A LOS INGENIEROS:

Ricardo Saavedra

Contenido

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.- OBJETIVO DE ESTE TRABAJO DE TESIS	2
I.2.- PROLOGO.	3
Capítulo II FUNDAMENTOS SOBRE FOTOGRAMETRIA.	6
II.1.- GENERALIDADES SOBRE FOTOGRAMETRIA.	7
II.1.1.- CLASIFICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA.	7
II.2.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE LA FOTOGRAMETRÍA.	11
II.3.- EL DESARROLLO DE LA FOTOGRAMETRIA EN MÉXICO.	16
II.4.- GENERALIDADES SOBRE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.	20
II.4.1.- La Fotografía Aérea como Sistema de Información.....	20
II.4.2.-Algunas Aplicaciones de las fotografías aéreas:	20
II.5.- Escalas de las Fotografías.....	25
II.6.- Etapas que integran el proceso fotogramétrico.	34
II.6.1.- EL PLAN DE VUELO FOTOGRÁFICO.....	39
II.6.2.- LOS RECUBRIMIENTOS NECESARIOS EN LAS FOTOGRAFÍAS.....	44
II.6.3.- EL PROYECTO DE VUELO FOTOGRÁFICO.....	46
Capítulo III LA FOTOGRAMETRIA MODERNA.	55
III.1.- INTRODUCCIÓN.....	56
III.2.- ETAPA DIGITAL	56
III.3.-ESTADO ACTUAL Y ÚLTIMAS TENDENCIAS.	57
III.4.- EJEMPLO DE UNA CÁMARA DIGITAL MODERNA	61
III.5.-Altimetría Láser –LIDAR.- El Sistema LH ALS40. LIDAR AEROTRANSPORTADO.....	70
III.5.1.- INTRODUCCIÓN.....	70
III.5.2.- APLICACIONES	77
III.5.3.- EL SISTEMA LH SYSTEMS ALS40	81
Capítulo IV LA RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.....	83
IV.1.- RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. (MÉTODO ANALÓGICO).....	84
IV.2.- SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL.	97
IV.2.1.- Introducción.....	97
IV.2.2.- COMPONENTES DE UN EQUIPO MODERNO DE CÓMPUTO PARA REALIZAR LA RESTITUCIÓN.	102

IV.2.2.1.- LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.....	102
IV.2.2.2.- LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA EN LA FOTOGRAMETRÍA.....	103
IV.2.3.- LAS ETAPAS QUE COMPRENDE ESTA METODOLOGÍA DE TRABAJO SON:.....	105
IV.2.4.- ELIMINACIÓN DE ERRORES EN LAS IMÁGENES:	107
IV.2.5.- COMPILACIÓN DE DATOS:	112
Capítulo V PASOS GENERALES PARA EL REPLANTEO DE UN EJE CARRETERO USANDO LA FOTOGRAMETRÍA MODERNA.....	120
V.1.- ESTUDIOS DE LOCALIZACIÓN DE RUTA.....	122
V.1.1.- Estudios de Alternativas en Cartas Geográficas.	122
V.1.2.- LA CARTA TOPOGRÁFICA.....	123
V.2.- RECONOCIMIENTOS AÉREOS.	125
V.2.1.- PRIMER RECONOCIMIENTO AÉREO.	125
V.2.2.- OBTENCIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS A ESCALA 1:25,000.....	126
A) PRIMERA ETAPA FOTOGRAFICA.....	126
V.3.- SEGUNDO RECONOCIMIENTO AÉREO.	128
V.3.1.- ANTEPROYECTO SOBRE PLANOS TOPOGRÁFICOS RESTITUIDOS FOTOGRAMÉTRICAMENTE A ESC. 1:5,000.....	129
V.3.2.- DESARROLLO DEL ANTEPROYECTO:.....	131
V.3.3.- PROYECTO DEL APOYO TERRESTRE.	133
V.4.- CONTROL TERRESTRE.....	134
V.4.1.- PRESEÑALAMIENTO.	135
V.4.2.- MONUMENTACIÓN.....	135
V.4.3.- MEDICIÓN DE POLIGONALES.	139
V.4.4.- ORÍGENES Y CÁLCULO DE COORDENADAS.	139
V.4.4.1.- Orígenes de los Trabajos de Apoyo Terrestre	139
V.4.4.2.- Cálculo de Coordenadas de las Poligonales de Referencia.....	140
V.5.- PROYECTO DEL CONTROL TERRESTRE.	142
V.5.1.- CONTROL TERRESTRE PARA FOTOGRAFÍAS 1:10,000.....	145
V.5.2.- TOMA DE FOTOGRAFÍAS ESCALA 1:2,000	145
B) SEGUNDA ETAPA FOTOGRAFICA.....	145
V.5.3.- ESTUDIOS ESTEREOSCÓPICOS.	146
V.5.4.- RESTITUCIÓN DE LOS PLANOS A ESCALA 1:2,000.....	148

V.5.5.- ANTEPROYECTO SOBRE PLANTAS 1:2,000.....	148
Capítulo VI PROYECTO DEFINITIVO.	150
VI.1.-PROYECTO DEFINITIVO.	151
VI.2.-CONSIDERACIONES GENERALES DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.	152
VI.3.-CONTROLES GENERALES DEL PROYECTO.	152
VI.4.-MATEMATIZACIÓN DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.	153
VI.5.-TRAZO Y SEÑALAMIENTO DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA.	156
VI.6.-REPLANTEO DEL EJE DE PROYECTO.	157
VI.7.-MÉTODOS PARA REPLANTEAR.....	157
VI.8.- CÁLCULO DEL REPLANTEO.	159
VI.9.- TRAZO DE LA LÍNEA DE PROYECTO.	161
CONCLUSIONES	163
BIBLIOGRAFÍAS	165

Capítulo I.

INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, desde los caminos a base de piedra y aglomerante hasta nuestra época con métodos perfeccionados basándose en la experiencia que conducen a grandes autopistas de pavimento flexible o rígido.

Es por esto, que la tesis que se presenta, desarrollara el tema sobre uno de los métodos, el cual se refiere al trazo en base a una foto restitución, así como la supervisión topográfica de dicho eje de trazo con su relleno dando una descripción y mostrando un procedimiento sencillo los cuales explicaran como se lleva a cabo el replanteo de un eje de proyecto apoyándose en una fotografía aérea y esta posteriormente procesada y supervisada.

I.1.- OBJETIVO DE ESTE TRABAJO DE TESIS.

La elaboración de esta tesis contempla un objetivos primordial, que es poder dar al lector un conocimiento más amplio del replanteo en campo basándonos en un proyecto previamente diseñado sobre una foto aérea, condiciones y métodos que se emplean en el proyecto de una carretera a base de fotos aéreas. Mostrar además, de una manera clara y sencilla, los nuevos e importantes adelantos tecnológicos en lo que respecta al proyecto de vías terrestres, primordialmente en lo referente al uso de la fotogrametría, la fotointerpretación y el software utilizado hoy en día, dándose la teoría correspondiente así como el resultado que se obtiene con la aplicación de este método; dichos resultados se ilustraran en ejemplos reales.

No es mi objetivo el hacer de este trabajo un tratado sobre fotogrametría o sobre normas de proyecto, sino mas bien el elaborar, por decirlo así, una especie de guía general sobre el “PROCEDIMIENTO FOTOGRAFICO-DIGITAL EN EL ANTEPROYECTO DE UNA CARRETERA”, procedimiento que actualmente se aplica en la Dirección de Proyectos de Carreteras, dependiente de la Dirección General de Carreteras Federales (S.C.T.) guía la cual puede servir a toda aquella persona que se interese por este método de proyecto que esta poco a poco revolucionando, cada día más, la concepción que se tenía y/o se tiene de las vías terrestres en su etapa de proyecto.

I.2.- PROLOGO.

Los caminos del mundo son tan viejos como el hombre mismo y este los ha venido transformando al mismo tiempo que a su civilización y su cultura ya que a medida que esta avanza, los caminos se transforman para que cumplan mejor con los objetivos para lo que fueron creados.

Los caminos del mundo expresan el grado de desarrollo alcanzado en ese lugar, ya que entre las primeras veredas que el hombre trazo y las actuales autopistas, que son signo de la más alta civilización alcanzada, se extiende un abismo infinito de cultura como nos lo muestran los numerosos testimonios arqueológicos encontrados alrededor de todo el mundo, es por ello que por donde quiera que pase un camino...encontraremos desarrollo.

En el campo de la ingeniería, durante las últimas décadas, hemos presenciado un estimulante desarrollo en las diversas técnicas utilizadas para resolver, en forma cada vez más eficiente y sobretodo rápida los problemas a los que se enfrenta cotidianamente el ingeniero civil, tanto en el proyecto como en la construcción de diversas obras; obrasen donde es indispensable que los proyectos de las mismas sean optimizados al máximo empleando para ello las mejores técnicas y procedimientos que se encuentren a nuestro alcance, pues “ DE LA CALIDAD DE LOS PROYECTOS DEPENDE LA EFICIENCIA Y LA ECONOMIA DE LAS OBRAS”.

La aplicación técnica ingenieril en el campo de las vías terrestres provoca transformaciones cuantitativas y cualitativas en la fisonomía del territorio nacional, hace posible satisface urgentes necesidades de comunicación fomentando con ello la integración económica, política, social y cultural de la nación.

Para el desarrollo de nuestro país es necesario que cada día, en mayor grado, se fomente la construcción de más y mejores vías de comunicación terrestre, ya que éstas forman una parte importante de la infraestructura económica sobre la que se sustenta nuestra sociedad.

El ritmo de crecimiento y desarrollo de nuestra sociedad ha obligado al gobierno mexicano a incrementar en forma constante los paquetes y programas para la construcción de vías terrestres y en consecuencia ah sido aumentado continuamente el volumen de estudios y proyectos que se requieren para llevar acabo dichas obras.

Ya que la necesidad de contar con vías de comunicación terrestre es imperativo de tipo social y económico, corresponde en México a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) el proyecto, la construcción y la conservación de estas vías de comunicación.

Este entre otros motivos, es el que ocasionó el que, desde hace tiempo, se intentara obtener una automatización en el trabajo del proyecto de las vías terrestres, objetivo alcanzado por la S.C.T. desde el año 1963 al utilizar, la tecnología, relativamente moderna. Que combina el uso de la fotogrametría, la fotointerpretación y el cómputo electrónico, en la elaboración de muchos de sus proyectos tanto de carreteras como de ferrocarril.

La utilización de estas técnicas tiene grandes ventajas en cada una de las etapas del proyecto, pues permiten estudiar diferentes alternativas en áreas suficientemente amplias con adecuada precisión y con mucha mayor rapidez, economía y sobre todo con mucha mayor confiabilidad con respecto al método tradicional de proyecto de vías terrestres.

La FOTOINTERPRETACIÓN permite obtener de las imágenes fotográficas la información relativa a la geología, el uso del suelo actual, la geotecnia y la hidrología; informaciones necesarias para el proyecto de una carretera o bien de una vía férrea.

Con la FOTOGRAMETRÍA se obtiene la información referente a la topografía del terreno sobre el que se localizará la vía de comunicación. Esta información se obtiene ya sea en forma de modelos ópticos, mosaicos, ortofotos, en forma de planos convencionales con planimetría y altimetría o bien en forma de planos fotogramétricos graficados en forma digital.

El uso de software permite, por supuesto, efectuar con gran rapidez y economía la gran cantidad de cálculos que se deben realizar, facilitando con ello la optimización de los proyectos.

La solución de una elasticidad muy grande, provee al proyectista de vías terrestres de un arma muy poderosa , eliminando con ello la gran cantidad de cálculos rutinarios, lo que le permite dedicar ese tiempo ahorrado a darle más atención, a la determinación, con relativa facilidad, de una solución optima del proyecto, ello a través de un número suficiente de anteproyectos estudiados, lo que anteriormente representaba un volumen excesivo de trabajo lo que impedía prácticamente, en la mayoría de los casos, la optimización de los proyectos.

En general, el procedimiento fotogramétrico para el proyecto de carreteras, es prácticamente igual que para el de ferrocarriles, por lo que en este trabajo de tesis solo me ocupare en describir, de la manera más clara y sencilla posible, el procedimiento que se sigue actualmente en la D.G.C.F. (Dirección General de Carreteras Federales) para la realización del proyecto preliminar de una carretera.

Capítulo II.

FUNDAMENTOS SOBRE FOTOGRAMETRIA.

II.1.- GENERALIDADES SOBRE FOTOGRAMETRIA.

Antes de adentrarme en el amplio campo de la fotogrametría, debo contestar primero la siguiente pregunta:

¿Qué es la Fotogrametría?

Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.

Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

Por otra parte, la sociedad americana de fotogrametría y sensores remotos (ASPRS), tiene la siguiente definición, ligeramente más completa que la anterior: Fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas φωςphotos, que significa luz; γραμμα, gramma, que significa lo que está dibujado o escrito, y μετρον, metrón, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

II.1.1.- CLASIFICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA.

Fundamentalmente pueden distinguir dos sistemas fotogramétricos:

- Fotogrametría de una sola imagen.
- Fotogrametría sobre dos imágenes o estereofotogrametría.

En la fotogrametría de una sola imagen, se miden las coordenadas bidimensionales y posteriormente son transformadas en coordenadas tridimensionales.

En la estereofotogrametría se forma un modelo óptico tridimensional con un par de fotografías convencionalmente orientadas, fotografías que deben de cumplir con ciertos requisitos como por ejemplo: que sean fotografías consecutivas, que tengan un determinado traslape, determinado formato, etc. Se debe de hacer mención de que este procedimiento se hacía anteriormente al advenimiento de la era digital pero en pocas palabras y resumiendo toman los mismos principios.

También se suele clasificar a la fotogrametría de acuerdo al punto de estación desde donde se hicieron las tomas fotogramétricas, de acuerdo con esto, tenemos:

- Fotogrametría Terrestre

- Fotogrametría Aérea

La fotogrametría terrestre, se tiene cuando las cámaras fotográficas son fijadas sobre el terreno, esta fue inventada por Laussedat alrededor del año 1870; se emplea solamente hoy en día en casos especiales como en levantamientos en alta montaña, levantamientos a gran escala o en levantamientos en acantilados, grietas, cañones. Una aplicación muy importante la tiene en el campo de la arquitectura al ser utilizada para la realización de estudios sobre fachadas de edificios y en particular de monumentos históricos.

La fotogrametría aérea se obtiene cuando se cuenta con fotografías cuyos puntos de estación son aéreos, una de las aplicaciones más importantes de este tipo de fotogrametría se encuentra en el campo de la topografía.

Es conveniente señalar que en este trabajo de tesis solo se tratara lo referente a la fotogrametría aérea, por ser la que directamente se relaciona con el trabajo del proyecto fotogramétrico de vías terrestres.

Algunos autores consideran al a fotogrametría como parte de la Geodesia por su frecuente uso en la medición de la superficie terrestre; otros la consideran como especialidad de la geografía o de la cartografía; los demás la consideran como una especialidad de la física aplicada.

Ya en el campo de la topografía, se puede decir que quizá las ventajas principales de la fotogrametría comparada con otros métodos terrestres tradicionales consisten en:

- 1.- Levantamientos rápidos.
- 2.- Ejecución de las medidas sin tocar al objeto.
- 3.- Traslada el terreno al gabinete, permitiendo su análisis en condiciones más ventajosas, (infinitamente más rápido).El tiempo requerido para realizar un mapafotogramétrico es mínimo comparado con el que requiere el levantamiento topográfico y su posterior trabajo de gabinete.
- 4.- Eliminación del trazo de curvas de nivel por medio de interpolación ya que la fotogrametría nos da la facilidad de trazar directamente del modelo óptico.
- 5.- La variación en la altura de vuelo permite obtener imágenes con mucha resolución en detalles acorde a la finalidad que se persigue. El que obtiene la información en el campo siempre observa escala 1:1.
- 6.- Reducción de costos, está relacionado con el tamaño del área a restituir. a partir de las 200 ha. de superficie, el método fotogramétrico se torna competitivo

frente al método topográfico, aumentando esta competitividad a medida que el área se hace más extensa.

7.- Reducción del trabajo de campo, el trabajo de campo es un componente oneroso de todo trabajo topográfico, cuyo costo aumenta con la accesibilidad y las condición es de clima adverso. La reducida cantidad de puntos y control necesarios en la fotogrametría, reduce la estadía en el campo.

Viendo las ventajas que nos ofrece la fotogrametría, es conveniente mencionar ahora las desventajas que tiene esta técnica:

1.- Visión de la superficie del terreno cuando existe densa cobertura vegetal. En este caso es imposible ubicar la marca flotante sobre el terreno, por lo que se debe presumir una altura promedio de la vegetación con respecto al suelo. Sin embargo, como la cubierta vegetal tiende a suavizar los accidentes topográficos del terreno, siempre existirán errores en la ubicación de las curvas de nivel, aunque se pueda verificar la cota en los claros que existan en la vegetación.

2.- Ubicación de curvas de nivel sobre superficies planas. El determinar la trayectoria de una curva de nivel en un terreno plano tiene un alto grado de dificultad, debido a la imprecisión en la colocación de la marca flotante. En consecuencia, se colocan puntos acotados en la restitución o se complementa con trabajo de campo.

3.- El lugar debe ser inspeccionado para determinar aquellos elementos que no son visibles en forma satisfactoria, o que no cuya naturaleza exacta no puede ser determinada en el Estéreo modelo.

4.- La aplicación de la fotogrametría requiere una inversión considerable de equipo y de personal especializado, por lo que su costo es elevado.

Así, partiendo a través de una investigación de fotografías aéreas se obtiene una información completa acerca de la situación geográfica y económica de cada región, lo que nos permite planear sobre datos concretos la clase de camino conveniente.

Por medio de la fotogrametría podemos visualizar con mucha rapidez todas las características, accidentes topográficos, obstáculos y problemas que puedan presentarse en el aérea en estudio, con lo cual podremos escoger, sin lugar a dudas, la ruta más ventajosa para alojar nuestro proyecto.

Por este método se logra obtener mayor número de datos de los que era posible recopilar con el método tradicional, además de reducir al mínimo los trabajos de campo y por lo tanto, el costo del proyecto.

Gracias a la computación y al uso de software, se libera al proyectista de todos los cálculos voluminosos y rutinarios, así como el suprimir el enorme trabajo que significaba el dibujo de las secciones, perfiles, curvas de nivel, etc. Por lo que hoy en día el uso de las herramientas computacionales resulta indispensable y necesario para poder competir en un mundo más globalizado y con ritmos de crecimiento muy acelerados.

II.2.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS SOBRE LA FOTOGRA-METRÍA.

Las primeras fotografías prácticas que se conocieron fueron las producidas por Daguerre en Francia en el año 1839, a las cuales se les conoció como: "DA-

GUERROTIPIAS” poco después con el desarrollo de la ciencia, la fotografía se fue desarrollando conjuntamente con la fotogrametría.

En 1849 Aimé Loussedat, un oficinista del cuerpo de Ingenieros de la Armada Francesa, emprendió un gran esfuerzo para convencer que la fotogrametría podía ser usada con gran ventaja en la preparación de mapas topográficos. Esta gran labor emprendida por Laussedat le confirió que escritores modernos se refieran a él como “EL PADRE DE LA FOTOGRAMETRIA”.



Fig. IIa.- Coronel Aimé LoussedatMedal. (Abril 19 1819 - Marzo 18 1907).



Entre los años 1858 y 1860, Loussedat realiza varios intentos encaminados a la toma de fotografías aéreas utilizando para ello cámaras y lentes soportados por una serie de papalotes; llegó a obtener buenos resultados al realizar

fotografías desde globos sujetos.

Mucho del trabajo de Loussedat estuvo encaminado a la fotogrametría terrestre, usando para ello un fototeodolito construido por el mismo que no era mas que la combinación de una cámara fotográfica y un teodolito.

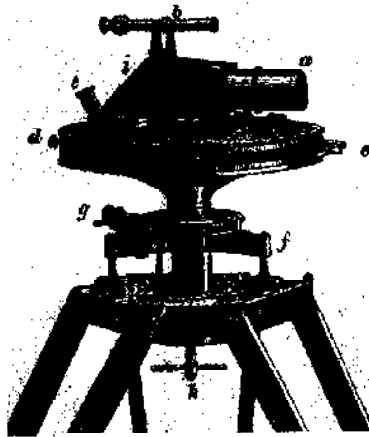


Fig. IIb.- Teodolito

Mucho del trabajo de Loussedat se podría resumir en la utilización de fotografías para levantamientos topográficos, realizando la restitución gráficamente, valiéndose para ello del método topográfico de levantamiento por intersecciones.

En la exposición de 1867, Loussedat muestra públicamente el primer fototeodolito conocido y también un plano de la ciudad de Paris basado en sus fotografías tomadas desde globos, este plano o mapa se compara favorablemente con los planos hechos antes por métodos de medidas sobre la superficie.

En Alemania, el Dr. A. Maydenbauer fue el primero en poner su atención en el nuevo método de perspectiva fotográfica; él publicó un artículo sobre este método en el año de 1893 en el cual hace referencia por primera vez de la palabra “FOTOGRAMETRÍA”; este trabajo fue continuado en Alemania por W. Jordan, Dr. G. Hauck, Dr. C. Koop y muchos otros.

En el año de 1900, el capitán Theodor Scheimpflug, de la Armada Austriaca encontró una solución para el problema de la fotografía aérea, para obtener la completa cobertura del área visible de una estación de cámara en el aire, usó unos 8 lentes en una cámara atada a la canasta de un globo, esta cámara consistió en 7 lentes oblicuos agrupados cerca de una lente vertical central los cuales producían una vista vertical y 7 vistas oblicuas; las 8 exposiciones, cuando son transformadas por medio de una interpretación uniforme hacen las veces de una gigantesca fotografía o mosaico aéreo vertical.

Con el descubrimiento en 1892 por F. Stoize, del principio de la **marca flotante** el subsecuente desarrollo por el Dr. C. Pulfrich de un método práctico de medidas con marcas flotantes, la estereofotogrametría vino a ser utilizada con un gran éxito.

Pulfrich utilizó pares de fotografías tomadas en direcciones horizontales paralelas mediante su estereocomparador, instrumento en el que el operador ve simultáneamente las dos imágenes del objeto fusionadas estereoscópicamente, con lo cual eliminó el escollo de la identificación de puntos homólogos.



Fig. Ilc.- Edward Von Orel

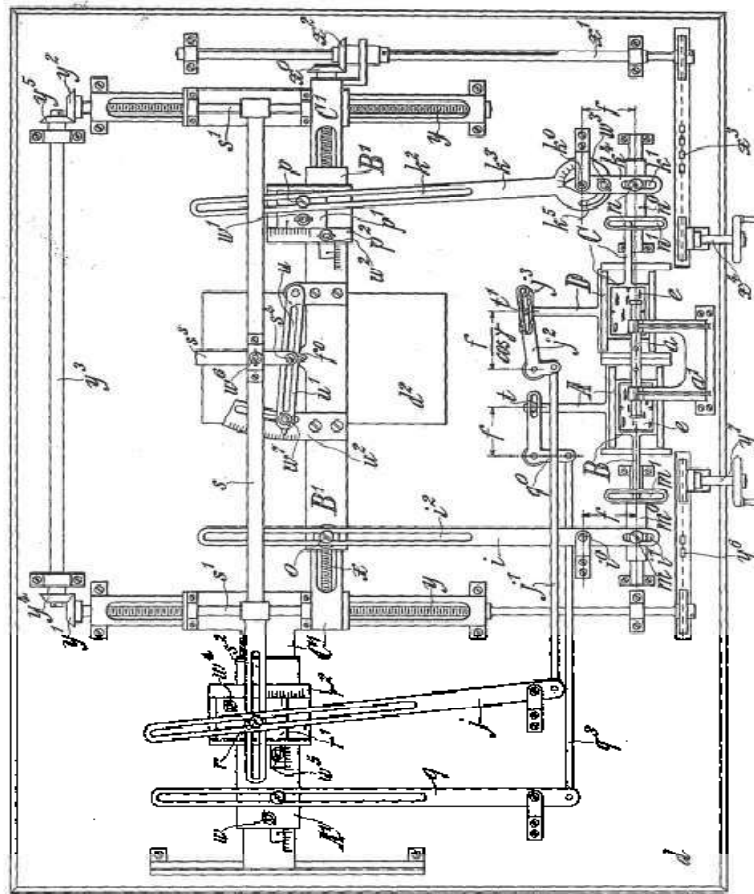
Cerca del fin del siglo dos miembros del Instituto Geográfico de Viena A. Von Hubl y E. Von Orel, desarrollaron el Estereocomparador y el Estereoautografo respectivamente.

En 1911 Von Orel acopló al estereocomparador un mecanismo que permitía el trazo continuo de la planimetría y de las curvas de nivel.

E. VON OREL AND W. SANDER.
STEREOISCHYPSOGRAPH.
APPLICATION FILED DEC. 2, 1920.

1,486,220.

Patented Nov. 21, 1922.



Inventors:
Edward von Orel
W. Sander

Fig. 11d.- Estereoautografo de Edward Von Orel.

Ahora, prácticamente todos los modernos instrumentos de Fotogrametro-
mapeado usan los principios de estereofotogrametría y emplean algunos tipos de
marcas flotantes (índices de medición).

Los trabajos pioneros de la fotogrametría no fueron exclusivamente de los europeos. En 1888 el Capitán E. Deville de Canadá, inspector general del dominio de tierras, instituyó el uso de la fotogrametría terrestre en el mapeado de canadiense.

El desarrollo de la fotogrametría Americana fue muy lento desde sus inicios hasta la primera guerra mundial, en la cual se valoró y se uso mayor atención a las fotografías aéreas con fines militares.

Después de la Primera Guerra mundial, mejores instrumentos y métodos fueron desarrollados en gran variedad.

Durante la Segunda Guerra mundial, la fotogrametría aérea tiene un amplio desarrollo, ya que en ambos lados del frente se utilizaron las representaciones reales de la tierra y a consecuencia de ello se inicia la aplicación de métodos radioelectrónicos en la navegación de vuelos fotográficos, el uso de objetivos gran angulares, el empleo de emulsiones infrarrojas y vistas aéreas de color.

II.3.- EL DESARROLLO DE LA FOTOGRAMETRIA EN MÉXICO.

En el año de 1857 fue creado el MINISTERIO DE FOMENTO al que se le encargó la recopilación de todos los datos geográficos y estadísticos para la elaboración de la Carta general de la República a una escala media, objetivo no cumplido en su totalidad debido a las condiciones desfavorables tanto políticas como económicas que tuvo que afrontar nuestro país a causa de las Guerras de Reforma e intervención Francesa.

En el año de 1877 se creó la COMISIÓN GEOGRÁFICAEXPLORADORA, que duró 37 años, logrando en este periodo levantar y construir la carta a escala 1:100 000 de poco más de la cuarta parte del territorio nacional.

Entre las fallas que se deben atribuir a este trabajo cartográfico, es que no estaba apoyado en el caneavá geodésico, motivo por el cual se creó. Allá por el año de 1915, la COMISIÓN GEODÉSICA MEXICANA para tratar de establecer una red conveniente de triangulación geodésica.

En el año de 1938 se creó la COMISIÓN CARTOGRÁFICA MILITAR, dependiente de la Secretaria de la Defensa Nacional, con el objeto de elaborar la cartografía militar a escala 1:100 000 por el método Aerofotogramétrico.

En el sector privado, esta ciencia se inicia comercialmente en 1937 cuando el Ing. Luis Struck funda la Compañía Mexicana Aerofoto S.A., realizando es ese entonces trabajos de fotografía aérea exclusivamente, posteriormente realizaría trabajos de topografía y de restitución.

En este mismo sector se funda, en 1945, la SOCIEDAD DE FOTOGRAMETRÍA MEXICANA, realizando trabajos puramente fotogramétricos para la C.F.E.

El 1° de Octubre de 1968 fue creada la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), hoy en día Instituto Nacional de Estadística, geografía e informática (INEGI), dependencia gubernamental que ha venido a modificar el panorama nacional en su aspecto cartográfico.

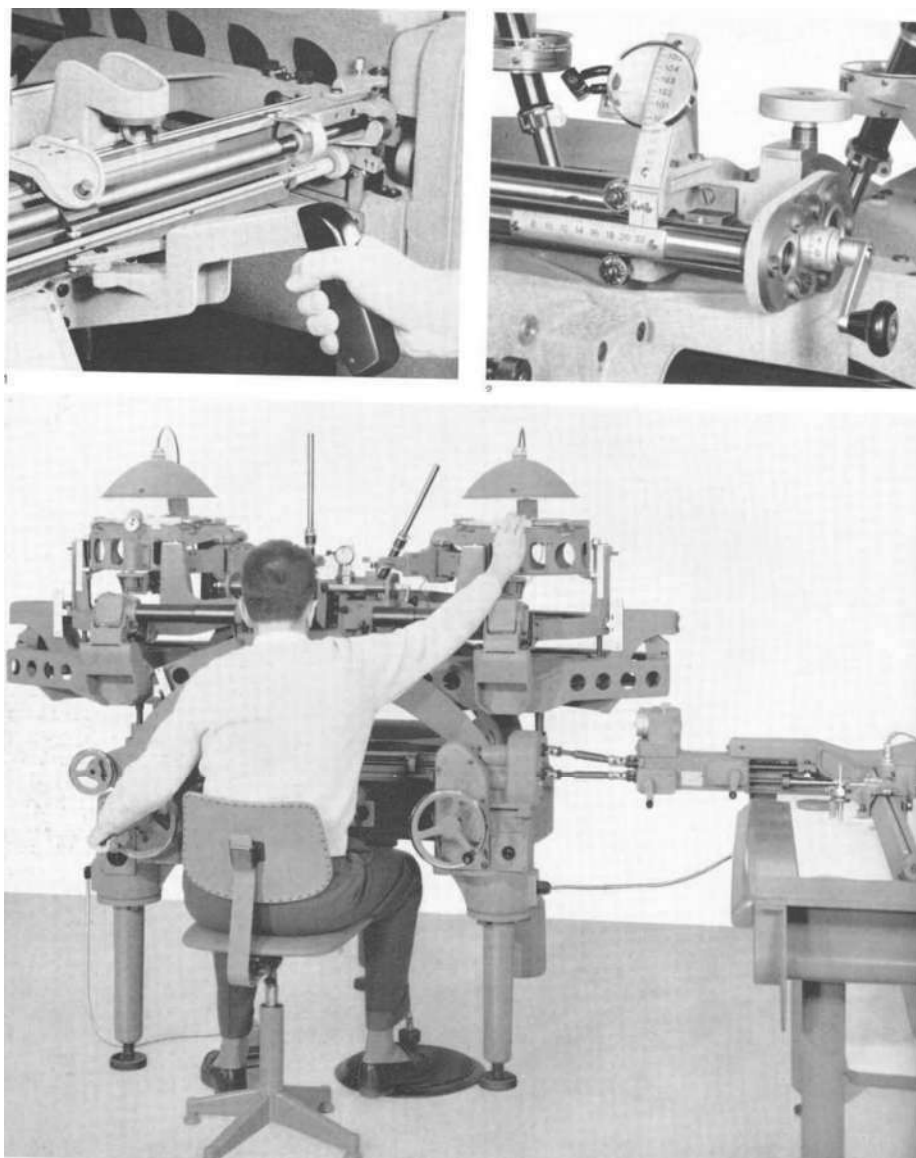
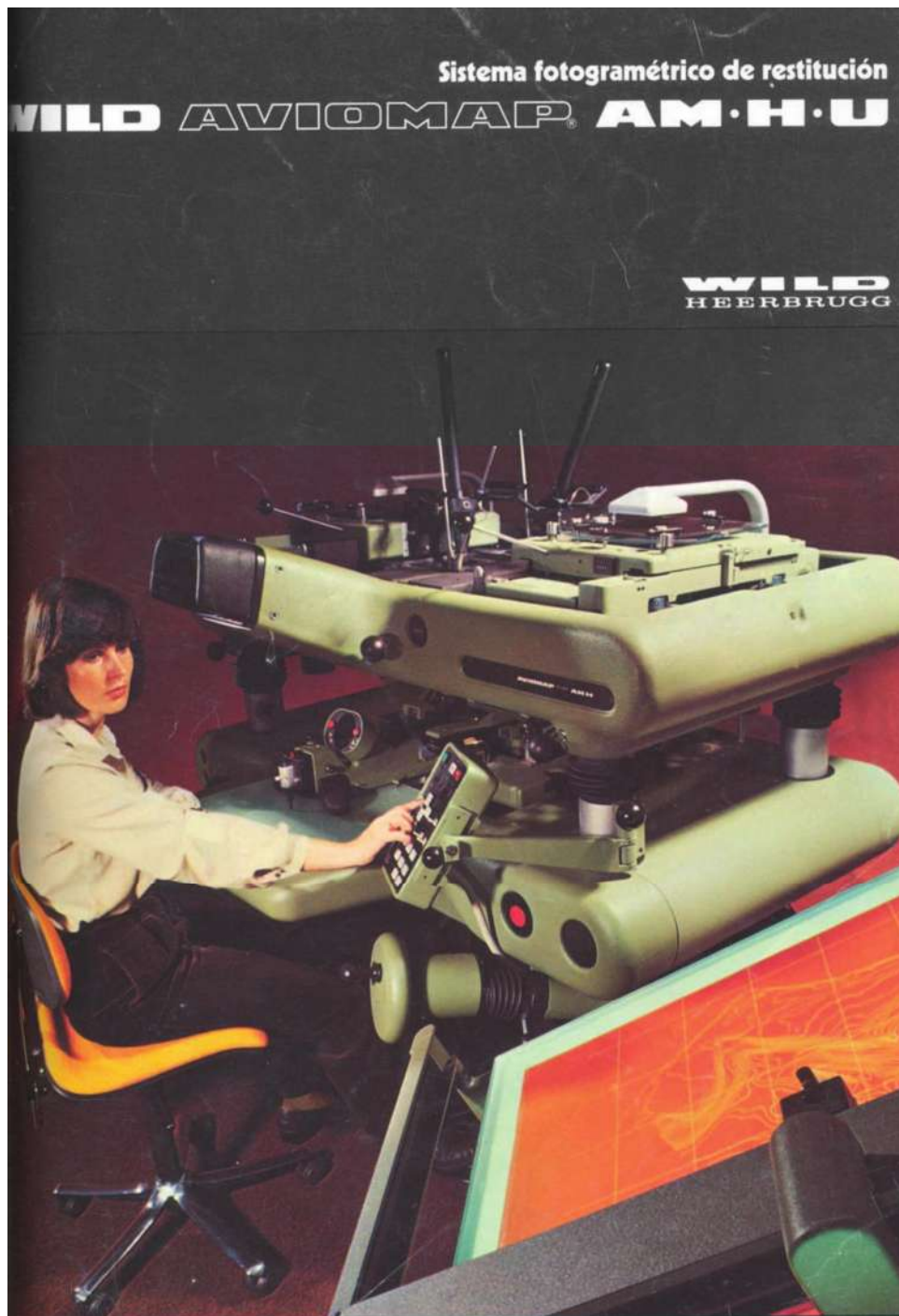


Fig. IIe.- Fotorestituidor Wild, usado en SCT.

Este organismo tiene por objeto la elaboración de la carta topográfica del país a escala 1:50 000, usando para ello los métodos más modernos y precisos a nuestro alcance.



La carta topográfica sirve de base para la elaboración de las cartas geológicas, de uso del suelo, edafológica y uso potencial; cartas que tienen por objeto formar el inventario de los recursos naturales del territorio nacional.

II.4.- GENERALIDADES SOBRE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.

II.4.1.- La Fotografía Aérea como Sistema de Información.

La fotografía aérea es la materia prima de la fotogrametría, su imagen es la representación real y sincera del objeto en el momento de la toma; con las fotografías se pueden tomar modelos en gabinete de la realidad que se quiere cartografiar, obteniéndose de este modelo todas las características, en forma y dimensión, de las superficies de la tierra, esta información es vaciada en planos o cartas y complementada con información adicional obtenida directamente en el campo.

II.4.2.-Algunas Aplicaciones de las fotografías aéreas:

Aplicaciones

Como principales aplicaciones de los sistemas de fotografías aéreas se pueden indicarla siguientes:

a) Recursos forestales:

Este es uno de los campos en los cuales no se ha explotado la aplicación de estas técnicas. La topografía tanto del terreno como de las copas de los árboles en función a fotos traslapadas o traspuestas permiten dimensionar áreas deforestadas o áreas en proceso de reforestación, es una técnica que podría ser de gran interés para la gestión de recursos forestales.

b) Generación de planes de desarrollo urbano:

Es uno de los campos de mayor interés en la Cartografía actual, así las zonas urbanas están sometidas a frecuentes e importantes cambios y concentran la mayor actividad económica, por lo que la necesidad de disponer de una cartografía precisa y actual es más acuciante. Los modelos digitales de superficie de las ciudades tienen diversas aplicaciones entre las que se pueden indicar las telecomunicaciones (telefonía móvil), los modelos atmosféricos, la planificación de riesgos de catástrofes, sin olvidar, la propia gestión de tipo urbanístico.

c) Cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones:

El empleo de estos sistemas permite la generación de cartografías rápidas y precisas de las zonas susceptibles a sufrir inundaciones, aspecto básico para la planificación, la valoración de riesgos, e incluso, para la valoración en caso de una catástrofe.

d) Cartografía de elementos lineales:

El sistema permite disponer de modelos de corredores lineales con una gran rapidez y efectividad. Este tipo de cartografía es muy frecuente para el diseño y ejecución de vías de comunicación, trasvases, conducciones de gas, etc.

e) Cartografía de zonas costeras:

La aplicación a las zonas costera proporciona importantes ventajas con respecto a las técnicas fotogramétricas, en particular, para el control y la monitorización de zonas especialmente dinámicas y de escasa textura de imagen, como, por ejemplo, las zonas de playa y dunas.

f) Planificación de auxilio y ayuda en el caso de desastres naturales:

Los principales desastres naturales, como, los huracanes y los terremotos pueden llegar a introducir importantes cambios que deben ser considerados en la planificación y ayuda a los afectados. Para ello es necesario disponer de una Cartografía rápida y precisa de las zonas afectadas que puede ser obtenida mediante la utilización de estas técnicas.

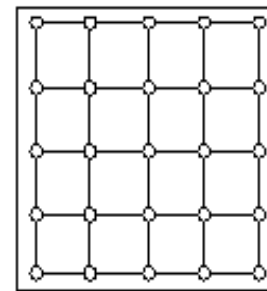
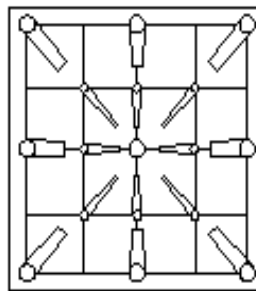
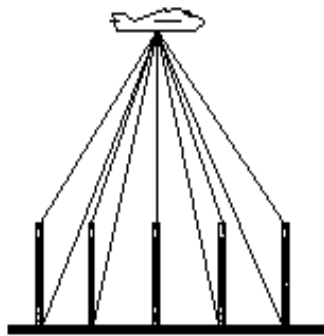
II.5.-Bases Geométricas.

Antes de tratar sobre las propiedades geométricas en una fotografía me referiré a los principios geométricos sobre los cuales se basa.

La fotografía es una PROYECCION CENTRAL ya que se forma la imagen fotográfica de un objeto espacial sobre un plano, al atravesar por un objetivo los rayos reflejados por los puntos del objeto formando una proyección central.

Al conjunto de rectas que partiendo de los puntos de un objeto convergen al centro de perspectiva se les llama HAZ DE RAYOS PERSPECTIVOS.

Todos los rayos que provienen del objeto ABCDE atraviesan el objetivo representado por el centro de proyección "O" e inciden en el plano "P", de esto se deduce que la fotografía sea una proyección central (perspectiva central). Fig.IIf



PROYECCIÓN CENTRAL

PROYECCIÓN ORTOGONAL

Fig.IIf.- Proyecciones

Se apuntara pues, que el objetivo básico de la fotogrametría es transformar la proyección central, la fotografía, en una proyección ortogonal o mapa. Esta transformación se logra haciendo uso del fenómeno conocido como "ESTEREOSCOPIA" (observación en relieve o tridimensionalmente), cosa que se consigue observando con cada ojo, fotografías de un mismo objeto tomadas desde diferentes puntos de estación, lo que permite formular un MODELO OPTICO ESPACIAL del objeto-terreno el cual es medio ortogonalmente por medio de instrumen-

tos óptico-mecánicos, que hoy en día como lo veremos en capítulos más adelante se hacen de manera digital y electrónica.

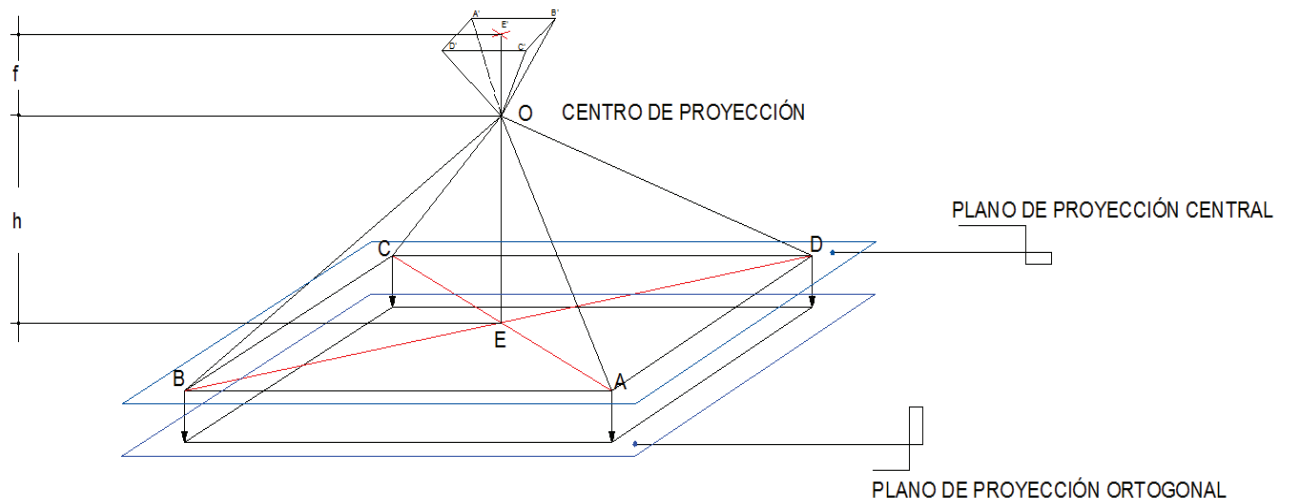


Fig. IIg. Modelo espacial

En la PROYECCION CENTRAL (fotografía), las líneas rectas quedan líneas rectas, sin embargo cambian su orientación. Los ángulos no se observan en general, esto trae como consecuencia que las paralelas no puedan figurar como tales. Solamente las líneas rectas que se encuentran en un plano paralelo con el plano de la imagen, se muestran paralelas entre sí. Otros haces de paralelas se cortan en un punto del plano de la imagen, el punto de fuga. La imagen entonces es pues deformada. (fig. IIh).

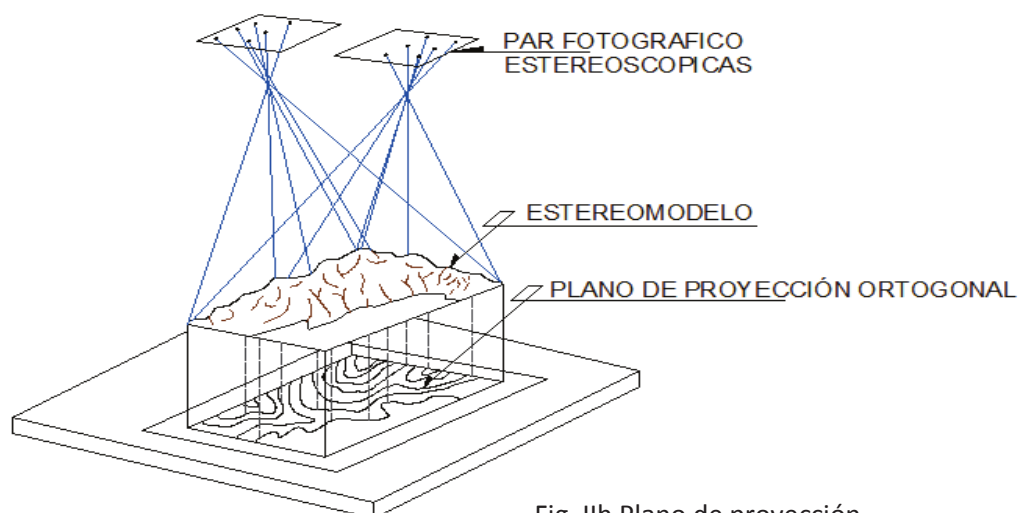


Fig. IIh Plano de proyección

De estas propiedades, se ve claramente que no se puede, en principio, tomar ninguna medida sobre la fotografía.

En una proyección Ortogonal, los diferentes puntos del terreno son proyectados sobre un plano por rayos verticales o sea, rectas paralelas. Las líneas rectas son proyectadas como tales y conservan su dirección así como su orientación.

De este conjunto de rayos hay que “sacar” los puntos que “restituyan” por su composición, las formas del terreno original. Esto se consigue, al llegar a cortarse dos rayos que provienen de dos puntos idénticos, es decir de los “rayos homólogos”. Con esto se consigue la misma configuración que tenía el objeto (terreno) en el momento de la toma fotográfica.

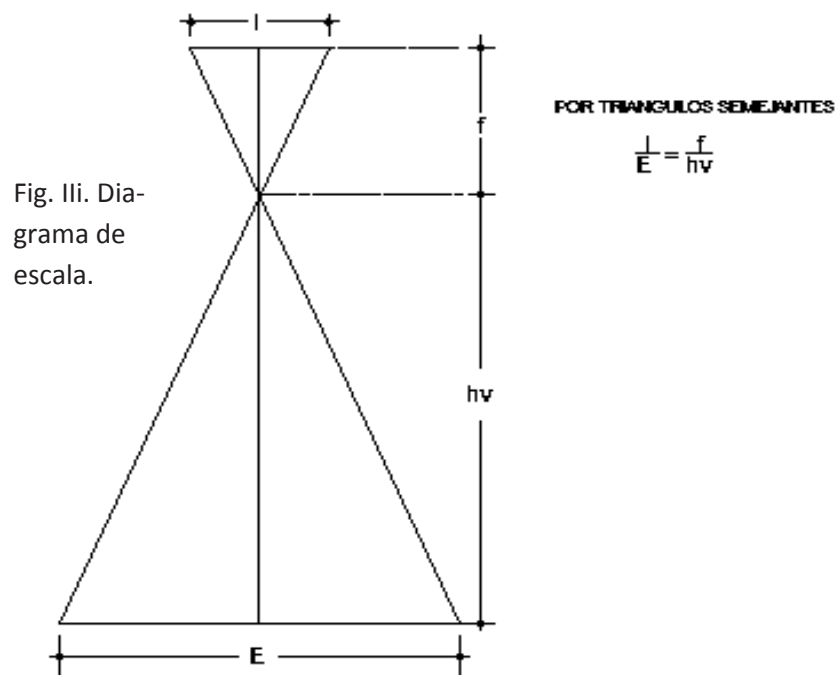
Los dos haces de rayos homólogos se llegan a cortar y el “modelo” del terreno así conseguido es el lugar geométrico de todos los puntos de intersección de los rayos homólogos de un par de fotografías estereoscópicas.

Una proyección ortogonal de los puntos del modelo original ahora un plano.
(verFig. IIh)

II.5.- Escalas de las Fotografías.

Se ha visto la representación de las fotografías por medio de la proyección ortogonal y por lo tanto existirá una relación de interdependencia entre los puntos de terreno y los puntos de la imagen, relación a la que se le llamara “escala de la fotografía”.

Para obtener esta relación (escala) se puede hacer uso de cualquiera de las siguientes expresiones, de acuerdo con los requerimientos que se tengan.



FORMULAS USADAS FRECUENTEMENTE PARA DETERMINAR LA ESCALA DE LAS
FOTOGRAFIAS:

$$\frac{1}{E_f} = \frac{f}{h_v} \text{ ----- (1)}$$

$$\frac{1}{E_f} = \frac{df}{dp \times E_p} \text{ ----- (2)}$$

$$\frac{1}{E_f} = \frac{df}{dt} \text{ ----- (3)}$$

$$H_v = h_v + h \text{ ----- (4)}$$

Donde:

E_f = Escala de la fotografía.

f = Distancia focal de la cámara.

h_v = Altura de vuelo sobre el terreno.

h = Altitud del terreno (SNM).

H_v = Altura de vuelo sobre el nivel del mar.

dp = Distancia en el plano.

df = Distancia en la fotografía.

dt = Distancia en el terreno.

E_p = Escala del plano.

En la formula (1) tenemos que:

$1/\text{escala} = \text{Distancia Focal} / \text{Altura de vuelo sobre el terreno.}$

Si aplicáramos esta fórmula al terreno de la fig. IIj tendríamos que al variar la altura de vuelo necesariamente tendríamos una variación en la escala de las fotografías, de tal modo que la fotografía puede tener tantas escalas como puntos de diferente altura se consideren.

Por lo tanto, es necesario determinar una escala media para las fotografías tomadas en terrenos accidentados, aceptándose para tal caso la siguiente fórmula:

$$Em = f / hm \text{ ----- (5)}$$

Donde:

Em= Escala media de las fotografías.

Hm= Altura media de vuelo sobre el nivel del mar.

Para una mejor comprensión del tema se expondrán aquí algunas definiciones básicas que esté usando continuamente en la exposición del presente tema.

DEFINICIONES

1.- PLANO DE LA PERSPECTIVA.

Es cualquier plano que corte el haz de rayos perspectivos, cuando el plano perspectivo corta el haz de rayos a una distancia "f" del centro de estación, tiene la misma posición del plano del respaldo de la cámara de toma, recibe el nombre de plano de la imagen o plano principal.

2.-CENTRO DE ESTACION.

Es el punto donde convergen todos los rayos perspectivos, este punto es la representación geométrica del centro óptico de la lente de la cámara de toma, recibe también los nombres de centro de perspectiva u objetivo.

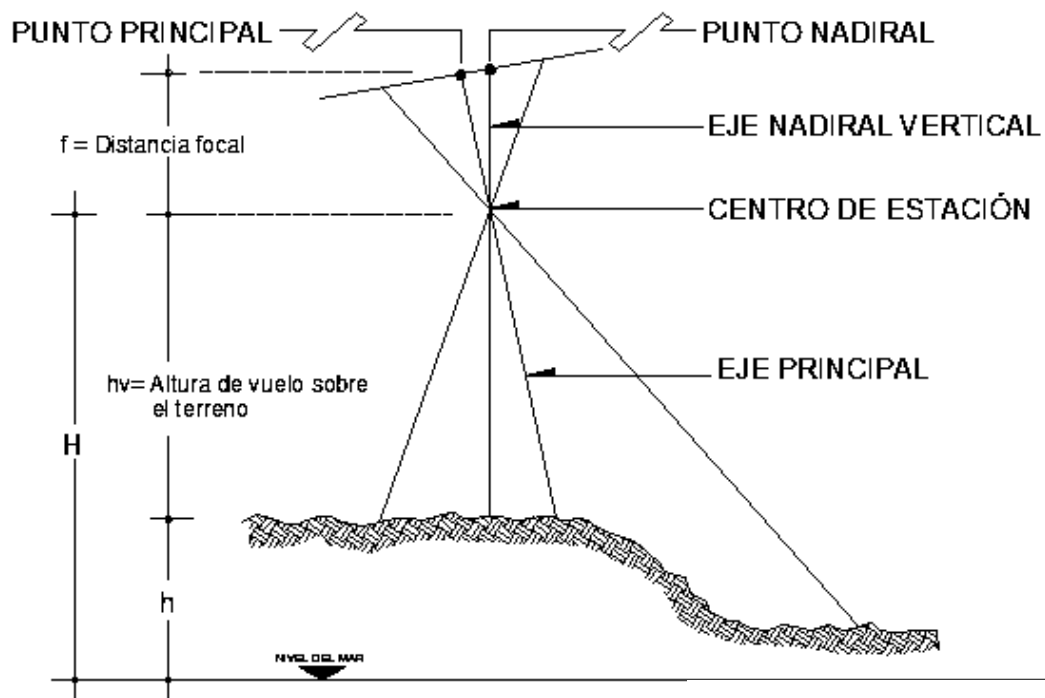


Fig. IIj Plano de perspectiva

3.-PUNTO PRINCIPAL.

Es el pie de la perpendicular que va del centro de la estación al plano de la perspectiva, también se puede decir que es la proyección ortogonal del centro de estación al plano de la imagen.

4.- DISTANCIA PRINCIPAL.

Conocida como distancia focal, es la distancia que existe entre el plano de la imagen y el centro de estación.

5.-EJE PRINCIPAL.

Es el eje que bisecta el haz de rayos perspectivos y es perpendicular al plano del negativo pasando por el centro de estación.

6.- EJE NADIRAL.

Es el eje vertical que pasa por el centro de estación. Cuando la fotografía es vertical, este coincide con el eje principal.

7.-PUNTO NADIRAL.

Es el punto donde se corta el eje nadiral con el plano de la perspectiva, cuando la toma es vertical este punto coinciden con el punto principal.

8.-RECTA PRINCIPAL.

Es la recta que pasa por el punto principal y el punto nadiral, esta recta nos define la dirección de máxima pendiente de la fotografía. Esta se encuentra en el plano principal.

La influencia del relieve del terreno.

En la práctica cotidiana tendremos que apartarnos de la suposición tomada hasta ahora de tener un terreno horizontal y plano.

Generalmente se trabaja con terrenos accidentados, y en estos casos, la escala de las fotografías varía notablemente de un punto a otro en la misma fotografía y la superficie cubierta es menor si la altura del terreno es mayor, que por lo que para obtener los recubrimientos indispensables, conviene calcular los intervalos de toma de fotografías y las distancias entre una línea de vuelo y otra para las regiones más elevadas del terreno por fotografiar.

La existencia del relieve implica un desplazamiento en los puntos de la imagen fotográfica. Para simplificar, mostrare nuevamente una figura que representa una fotografía vertical (ver figura 7).

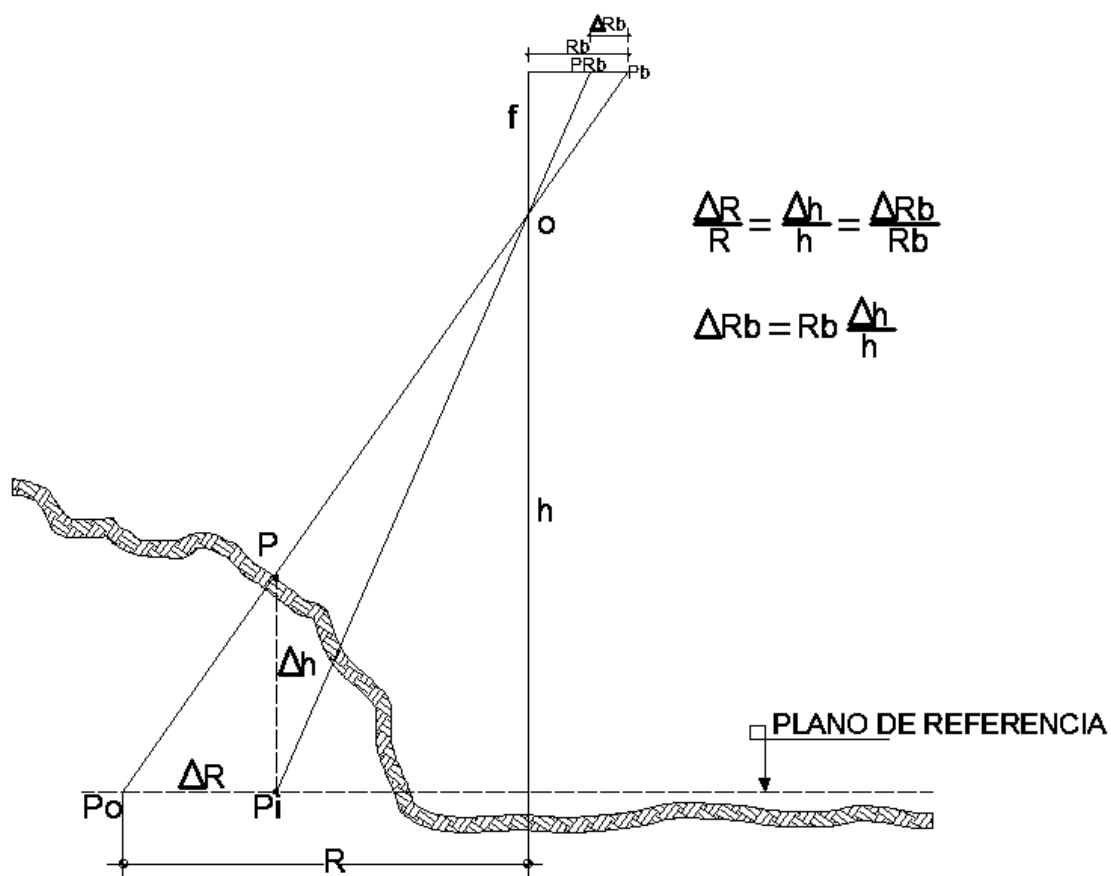


Fig. IIIk

La diferencia de alturas Δh del punto "P" respecto al plano de referencia provoca un desplazamiento ΔRb de su imagen desde PRb a Pb .

Vemos, sin embargo que esta desviación ΔRb en la imagen depende de la distancia "R" entre el punto correspondiente y el punto nadir, la diferencia de alturas entre el punto y el plano de referencia y la altura de vuelo sobre el terreno.

La imagen del punto "P" figura en el mismo lugar que la del punto "Po". Debido a ello, notamos que el relieve influye decisivamente sobre la escala de las fotografías.

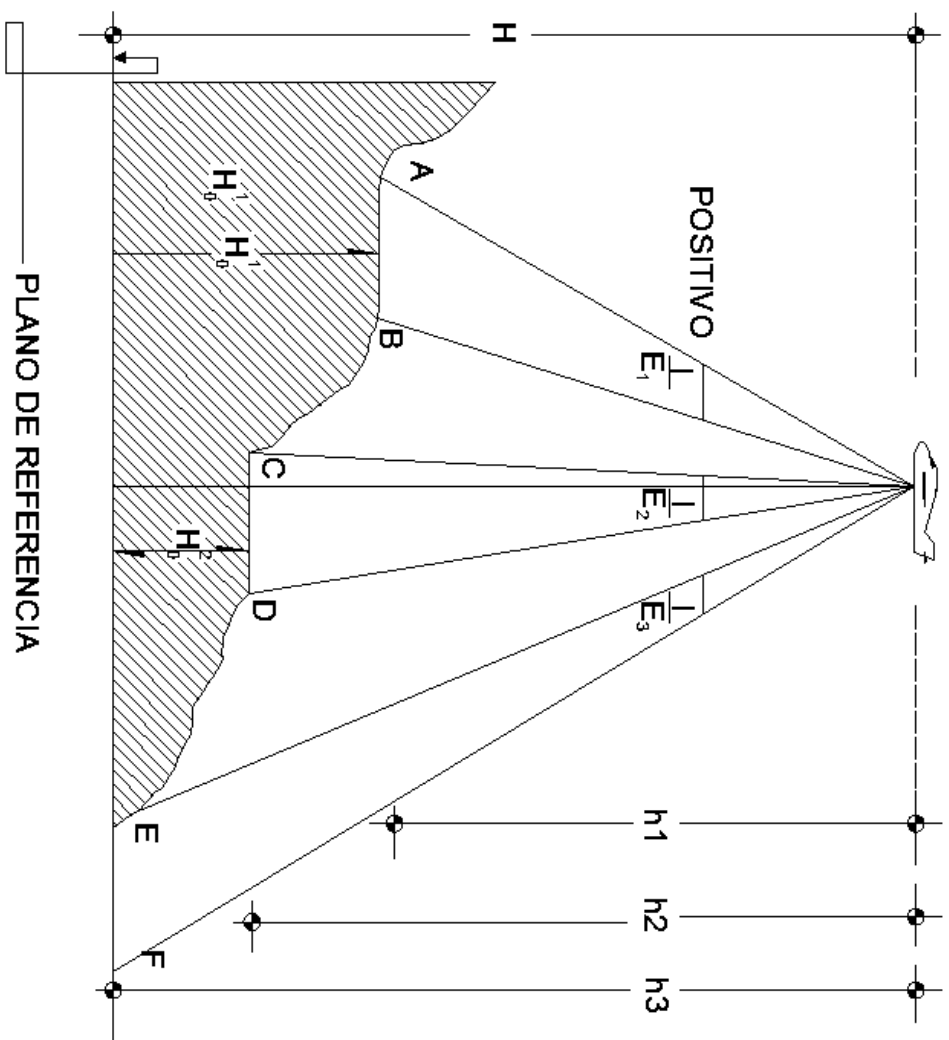
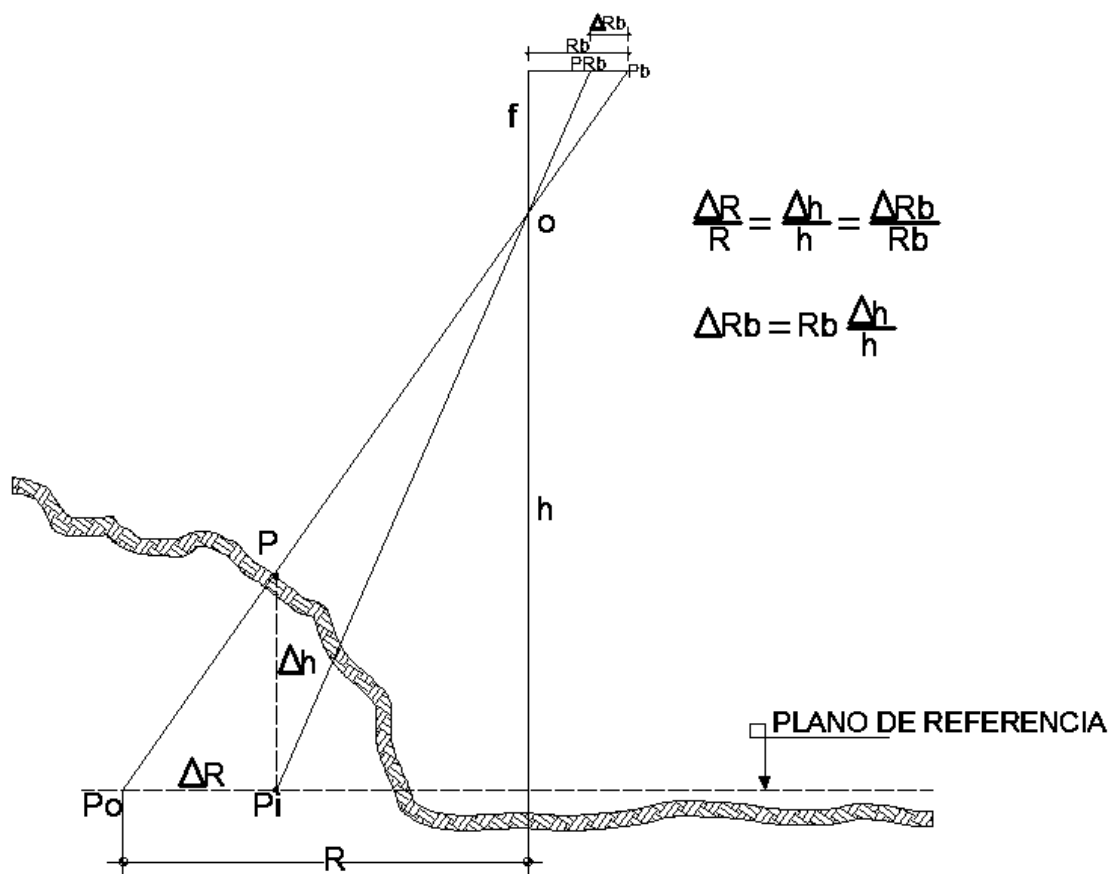


Fig. III.



De lo mencionado anteriormente se comprende que una sola imagen no tiene mucha importancia para fines de mensuración en la fotogrametría. Ya que una sola imagen es posible reconstruir un haz de rayos perspectivos; la posición real de los puntos del objeto (terreno) no podrá ser fijada solo con estos rayos.

Por ello habrá que utilizar pares de fotogramas que ofrezcan un sector común del terreno fotografiado desde dos puntos de estación diferentes y tendremos así la ventaja de una visión espacial del terreno, es decir, los dos haces de rayos perspectivas se interceptarán, lo cual nos permitirá la observación estereoscópica de la imagen.

EJEMPLOS DE CÁLCULO DE LA ESCALA DE LA FOTOGRAFIA.

1.- Calculo de la escala de las fotografías, conociendo la altura de vuelo y la constante de la cámara (f).

$h = 4,000$ pies SNM. Altitud del terreno.

$h_v = 12,500$ pies SNM Altura de vuelo s/terreno.

$H_v = 16,500$ pies SNM Altura de vuelo sobre SNM.

$f = 0.25$ pies

El dato correspondiente a "h" lo podremos obtener de la carta topográfica del lugar por fotografías.

$$1/E_f = f/h_v = 0.25/12,500 = 1/25,000$$

$$1/E_f = 1/25,000 \quad \text{por lo tanto, } E_f = 1:25,000$$

2.- El caso más general se da cuando se desea conocer a qué altura sobre el terreno y sobre el nivel del mar se deberá volar para obtener una determinada escala de las fotografías, escala que generalmente se determina de acuerdo con los requerimientos de la etapa de proyecto.

$E_f = 1:10,000$ Escala que se requiere generalmente para la etapa del anteproyecto

$h = 2,000$ m SNM = 6562 Pies SNM. Altitud del terreno.

Por lo tanto, la altura media de vuelo sobre el terreno para obtener fotografías con escala media 1:10,000 será de:

$$1/Ef = f/hv$$

$$hv = F \times Ef:$$

$$hv = 0.5 \times 10,000$$

$$hv = 5,000 \text{ pies s/t.}$$

La altitud media de vuelo sobre el nivel del mar será de:

$$Hv = h + hv$$

$$Hv = 610 + 5,000 = 5,610 \text{ pies SNM.}$$

Además de los datos anteriores es necesario determinar el Azimut (en grados) de la línea de vuelo.

II.6.- Etapas que integran el proceso fotogramétrico.

El paso de la proyección central a la proyección ortogonal se puede realizar bien sea por la fotogrametría gráfica, prácticamente en desuso en nuestros días, o por la estereofotogrametría, la cual es usada actualmente en la inmensa mayoría de los trabajos fotogramétricos.

La **fotogrametría gráfica**, usando los principios de la geometría proyectiva, marcó el inicio de esta disciplina, ya que para la época era la única forma en que se podían restituir las fotografías. Esta modalidad se basa en la intersección de líneas que parten de dos estaciones diferentes, es decir de los puntos en que se tomaron las fotografías, hacia un punto común.

Actualmente, gracias a la capacidad de cálculo que ofrecen las computadoras, el uso de esta forma de restitución se ha convertido, para algunos casos especiales, en una alternativa que puede competir con la estereofotogrametría.

La estereofotogrametría se basa en la visión estereoscópica para recrear en la mente del observador un modelo estereoscópico a partir de un par de fotografías, tomadas cada una de ellas desde una posición diferente, para ser observadas en forma separada por el ojo respectivo. De esta manera, cada ojo transmite al cerebro una imagen ligeramente diferente del otro, tal como lo hacen al observar los objetos tridimensionales. El cerebro interpretará entonces esas diferencias como diferencias en la profundidad, y formará un modelo estereoscópico en la mente del observador.

Si se introduce un punto artificial sobre cada fotografía, mediante el aparato de observación, de manera que la posición relativa entre los mismos pueda variar, la sensación de profundidad para el punto también variará. La posibilidad de colocar un punto cuya altura sobre el modelo puede ser modificada, así como la posición sobre el mismo, permite establecer un nexo entre el modelo que el observador recrea y las coordenadas registradas por el aparato de observación, que definen la posición del punto. Si se establece un vínculo entre la marca flotante y un aparato trazador, el recorrido que la marca flotante realiza sobre el modelo será dibujado, teniendo entonces como resultado un plano del modelo. La aplicación del uso de la marca flotante encuentra su expresión en los llamados aparatos restituidores, los cuales son los que realizan los mapas y planos fotogramétricos.

La estereofotogrametría se ha llevado a cabo por las siguientes técnicas:

La **fotogrametría analógica**, que surge en la década de los treinta basada en aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías es colocado en un aparato restituidor de tipo óptico o mecánico.

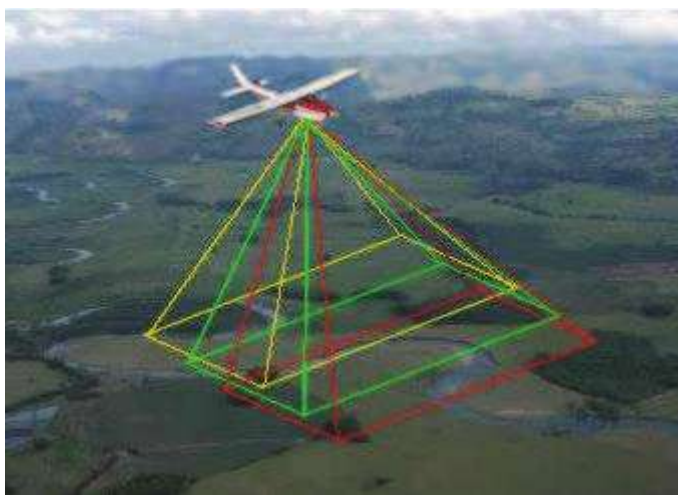
El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza también en forma manual, mediante el seguimiento con la marca flotante posada sobre los detalles de la superficie del modelo.

Esta información es ploteada en una cartulina colocada sobre la mesa trazadora, relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos.

La **fotogrametría analítica**, que aparece en 1957 como un desarrollo natural de la Interrelación entre los aparatos restituidores analógicos y el surgimiento de la computación. En ella, la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático.

Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas x , y de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema.

Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD.



La **fotogrametría digital**, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadoras. Con la fotogrametría digital crecen las

posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en la computadora, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato Raster o formato vectorial.

Fotomosaico.

Es un ensamblaje de dos o más fotografías que presentan entre ellas un área común. Se clasifican en:

- Controlados: fotos rectificadas y trianguladas.
- Semicontrolados: fotos rectificadas o trianguladas.
- No controlados: fotos sin rectificar ni triangular.

Ortofoto.

Es una fotografía o un conjunto de fotografías cuyas imágenes de los

objetos se encuentran en su verdadera posición planimétrica. Esto se logra mediante un proceso denominado rectificación diferencial, en el cual se eliminan los efectos de la inclinación y del desplazamiento por relieve, propios a las fotografías. Por ello, las ortofotos son equivalentes a los mapas de líneas en lo referente a su precisión geométrica.

Para la realización de la ortofoto es necesario crear el modelo estereoscópico del terreno, para de esta forma, proyectar en forma ortogonal, mediante el uso de la rectificación diferencial, la fotografía izquierda del modelo sobre película fotográfica, la cual, una vez revelada, es la ortofoto.

La ortofotografía digital es una imagen rectificada y georeferenciada al sistema de coordenadas de INEGI a escala fija con posibilidades de desplegarla en computadoras convencionales y programas comerciales como AutoCAD, MicroStation, etc.

El proceso consiste en ajustar imagen por imagen a los puntos aerotriangulados, una por una, las imágenes van tomando georeferencia y eliminando las líneas de mosaico entre una y otra hasta formar una sola imagen de toda una línea de imágenes en el sentido en que haya sido hecho el vuelo.

Ortofoto estereoscópica.

Está conformada por dos imágenes, donde la imagen izquierda es una ortofoto de la fotografía izquierda y la imagen derecha es una ortofoto de la fotografía derecha, la cual contiene la suma de los paralajes en x obtenidos de las variaciones de altura de los puntos correspondientes del terreno. Esta última ortofoto es denominada estereomate, la cual puede ser considerada como una proyección paralela oblicua del terreno, sobre el plano de proyección.

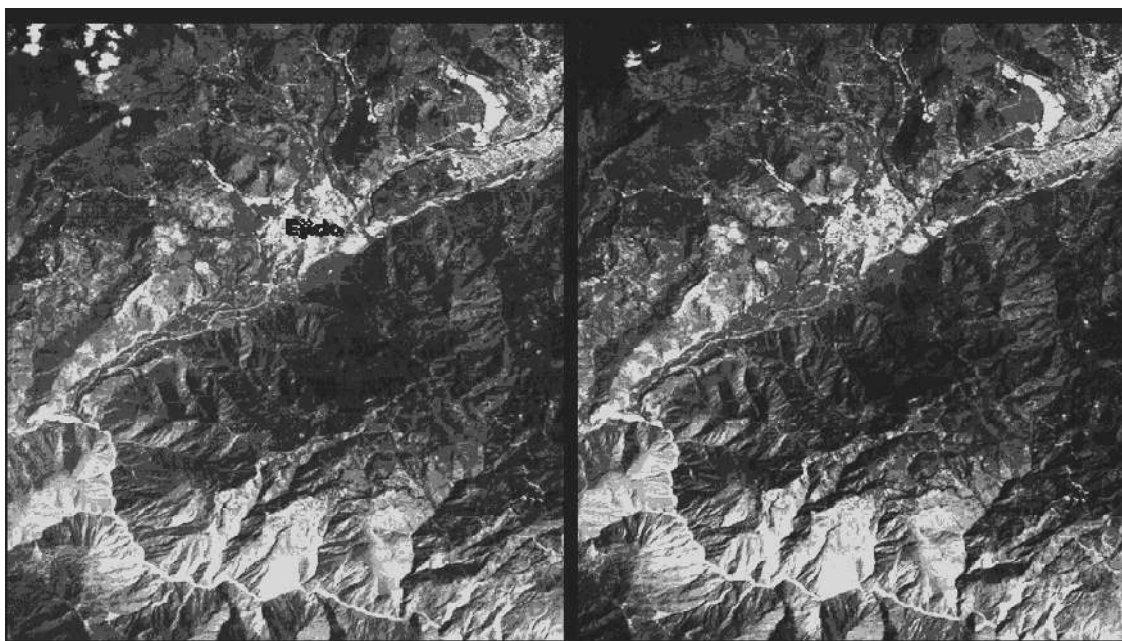


Fig. IIn.- Estereograma o Estereoimagen.

II.6.1.- EL PLAN DE VUELO FOTOGRÁFICO.

Tomando como base la carta de ruta (“larguillo”) con el eje de ruta del anteproyecto, elaborará dos cartas de ruta en original (a color), con cartas Esc. 1:50,000 que produce el INEGI, en donde contenga las líneas de rutas propuestas.

Con estas cartas de ruta, se realizará el PLAN DE VUELO. Esto es; se trazarán las líneas de vuelo sobre el anteproyecto aprobado, considerando el área que cubrirá lateralmente la escala de fotos por tomar, se deberá asegurar un cubrimiento estereoscópico amplio en el sentido longitudinal y transversal de la línea del anteproyecto, (aproximadamente en una franja de 2,200 m. de ancho como mínimo). Se aclara que tanto al inicio y final del proyecto, así como en el cruce entre líneas de vuelo se deberá de tener un cubrimiento estereoscópico de 2,200 mts como se indica en el siguiente croquis esquemático: (Fig. Ilo)

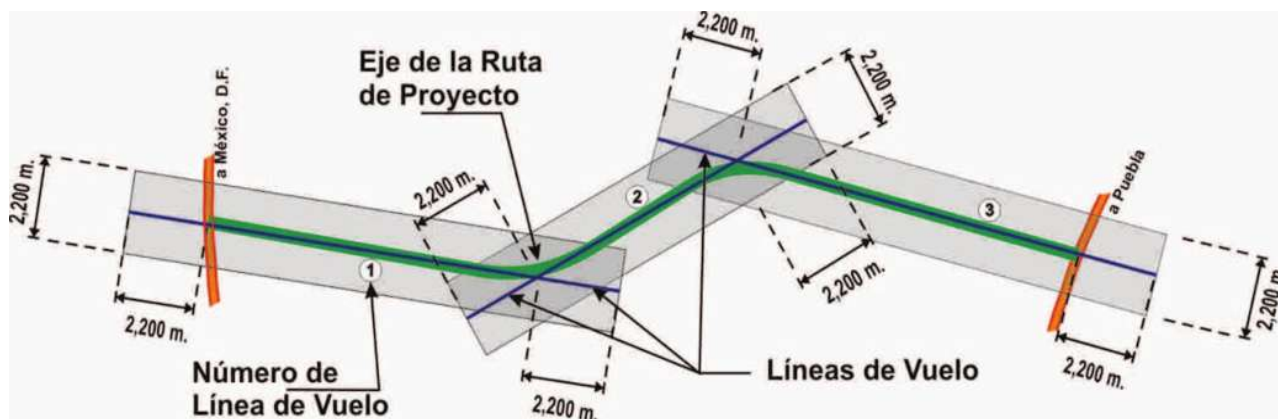


Fig. Ilo.- Esquema plan de vuelo.

A continuación se enlista la información básica para empezar a calcular y determinar las características topográficas de la zona en estudio, previo a esto ya se han lanzado las primeras líneas (estudios de localización de ruta) sobre cartas de INEGI:

- 1.-Delimitacion del área por fotografía.
- 2.-Condiciones atmosféricas y de iluminación ideales.
- 3.-DIRECCION que deben de tener las líneas de vuelo.
- 4.-Tipo de avión.
- 5.-Tipo de cámara
- 6.-Traslapes necesarios.
- 7.-Numero de fotos por línea
- 8.-Numero de líneas.
- 9.-Total de fotografías.
- 10.-Intervalos de tiempo.

1.- DELIMITACION DEL AREA.

Esta fase se realiza sobre el material cartográfico ya existente o apoyándose en fotografías aéreas pertenecientes a vuelos anteriores.

2.- CONDICIONES ATMOSFERICAS Y DE ILUMINACION

El factor más incierto en una misión aerofotografía es el clima, el cual puede representar significativas elevaciones en el costo de la misión por no poder sobre volar región deseada o por realizar vuelos que puedan afectar considerablemente la misión fotográfica ocasionando errores en el material que se obtiene.

El día ideal para llevar a cabo una misión fotográfica es aquel en que la atmosfera se encuentra libre de nubes, niebla o bruma. Cuando el sol se encuentra en una altura que no haga proyectar demasiada sombra sobre los objetos (a una altura mayor de 30 grados sobre el horizonte) y la velocidad del viento y los aires turbulentos a la altura de vuelo sean mínimos. Todas estas condiciones varían con la época del año y con la localidad particular.

La fuerza y turbulencia del viento pueden causar errores considerables como la desviación de la dirección del vuelo o cabeceos y alabeos del avión.

Para el proyecto, se recomienda tomar la dirección de los ejes Norte-Sur y Este-Oeste, pero si estos no son posibles entonces la recomendación estará en relación al sentido largo del terreno, con el fin de evitar maniobras inútiles al avión lo cual redundaría en un costo mayor de proyecto.

3.-DIRECCION QUE DEBEN DE TENER LAS LÍNEAS DE VUELO.

Para fotografiar una área por levantar, con el número de fotografías, el avión debe de volar en líneas paralelas y si no existiera alguna razón en especial, entonces se prefiere volar en líneas paralelas de Este a Oeste, para posteriormente se nos facilite hacer la comparación de las fotografías con un plano o carta.

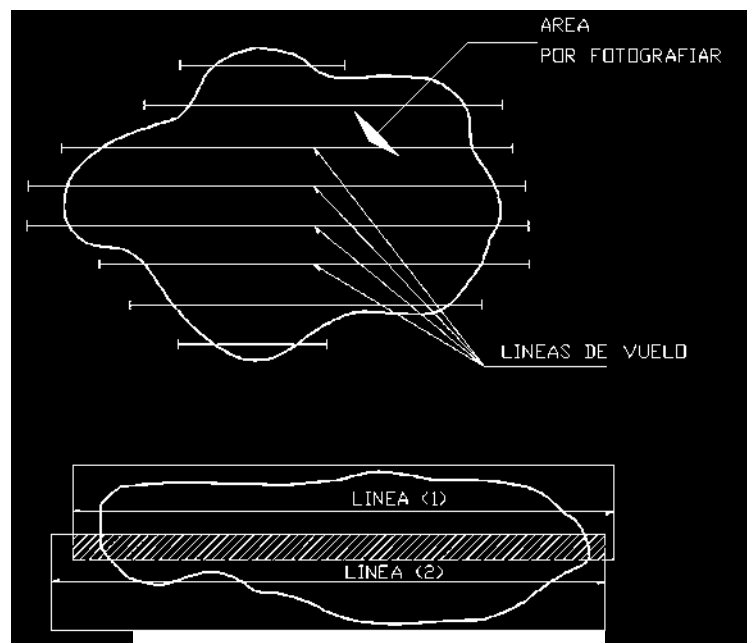


Fig. 11p.- Línea de vuelo longitudinal.

En el caso en que la zona por fotografía sea larga y angosta (como en el caso de los vuelos fotográficos para proyectos de carreteras), se debe de volar a lo largo de la faja y no de E a W.

Lo que si es necesario es que las líneas de vuelo sean rectas y paralelas para cubrir la zona a fotografiar con el menor número de fotografías. Durante la toma fotográfica, en cada una de las líneas de vuelo deberá mantenerse la misma altura con respecto al nivel del mar.

4.- TIPO DE AVION

En realidad no existe un avión específico para la toma de fotografías, al utilizar un avión para misiones aerofotografías se deben de prever ciertas características que hagan óptimo su empleo en levantamientos aerofotogramétricos. Los requerimientos indispensables que debe tomarse en cuenta son:

4.1.-Suficiente potencia en sus motores para ascender y descender con toda seguridad y alcanzar la altura de vuelo de proyecto y mantener la velocidad de crucero de aproximadamente 161Km/hr.

4.2.- La autonomía del avión, es decir, lo relativo a la capacidad de carga en sus tanques de combustible.

4.3.-El espacio dentro del avión debe de ser el adecuado para albergar a la tripulación y el equipo.

4.4.-La posición del motor o motores deberá de ser tal que los humos contaminantes que arroja por el escape no pasen por el lente de la cámara.

4.5.-La posición de las alas deberá de ser de tal manera que no obstruya la toma de imágenes fotográficas.

4.6.-Buena visibilidad en todas direcciones para la navegación.

5.- TIPO DE CAMARA

La elección del tipo de cámara estará en función del objetivo, distancia principal, tiempo de exposición, formato, capacidad del almacén, etc., que se ajuste al proyecto.

II.6.2.- LOS RECUBRIMIENTOS NECESARIOS EN LAS FOTOGRAFIAS.

La toma de fotografía se debe hacer de tal manera que cada fotografía cubra aproximadamente el 60% del Área cubierta por la fotografía anterior, a lo cual se le suele llamar “RECUBRIMIENTO LONGITUDINAL”.

A la faja del terreno cubierta fotográficamente en cada pasada se le llama “LINEA DE VUELO”.

Cada línea de vuelo de tener un “RECUBRIMIENTO TRANSVERSAL” de aproximadamente el 30% del área fotografiada en la línea de vuelo anterior.

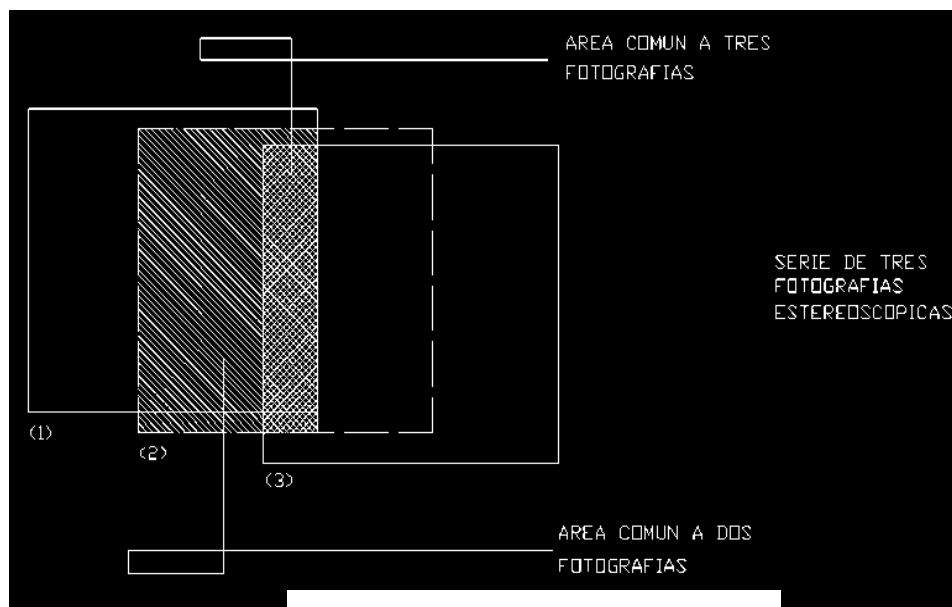
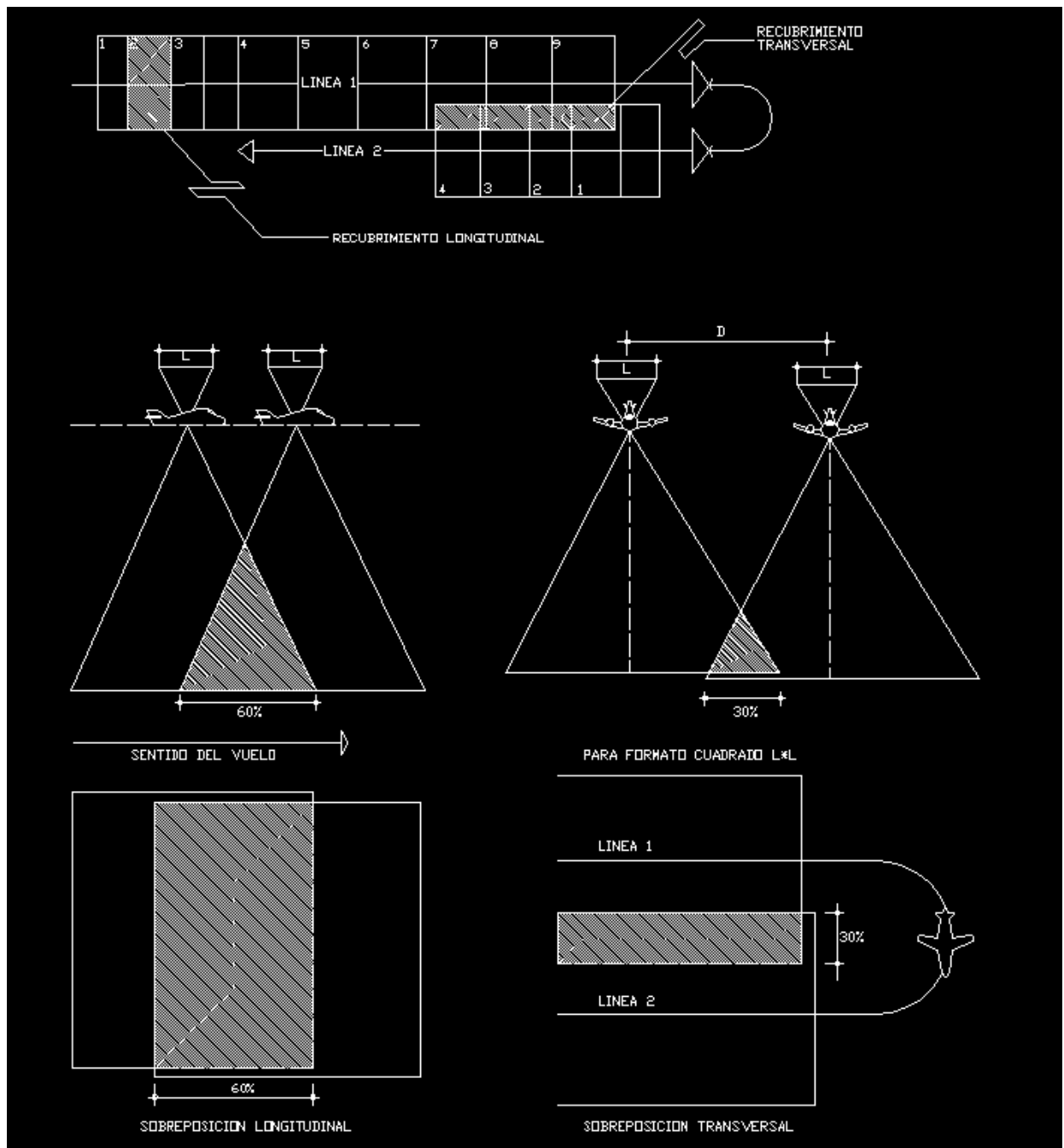


Fig. IIq.- Recubrimiento longitudinal.

La finalidad del recubrimiento longitudinal es l de obtener fotografías en pares sucesivos para su análisis estereoscópico.

Con el recubrimiento transversal se asegura que toda la zona por levantar quede cubierta fotográficamente.



Para efectuar el levantamiento fotográfico de la zona en estudio, se requiere de un "ESQUEMA DE VUELO", el cual se hará sobre una carta geográfica (de preferencia topográfica) de la zona donde aparezcan los detalles más importantes del terreno.

Generalmente el “ESQUEMA DE VUELO” se realiza sobre cartas topográficas 1:50,000 editadas por él, donde anteriormente se ha trazado la ruta probable para la localización de la carretera.

En estas cartas topográficas se hace la representación de las líneas de vuelo por medio de flechas, las cuales nos representan la ruta de deberá seguir el avión para realizar las tomas fotográficas.

Dichas líneas de vuelo se encuentran representadas por medio de las líneas rectas identificadas con una numeración progresiva que nos indican el orden en que se deberá realizar la toma fotográfica.

Los datos que se deben de anotar en cada línea de vuelo representada en la carta geográfica son:

- Numero de la línea de vuelo.
- Altura de vuelo SNM, a la que deberá realizarse la toma fotográfica.
- Número de fotografías necesarias para cubrir cada línea.
- Azimut de la línea (para guía del vuelo).

Con estos datos, se llenara el formato de cálculo del Plan de vuelo autorizado por la SCT.

II.6.3.- EL PROYECTO DE VUELO FOTOGRÁFICO.

La base de un buen proyecto fotogramétrico o de fotointerpretación se inicia con la acertada planeación de la toma de la fotografía que se utilizaran en etapas posteriores. simultáneamente se recolectan mapas, fotografías, foto mapas o cualquier otro tipo de imágenes existentes de la zona en estudio, para que este mapa sirva como base para planear el vuelo.

Para determinar la altura de vuelo a que se debe volar sobre el nivel del mar, se establece la escala aproximada de las fotografías de acuerdo a la etapa que se esté estudiando, así también deberá estar perfectamente delimitada la superficie por levantar en la mejor carta existente.



Fig. Ilr.-Cámara universal para película Wild RC 10

En estas condiciones se procede a llevar a cabo el vuelo fotográfico, teniendo en cuenta que en su ejecución deberán tenerse presentes las siguientes condiciones:

- 1.-Durante el vuelo de cada una de las líneas proyectadas se deberá volar en line recta.
- 2.-Se deberá volar a una misma altura con relación al nivel del mar.
- 3.-El vuelo debe llevarse a cabo en condiciones ideales de tiempo: Ausencia de nublados, o grupos de nubes, sol brillantes, ausencia de viento que pueda ocasionar la deriva del avión.



4.- Debe volarse cerca de las horas del medio día a fin de que las sombras de los objetos o accidentes topográficos verticales sean del menor tamaño posible.

De esto se concluye, que en un vuelo, la

responsabilidad principal la lleva el piloto ya que debe volar en línea recta y al mismo tiempo mantenerse a una misma altura con velocidad constante.

Debe tenerse que el terreno debe ser cubierto fotográficamente por líneas de vuelo que estén formadas por una serie de fotografías sucesivas tomadas por una serie en líneas rectas, además dicho vuelo debe de cumplir con la condición indispensable que el cubrimiento sea "estereoscópico" es decir , que cada punto o detalle del terreno que va ser levantado salga cuando menos en dos fotografías sucesivas.

Así pues, para llevar a cabo el vuelo fotográfico se tiene como datos:

1.- Superficie del terreno por fotografiar.

2.-Altura media de dicho terreno, o alturas medias de cada una de las zonas en que se tenga que dividir la superficie, en cada caso de que se presenten grandes desniveles en el terreno.

3.- Distancia focal de la cámara fotográfica a usar.

4.- Escala ala que se tomaran las fotografías.

5.-Velocidad media de vuelo.

6.-Sobreposiciones longitudinal y lateral.

Los datos que se deberán calcular son:

1.- Altura media de vuelo.

2.-Número de líneas de vuelo necesarias.

3.-Número de fotografías en cada línea de vuelo.

4.-Número total de fotografías.

5.-Longitud total de película a usar.

6.-Intervalo de disparo entre cada exposición.

EJEMPLO.-SUPONGASE QUE SE QUIERE LEVANTAR FOTOGRAFICAMENTE UNA SUPERFICIE COMO LA QUE SE MUESTRA:



DATOS CONOCIDOS:

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 1.-Superficie por levantar : | S = 3,815, 368 800 M2. |
| 2.-Altitud media del terreno | h = 2,100 m SNM. |
| 3.-Distancia focal de la cámara | f = 6" = 15.2cm. |
| 4.-Escala de las fotografías | E = 1:20,000 |
| 5.-Formato de las fotografías | 23 x 23cms. |
| 6.-Velocidad de vuelo | v = 300 KPH. |
| 7.-Sobreposicion longitudinal | = 60 % |
| 8.-Sobreposicion lateral | = 30 % |

A) CALCULO DE LA ALTURA MEDIA DE VUELO SOBRE EL TERRENO.

$$1/E_f = f/h_v \quad ; \quad h_v = E_f \times f$$

$$h_v = 20,000 \times 0.152 = 3,040 \text{ M.} = 9,971 \text{ pies}$$

B) ALTURA MEDIA DE VUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

$$H_v = h + h_v = 2,100 + 3,040 = 5,148 \text{ m.}$$

$$H_v = 5,148 \text{ m.} = 16,890 \text{ pies SNM.}$$

C) CALCULO DEL NUMERO DE EXPOSICIONES POR LINEA.

El terreno que se cubre longitudinalmente con una fotografía es:

$$L = 0.23 \times 20,000 = 4,600 \text{ m.}$$

El avance efectivo será de: $4,600 \times 0.40 = 1,840 \text{ m.}$

No. De fotos = Longitud de la línea de vuelo

$$\text{No. De fotos} = 69,119 \text{ m.} / 1,840 = 37.6 = 38$$

Por especificación se pide que en cada línea se agreguen 10 fotos; 5 de entradas y 5 de salida.

Por lo tanto No. TOTAL DE FOTOS POR LINEA = 48

D) CALCULO DEL NÚMERO DE LA LINEA NECESARIAS PARA CUBRIR FOTOGRAFICAMENTE TODA LA SUPERFICIE.

$$\text{El avance efectivo lateral es} = 4,600 \times 0.8 = 3,680 \text{ m.}$$

Además hay que considerar que las dos líneas laterales deberán tener un margen del 40 %

$$4,600 \times 0.4 = 1,840 \text{ m.}$$

Por lo que el terreno vendría a tener un ancho de $55,200 + 2(1,840) = 58,880 \text{ m.}$

$$\text{No. DE LINEAS} = \text{ANCHURA DEL TERRENO} / \text{AVANCE LAT. EFEC.}$$

$$\text{No. DE LINEAS} = 58,880 / 3,680 = 16$$

E) NUMERO TOTAL DE FOTOGRAFIAS PARA CUBRIR EL AREA.

$$\text{No. TOTAL DDE FOTOGRAFIAS} = 48 \times 16 = 768$$

F) CALCULO DEL INTERVALO DE EXPOSICION.

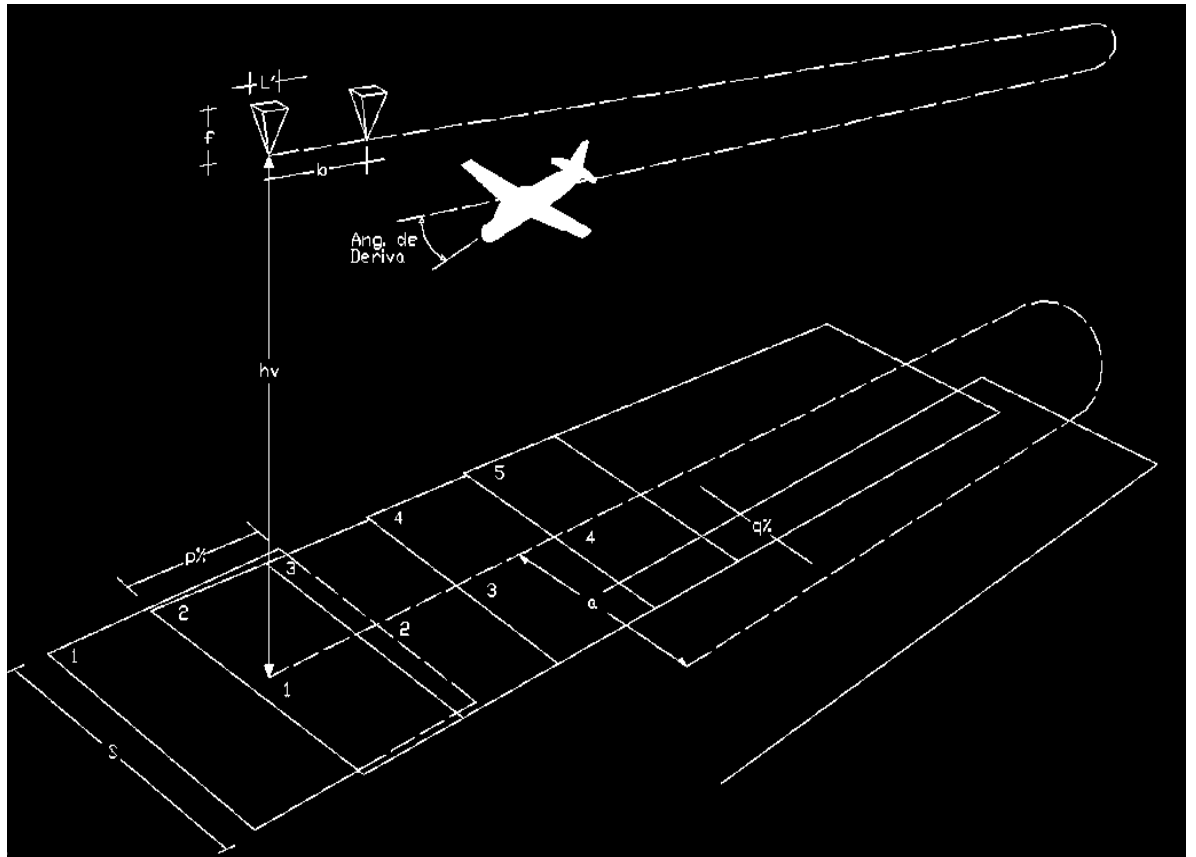
Como el avance longitudinal efectivo es de 1,840 m., a cada distancia de esta magnitud deberá ser disparada la cámara para obtener cada fotografía.

$$V = 300 \text{ K/H} = 83.33 \text{ m/seg.}$$

$$e = V \times t ; t = e / V$$

$$t = 1,840 / 83.3 = 22.08 \text{ segs.}$$

Por lo tanto, en el intervalo metro se colocara la aguja en 22.08 segs. Para que a cada intervalo de esta magnitud se dispare automáticamente la cámara.



L' = Formato (lado del negativo)

F = Distancia focal.

h_v = Velocidad de vuelo sobre el terreno.

V = Velocidad de vuelo.

b = base fotográfica.

p = sobreposición longitudinal en %.

q = sobreposición transversal en %.

$$\Delta t = L' \times E_f / v (1 - P/100)$$

INTERVALO ENTRE EXPOSICIONES

$$b = L' \times E_f (1 - P/100)$$

BASE PARA SOBREPOSICIÓN DE p (%)

$$a = L' \times E_f (1 - q/100)$$

SEPARACIÓN ENTRE CENTROS DE LINEA q (%)

Capítulo III.

LA FOTOGRAMETRIA MODERNA.

III.1.- INTRODUCCIÓN

La aparición de los ordenadores electrónicos supuso una ayuda en el campo de la Fotogrametría. Los componentes electrónicos sustituyeron a los componentes de los restituidores, y a partir de entonces, muchas de las operaciones realizadas manual o mecánicamente se realizan ahora en computadoras u ordenadores.

Los restituidores analíticos ofrecían ventajas extraordinarias respecto a los analógicos: no ofrecían limitaciones ópticas ni mecánicas en la formación de modelos matemáticos; podían manejar cualquier tipo de forma fotográfica, e incluso imágenes radar; permitían corregir las distorsiones y errores sistemáticos ocurridos y las variables numéricas se podían ajustar a gustos del operador en función de los condicionantes internos y externos prefijados. Además, los restituidores analíticos incorporaban, una gran cantidad de paquetes informáticos, siendo el usuario el que selecciona el que más le interesa en función de la definición del problema a resolver.

III.2.- ETAPA DIGITAL

En las últimas décadas, los dispositivos de adquisición de imagen digital han sufrido una evolución significativa gracias al avance de la microelectrónica y de los semiconductores. El uso de imágenes digitales junto al de fotografías (analógicas) ha sido lenta pero gradual a partir del lanzamiento de satélites al espacio; el primero de ellos fue el "Sputnik soviético" 1957.

El desarrollo experimentado en el hardware y software de los ordenadores, así como la reducción de costos del equipamiento ha facilitado, junto a la introducción de cámaras digitales y de escáneres el auge de la fotografía digital, la fotogrametría que maneja imágenes digitales. La expansión comercial en fotogra-

metría digital se produjo a principios de 1990 y en la actualidad, las ventajas de las estaciones fotogramétricas digitales superan a las de los restituidores analíticos.

La fotogrametría digital trabaja con imágenes digitales y pretende automatizar al máximo las tareas que requieren de operadores muy experimentados. Este cambio en la práctica de la fotogrametría ha quedado reflejado en la siguiente interpretación: "...Fotogrametría analítica que se ha modificado para aumentar el grado de automatización"...

Otro hito fundamental en la historia de la fotogrametría ha sido la incorporación del GPS ("Global Positioning System"). Las primeras pruebas con GPS situados en avión se realizaron a finales de 1980 (Lucas en 1996).

El Gps cinemático aerotransportado permite determinar con precisión la trayectoria del avión y las coordenadas del centro de proyección de la cámara o sensor. De este modo el trabajo de apoyo en campo se reduce al mínimo. Estudios y experiencias más recientes integran el GPS junto a sistemas de navegación inercial (INS, Inertial Navigation System)

El GPS/INS aerotransportado supone un avance indiscutible en Geodesia y en Fotogrametría; la determinación precisa de los parámetros de orientación externa por métodos directos es una realidad y las repercusiones económicas son enormes.

III.3.-ESTADO ACTUAL Y ÚLTIMAS TENDENCIAS.

Actualmente la fotogrametría afronta uno de los mayores retos de su historia; automatizar las tareas fotogramétricas convencionales realizadas por un operador experimentado. Dicho grado de automatización viene ligado al desarrollo de

los procesos digitales en fotogrametría. La finalidad que se persigue es la automatizada de las operaciones de medición, interpretación y reconstrucción de objetos o de superficies. La automatización total no es todavía un hecho real: de momento solo es posible la automatización más o menos exitosa de ciertas partes del proceso fotogramétrico.

En estos momentos nos encontramos en una fase de transición de los procedimientos puramente analíticos a los digitales (procedimiento analítico con implementación de procesamiento digital de imagen). La fotogrametría clásica basa en fotografías convencionales deja paso a sistemas de captación de imágenes digitales y sistemas productivos digitales, esto es, sistemas fotogramétricos digitales. La cámara fotográfica se considera un sensor más de entre los muchos sensores y sistemas de teledetección que existen en el mercado. Las cámaras digitales se utilizan ampliamente en tareas de fotogrametría terrestre. Los primeros sensores aerotransportados digitales y métricos ya han salido al mercado. Estos están destinados a cubrir el espacio métrico entre las cámaras aéreas tradicionales y los satélites artificiales.

La situación actual en el mundo fotogramétrico se caracteriza por una serie de tendencias:

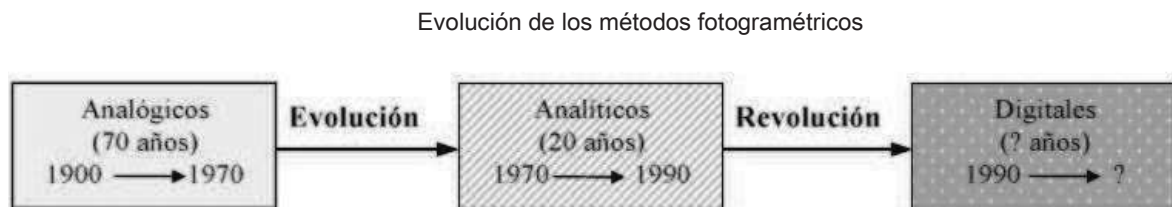
- El uso de cámaras analógicas y digitales aerotransportadas en aviones y vehículos espaciales sincronizados con sistemas de posicionamiento espacial y de navegación inercial, e. g. GPS/INS.
- El uso de cámaras digitales multispectrales. Las resoluciones espectral y radiométrica son mayores en las cámaras de estado sólido CCD o CMOS que en las cámaras convencionales. Lo mismo sucede con el rango diná-

mico y la sensibilidad. El escollo de la resolución espacial va solucionándose paulatinamente.

- La combinación de procedimientos fotogramétricos digitales y laser en la modelización tridimensional de objetos y de superficies.
- Sistemas digitales automatizados multitarea y multiproducto de fácil manejo, compatibles y abiertos. En una misma fotogrametría digital se pueden realizar orientaciones, modelos digitales, ortoimágenes, visualizaciones tridimensionales, triangulaciones, filtros, clasificaciones, videos, etc.
- La integración de datos (alfanuméricos, gráficos y audiovisuales) en Sistemas de información Geográfica (SIG) de diseño asistido por ordenador (CAD) bases de datos (BD) e internet.
- La tendencia en el mercado del abaratamiento paulatino de los nuevos productos digitales e informáticos y que los programas a nivel usuario sean más amigables y sencillos. Todo ello hace suponer que en un futuro no muy lejano habrá una mayor demanda de productos digitales. Consiguientemente, también bajarán los precios de los mismos.

Al respecto es importante tener en cuenta que el cambio de la fotogrametría clásica analógica a la fotogrametría analítica no supuso ningún tipo de modificación en cuanto a principios ni resultados, consistiendo en una lógica evolución de los aspectos relacionados con la precisión y la productividad de los métodos fotogramétricos, se trata por tanto de una evolución metodológica. La transición entre la Fotogrametría Analítica y la Fotogrametría Digital se presenta como la aplicación de unos procedimientos clásicos a una plataforma nueva, así todos los procesos fotogramétricos convencionales continúan aplicándose y se producen los mismos productos: básicamente, coordenadas de los objetos, mapas y imágenes ortorrectificadas. Esta situación aparente no obstante oculta una perspectiva de

modificación de toda la estructura como apuntó Ackermann, por lo que podríamos hablar de revolución tecnológica.



A pesar de que la fotogrametría se ve por la rápida evolución que transforma la instrumentación y las metodologías del trabajo, la instrumentación tradicional cuenta con un nivel de calidad extraordinario y continúa prestando servicio en algunas empresas e instituciones. Así mismo la amortización de costes en las cámaras métricas en los escáneres fotogramétricos y en los restituidores, hace impensable la justificación de los entornos analíticos e incluso analógico al menos en una o dos décadas. En consecuencia tendremos que acostumbrarnos a la convivencia de los tradicionales equipos fotogramétricos con los nuevos sistemas digitales cada vez más rentables aunque todavía caros y costosos de mantener y actualizar.

Por último hacemos mención a las grandes posibilidades que internet ha abierto está abriendo y seguirá aportando en el campo de la fotogrametría. Hoy en día existen multitud de aplicaciones y utilidades relacionadas con la fotogrametría a las que se pueden acceder a través de internet. Especialmente están aflorando cada día más suministradores de datos espaciales y de sistemas de metainformación. La adquisición de información procedente de todo el mundo y accesible desde cualquier lugar, la disponibilidad de publicaciones y documentos, la

ejecución de programas en servicio remotos , el traer, cargar y ejecutar programas en ordenadores locales, etc., es una realidad a través de la WWW al igual que las conexiones remotas vía internet o intrainet está permitiendo afrontar grandes desafíos a toda la comunidad científica y el mundo fotogramétrico electrónica y ala fotogrametría móvil.

A continuación se presenta un ejemplo de una cámara digital moderna:

III.4.- EJEMPLO DE UNA CÁMARA DIGITAL MODERNA:

UltraCamXp

Anunciada en 2008.

Heredera de la exitosa UltraCamX.

Cámara Aérea Digital Matricial.

Imagen individual de 196 Megapíxeles.

Nuevo sistema de almacenamiento a bordo.

UltraCam-Xp
Cámara digital de gran formato.(Fig. IIIa)



Fig. IIIa

Descripción de Componentes:





Unidad de descarga en oficina.

Información general

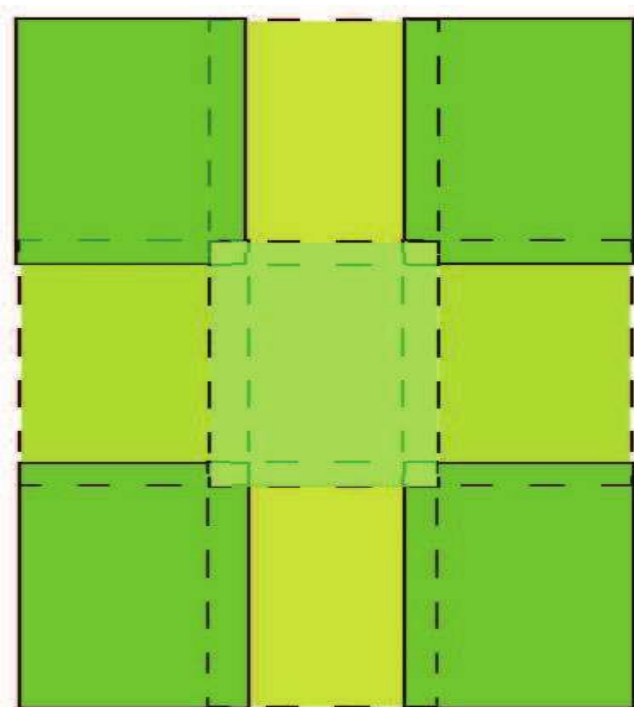
4 Conos Pancromáticos.

4 Conos de color: 2 RGB y 2 NIR.

13 CCDs unidos a los conos.



IMAGEN PANCROMÁTICA:



4 Conos.

4 Lentes.

4 Planos Focales.

9 CCDs*.

12 áreas de solape.

*Un CCD es un chip sensor (del inglés Coupling Charge Detector o Detector de Acoplamiento de Carga)

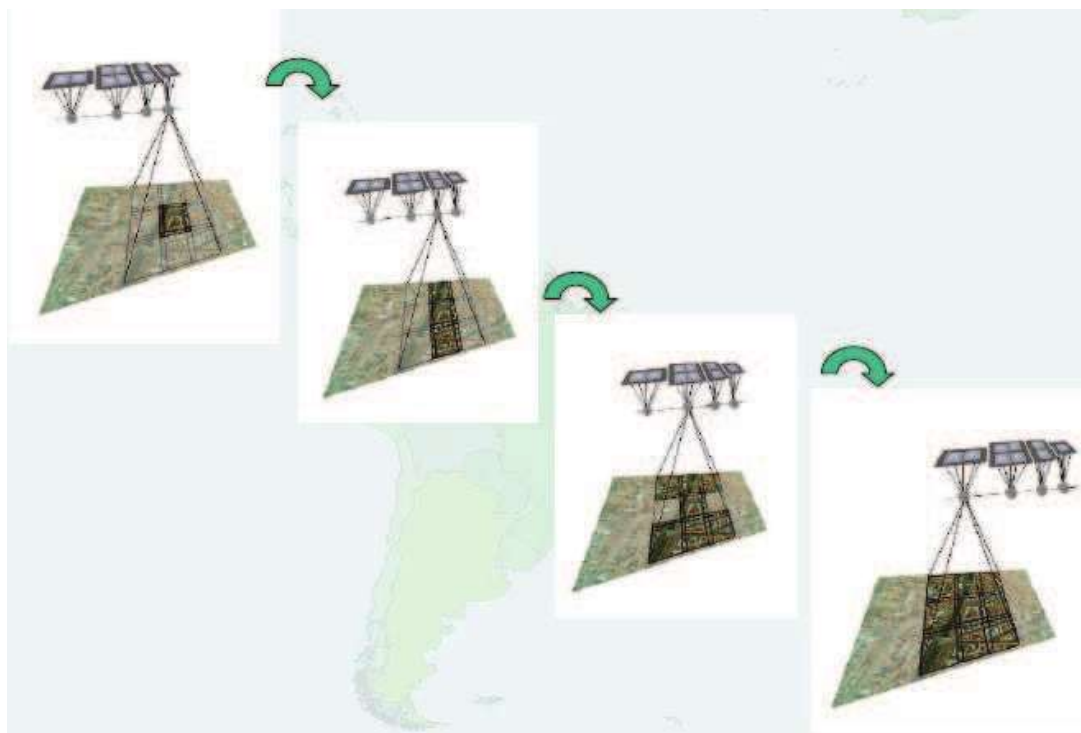
en lugar de una película fotosensible. El medio de almacenamiento está constituido por una unidad de memoria.



Principio de funcionamiento – Disparo Sintópico

Los cuatro conos que definen la imagen pancromática, se disparan con un retardo proporcional a la velocidad del avión, de modo que obtenemos un único centro de proyección para todos los conos.

Disparo con retraso 1 msg.

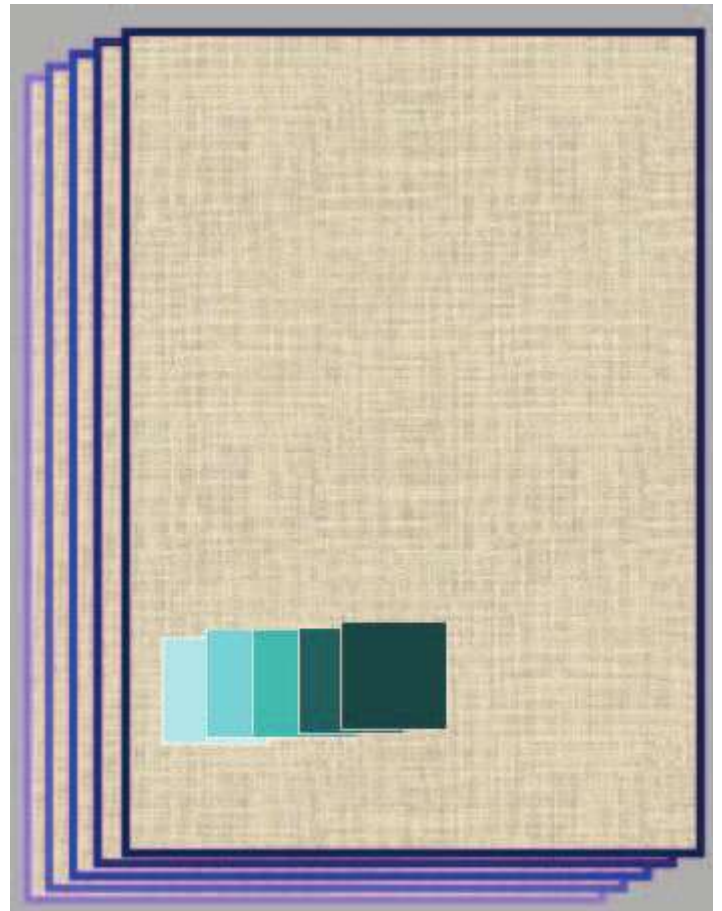


UltraCamXp

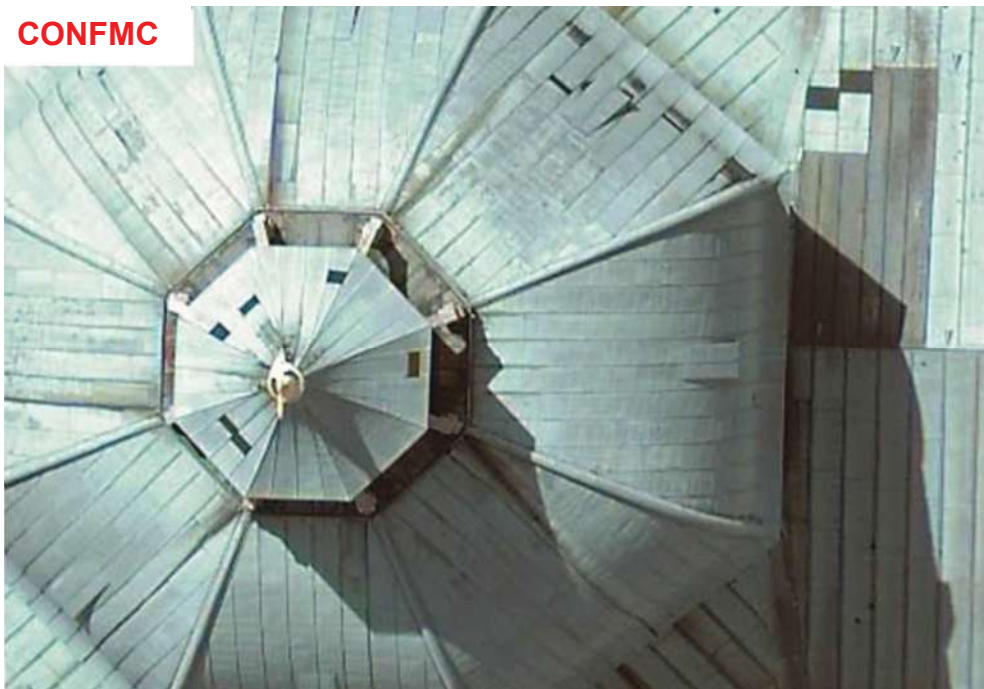
**FORWARD MOTION COMPENSATION
(FMC):COMPENSACIÓN DE MOVIMIENTO
HACIA ADELANTE.**

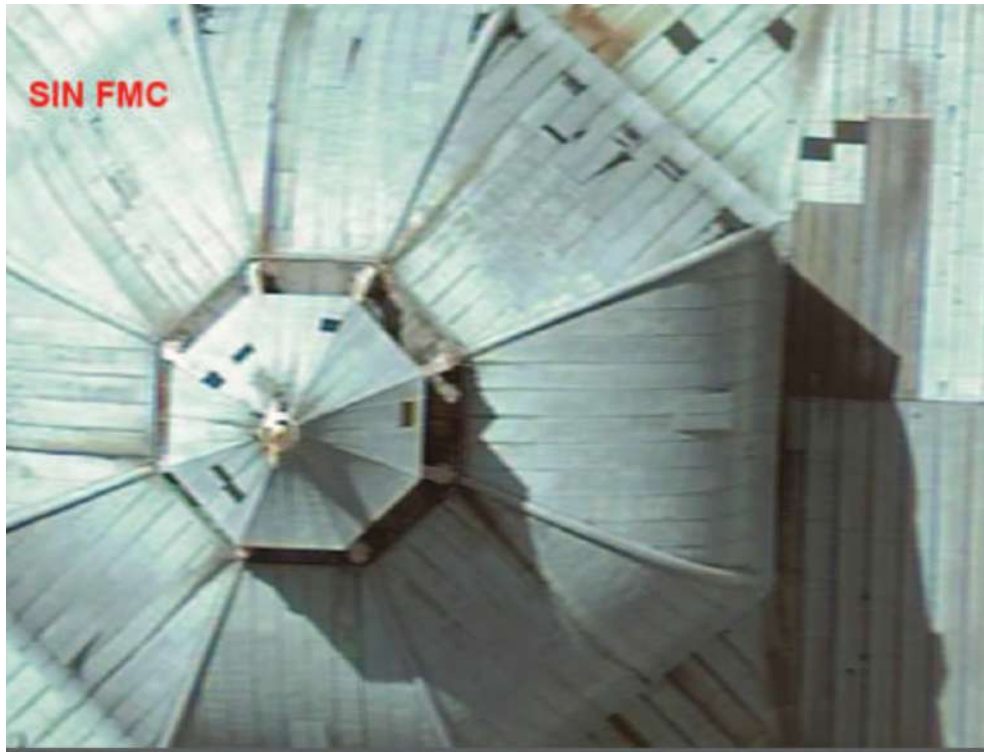
Los Beneficios del FMC:

- Volar más rápido.
- Exposición Mayor.
- Mayor Calidad y nitidez.



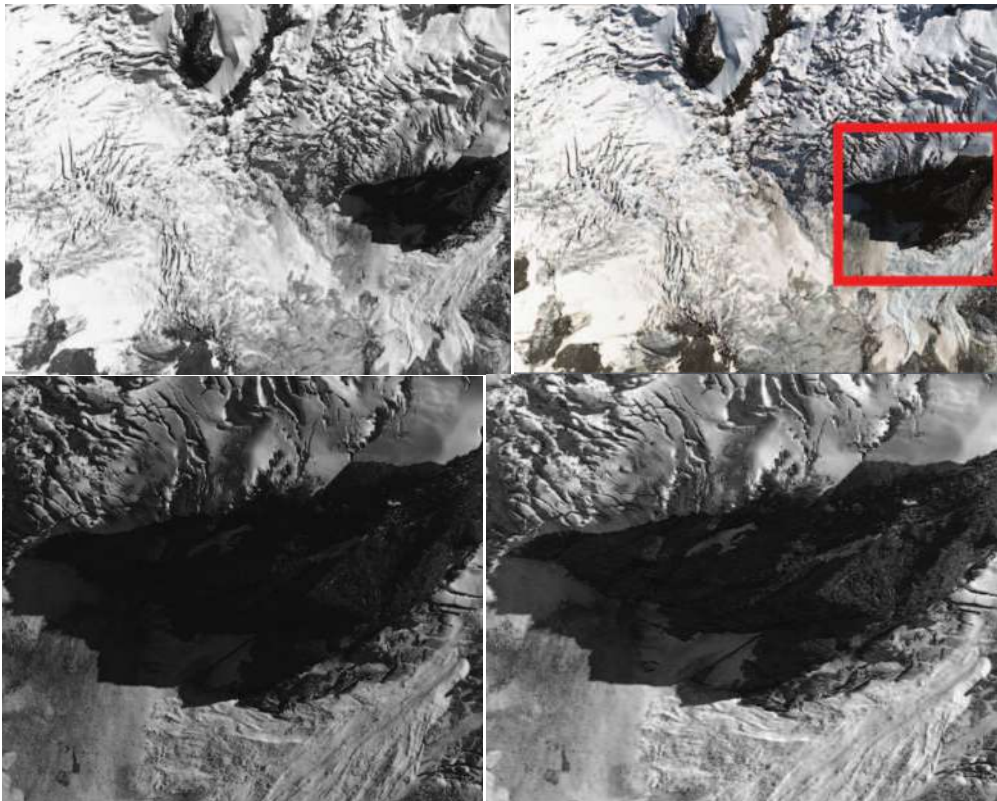
CONFMC

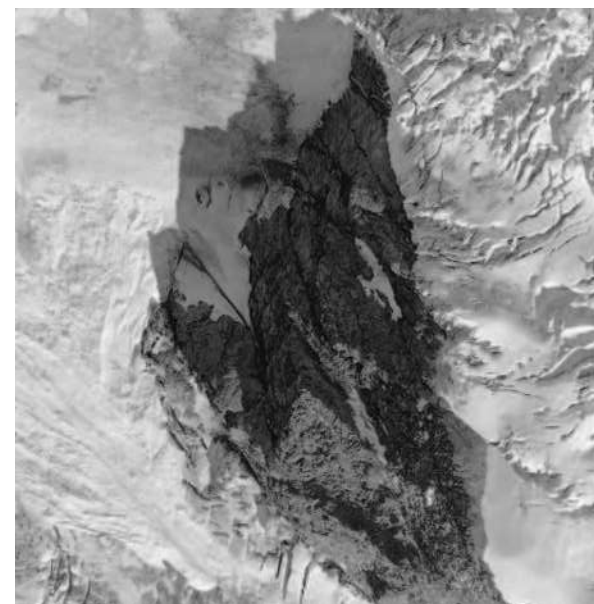
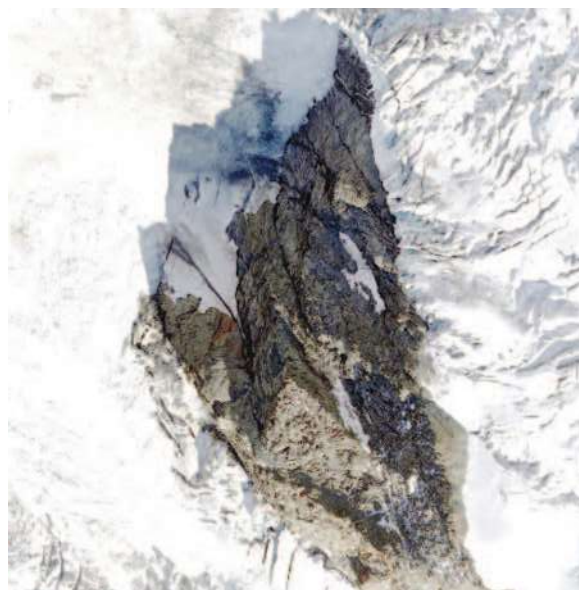




Propiedades Radiométricas

Grandes Resultados en Condiciones extremas:





Obtención de Imágenes Multiespectrales Simultáneamente:



Como podemos observar, las cámaras digitales hoy en día nos ofrecen estos y muchos más beneficios haciendo que el trabajo, la técnica y proceso de la fotogrametría sea más preciso. En México es más común cada día que de acuda a el uso de este sistema para la elaboración de proyectos dada su rapidez con la que se logra ejecutar un anteproyecto y posteriormente un proyecto geométrico de carreteras.

A pesar de los avances tecnológicos que se han venido presentando en las cámaras pasando de las analógicas a las digitales y de los restituidores mecánicos a los modelos computarizados, existen ya nuevas tecnologías que por su gran capacidad dejaran poco a poco el desuso a estos sistemas, tales tecnologías las mencionare muy brevemente el tema que continua.

III.5.-Altimetría Láser –LIDAR.- El Sistema LH ALS40. LIDAR AEROTRANSPORTADO.

III.5.1.- INTRODUCCIÓN:

El disponer de cartografía cada vez más precisa y actualizada es una necesidad de la sociedad actual. La cartografía se presenta como una herramienta básica para la planificación, gestión del territorio y como base para anteproyectos. Evidentemente, ello conlleva un importante esfuerzo por parte tanto de la administración, empresas e investigadores del sector.

Afortunadamente, día a día van apareciendo más herramientas que permiten aumentar tanto el rendimiento como la propia calidad de los trabajos realizados. En esta línea se puede señalar uno que, sin duda, desempeñarán un importante papel en un futuro muy cercano en la generación de MDE y ortofotografías, la utilización de sensores digitales y de sistemas de altimetría láser (LIDAR).

La palabra LIDAR es el acrónimo de los términos LightDetection And Ranging, es decir, detección y medida de luz. Esta técnica que originalmente era utilizada con fines militares, en la actualidad se está convirtiendo en una técnica alternativa a las técnicas topográficas y fotogramétricas para la generación de MDE de gran densidad y precisión.

Así, un LIDAR es un láser aerotransportado que se emplea para la adquisición de coordenadas terreno en tres dimensiones. El LIDAR utiliza un rayo láser emitido desde el avión para medir la distancia con respecto al terreno. Esta distancia se combina con la información proporcionada por los sistemas GPS/IMU para obtener en postproceso las coordenadas x,y,z de los elementos del terreno.

El sistema LIDAR Aerotransportado es un sistema óptico de medición de luz reflejada por objetos lejanos, que determina distancias a partir del tiempo que tarda cada pulso emitido por el sensor en llegar a la superficie y volver. Estas distancias combinadas con la información proporcionada por los sistemas GPS (Global Positioning System) e IMU (Inercial MeasurementUnit) (Unidad de Medición Iner-

cial) sistemas de orientación y posicionamiento preciso del avión, permiten obtener las coordenadas x, y, z de los elementos de la superficie.

El proceso entero de producción de datos LIDAR se puede dividir en 3 partes:

- 1.- Captura.
- 2.- Procesamiento.
- 3.- Entrega de productos finales.

Durante la captura de datos el Sensor LIDAR aerotransportado escanea la superficie de manera perpendicular al vuelo, capturando la información de la superficie del terreno en forma de densas nubes de puntos. Una ventaja en la captura de información de LIDAR es que a diferencia de otros sensores, el sensor LIDAR es activo, esto significa que puede capturar información sin tener en cuenta el ángulo solar e incluso es posible obtener información durante la noche, aunque deban evitarse la realización de vuelos en condiciones de vientos fuertes, nevada, lluvia, niebla y elevada humedad.



Fig. IIIb.- Ángulos de escaneo sistema lidar.

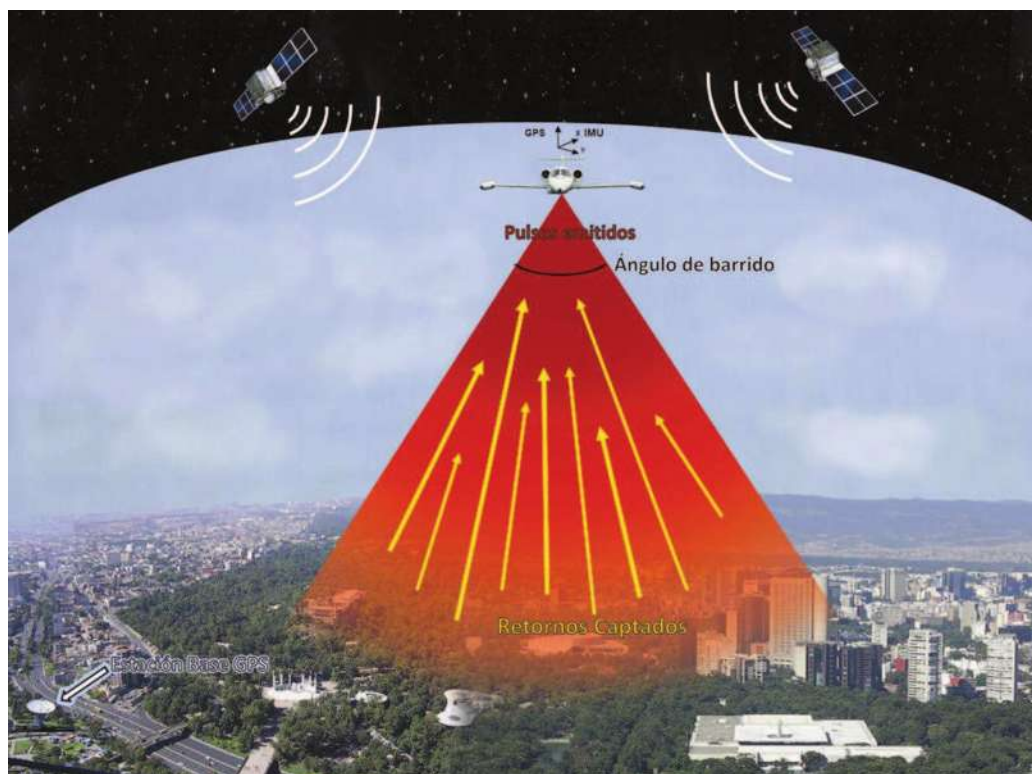
Otra ventaja de la tecnología LIDAR consiste en la posibilidad de penetración de cada pulso emitido a través de hojas o cubiertas delgadas, permitiendo la captura de hasta 4 retornos (ecos) por pulso. Esto facilita medir la altura del terreno en zonas completamente cubiertas por la vegetación, con una **precisión vertical inferior a los 15 cm**, dichas ventajas no son posibles con técnicas de medición altimétrica clásicas como la fotogrametría.

El Procesamiento se realiza una vez la nube de puntos es capturada, en esta fase varias intervenciones automáticas (algoritmos automáticos de clasificación, filtrado automático de errores, etc.) e intervenciones manuales (edición por parte de un usuario experto) deben ser aplicadas para segmentar, editar, clasificar y modelar los puntos medidos. Estos pasos usualmente requieren una gran capacidad de almacenamiento para ejecutar productos intermedios y controles de calidad específicos, también es necesario personal experimentado en el manejo de un complejo y costoso software. Tabla III.1

Tabla III.1.- Datos del relieveModelo digital de elevación de alta resolución LIDAR, Tipo terreno	
Nombre del producto:	Modelo digital de elevación de alta resolución LIDAR, tipo terreno
Escala de los datos:	No tiene escala
Resolución:	5 metros
Cobertura del modelo:	3' 45" latitud y 3' 20" longitud para el formato cartográfico a escala 1:10 000.
Cobertura geográfica:	Parcial
Proyección geográfica:	Universal Transversa de Mercator (UTM)
Tipo de archivo:	Raster
Formato de intercambio:	Formato ASCII y GRID con valores de tipo flotante en formato binario
Requerimiento de equipo y software:	Procesador Pentium, Velocidad de 75 MHz, memoria RAM de 64 Mb (se recomienda procesador core i5 o i7) y disco duro de 6 Gb, y cualquier software manejador de MDE o de datos en 3D y Sistemas de Información Geográfica.
Presentación del producto:	El producto se proporciona en formatos cartográficos a escala 1:10 000.
Unidad de comercialización:	Cubrimiento territorial conforme al formato cartográfico a escala 1:10 000.
Medio de comercialización:	Sobre pedido (se entrega en disco compacto o vía internet mediante un sitio FTP).
Descripción:	Es un registro de las elevaciones existentes sobre el nivel del mar derivado de la obtención de puntos mediante tecnología LIDAR (detección y medición a través de la luz). El LIDAR es un sistema activo de rayos láser que emite un haz de luz sobre la superficie terrestre (pulsos) para luego recoger sus reflejos, también denominados retornos o rebotes. El modelo digital del terreno LIDAR se obtiene de la nube de puntos ajustada al terreno mediante procesos geodésicos, de la que se seleccionan aquellos puntos que corresponden únicamente al terreno, generando una "nube de puntos clasificada" a la que se le aplica una interpolación a los puntos clasificados del último retorno y habiendo eliminado aquellos puntos que no pertenecen al terreno como los reflejados por infraestructura, vegetación y objetos aéreos como nubes o pájaros, de esta manera se puede generar un modelo digital de elevación de tipo terreno con una resolución horizontal de 5 m.

Utilidad:	A partir de estos modelos se pueden modelar las alturas y obtener entre otros aspectos, tales como pendientes, secciones desniveles, áreas sujetas a inundación, generación de curvas de nivel, volúmenes de tierra, delimitación de cuencas, etc. Estos datos son útiles en aplicaciones de cartografía topográfica, animaciones en 3D, para simuladores de vuelo, estudios hidráulicos e hidrológicos, ingeniería civil, gestión de zonas de costa, estudios generales de vegetación, ubicación torres con de líneas eléctricas y de comunicación.
Observaciones:	El modelo se acompaña de un archivo auxiliar de datos y metadatos de acuerdo al estándar Internacional FGDC -STD- 001-1998.
Fuente:	Departamento de Modelos Digitales de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.

Las aplicaciones que trabajan con estos datos están diseñadas para crear e interpolar redes triangulares (TINs2), y dado que los datos deben ser leídos en memoria, las TINs deben ser creadas en segmentos. Este requerimiento implica que para procesar la nube de puntos es indispensable dividirla en grupos más pequeños.



FigIIIc.-Esquema de los elementos básicos del sistema.

Por tanto, los sistemas de altimetría láser actuales se pueden considerar que son la unión de tres tecnologías que actualmente están en un estado evolutivo maduro: los sistemas de distanciometría láser (LIDAR), los sistemas de posicionamiento global mediante satélite (GPS) y los sistemas de referencia inercial de alta precisión (IMU).

Dichos sistemas requieren la utilización de un avión similar al empleado para la toma de fotogramas aéreos. Asimismo, comparte con la fotogrametría el diseño del plan de vuelo ejecutando pasadas paralelas y perpendiculares, siendo básico un buen diseño para el éxito de la operación (básico debido a su menor ángulo de campo). Pero a diferencia de la fotografía aérea, es posible realizar captura de datos sin tener en cuenta el ángulo solar (es posible trabajar de noche), aunque deban evitarse la realización de vuelos en condiciones de vientos fuertes, nevada, lluvia, niebla, elevada humedad o nubes debido a la influencia que tienen en la medida de la distancia recorrida por el rayo láser.

Con los sistemas comerciales actuales, se pueden capturar datos a más de 1000ptos/s. Así una hora de vuelo proporciona más de 10,000,000 puntos, que permiten la generación de MDE de elevada precisión (**espaciado del orden del metro**). Además es importante tener en cuenta que es posible cubrir un área de 1000km² en un tiempo inferior a 12 horas obteniéndose un MDE final al día siguiente con más de 40.000.000de puntos -más de 40000 puntos/km²-. Si se trata de un trabajo lineal se puede realizar el MDE de una banda 500km de longitud en una mañana estando los resultados preparados al día siguiente (figura 1).

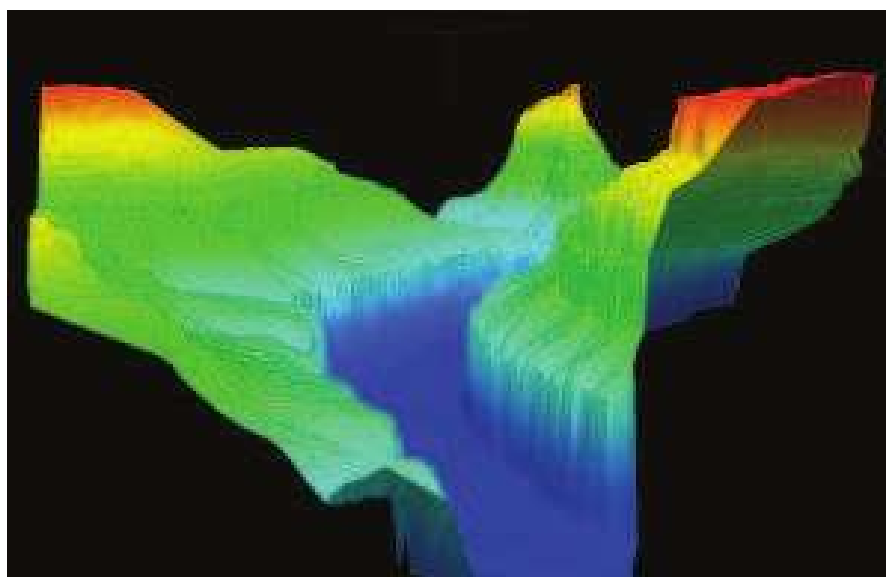
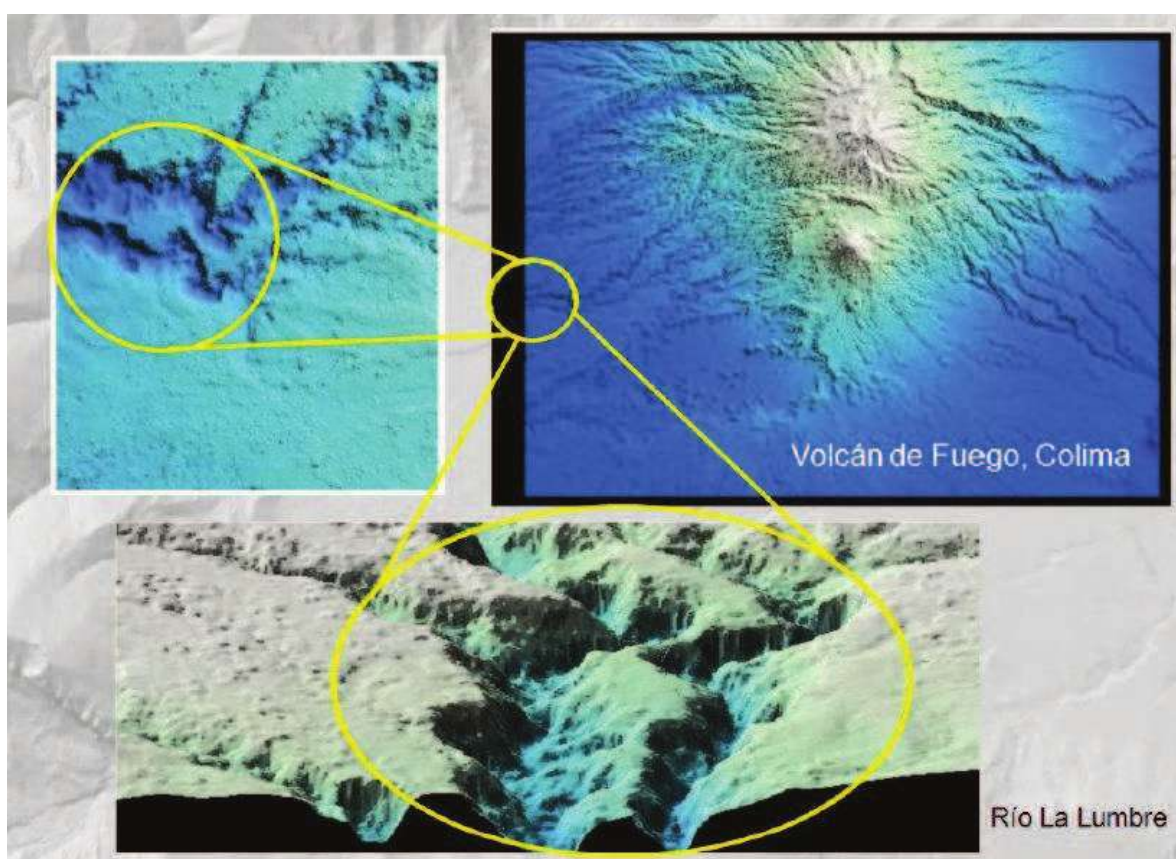


Fig. IIIId.- Vista 2.5D del Cañón del Colorado obtenido con sistemas LIDAR
(EnerQuestSystems, LLC).



La precisión de la medida dependerá evidentemente de los tres elementos básicos del sistema: el LIDAR, el GPS y el IMU. Así la precisión de las medidas estarán muy influenciados por los errores del IMU y del ángulo de barrido sobre todo para alturas de vuelo grandes, mientras que los errores del GPS están más influenciados por la distancia a la estación base de referencia.

En la tabla III.2 se muestra la precisión del sistema LHALS40 para diferentes condiciones de trabajo:

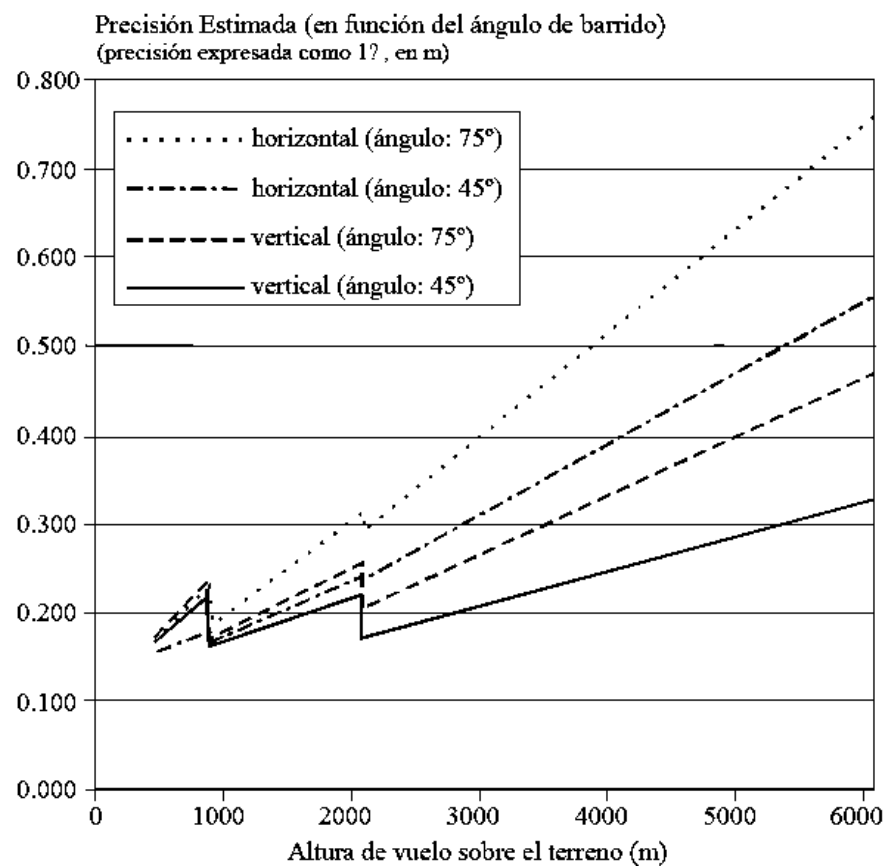


Tabla III.2.- Precisiones plani- y altimétricas estimadas con el sistema LIDAR para diferentes alturas de vuelo sobre el terreno.

Las precisiones dependen fundamentalmente de la altura de vuelo sobre el terreno, aunque se pueden indicar como valores representativos una precisión absoluta altimétrica de 15cm (relativa superior a 5cm) y altimétrica en torno a 20-30 cms.

III.5.2.- APLICACIONES:

Como principales aplicaciones de los sistemas de altimetría láser se pueden indicar las siguientes:

a) **Generación de MDE:** Es un sistema con un elevado rendimiento y rentabilidad para la captura de datos de elevaciones para la generación de MDE permitiendo una alta precisión y densidad de información, reduciendo el coste de ejecución.

b) **Recursos forestales:** Es uno de los primeros campos en los que se investigó la aplicación de estas técnicas. Mediante el empleo de las técnicas de altimetría láser es posible obtener de una forma precisa la topografía tanto del terreno como de las copas de los árboles en función de los retornos del láser dentro de los trabajos de post-proceso de los datos. Esto es una peculiaridad de estos sistemas por lo que los sistemas de altimetría láser aerotransportada es una técnica de gran interés para la gestión de recursos forestales.

c) **Generación de modelos tridimensionales urbanos:** Es uno de los campos de mayor interés en la Cartografía actual, así las zonas urbanas están sometidas a frecuentes e importantes cambios y concentran la mayor actividad económica, por lo que la necesidad de disponer de una cartografía precisa y actual es más acuciante. Los modelos digitales de superficie de las ciudades tienen diversas aplicaciones entre las que se pueden indicar las telecomunicaciones (telefonía móvil), los modelos atmosféricos, la planificación de riesgos de catástrofes, sin olvidar, la propia gestión de tipo urbanístico.

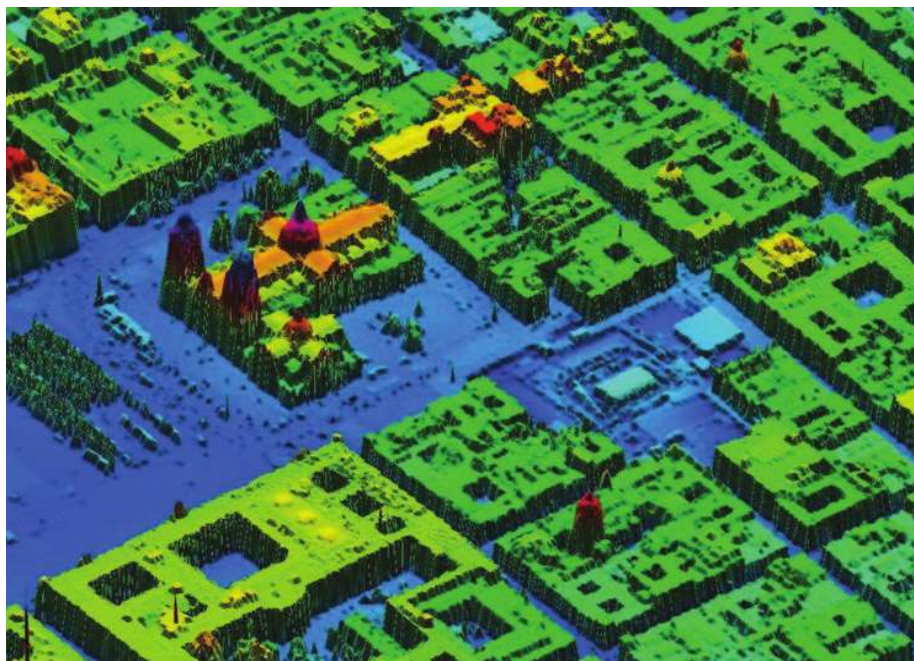


Fig. IIIe.-Modelo digital de elevación LiDAR de tipo superficie en perspectiva – Distrito Federal

d) Cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones: El empleo de estos sistemas permiten la generación de cartografías rápidas y precisas de las zonas susceptibles a sufrir inundaciones, aspecto básico para la planificación, la valoración de riesgos, e incluso, para la valoración en caso de una catástrofe.

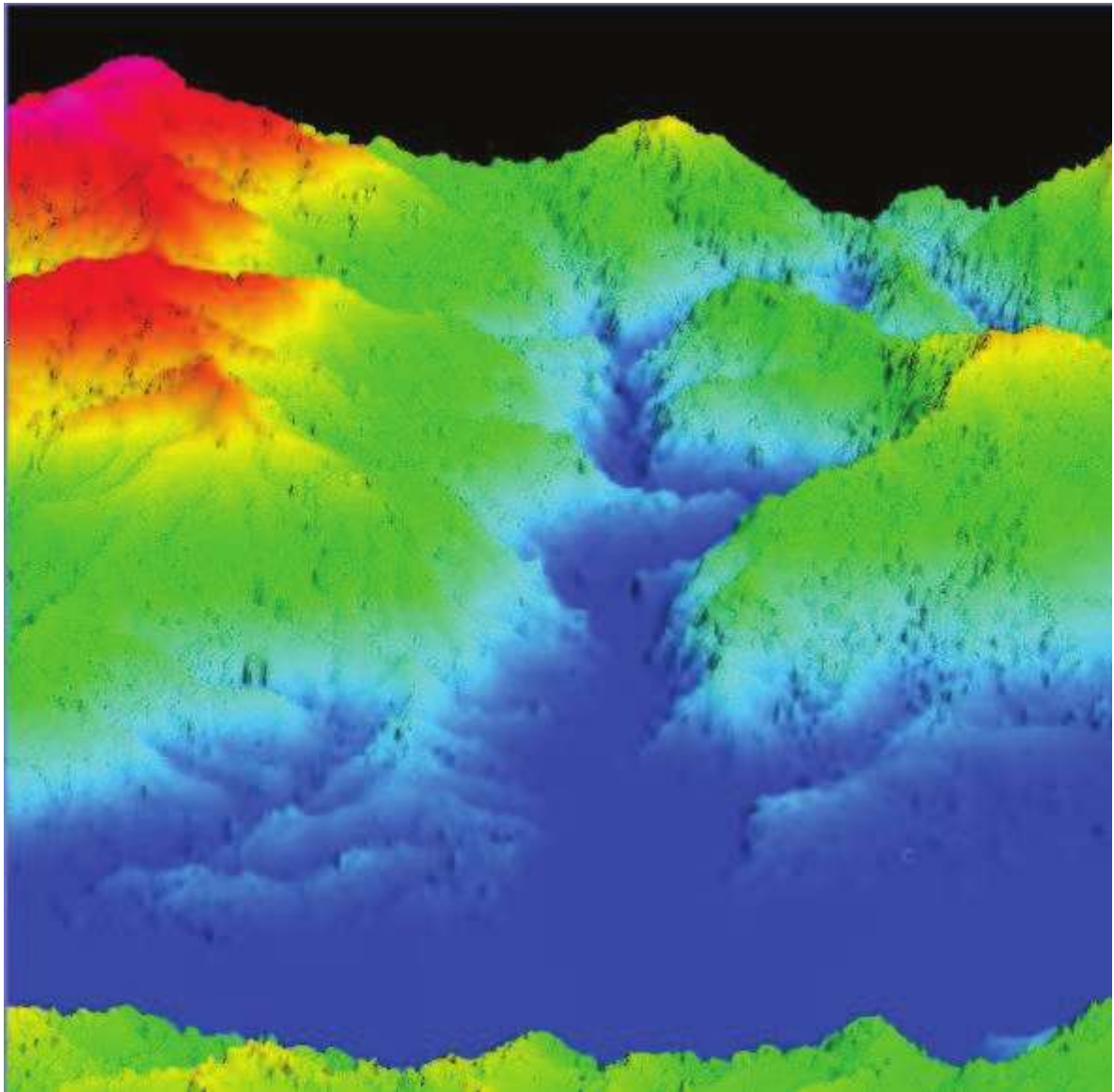
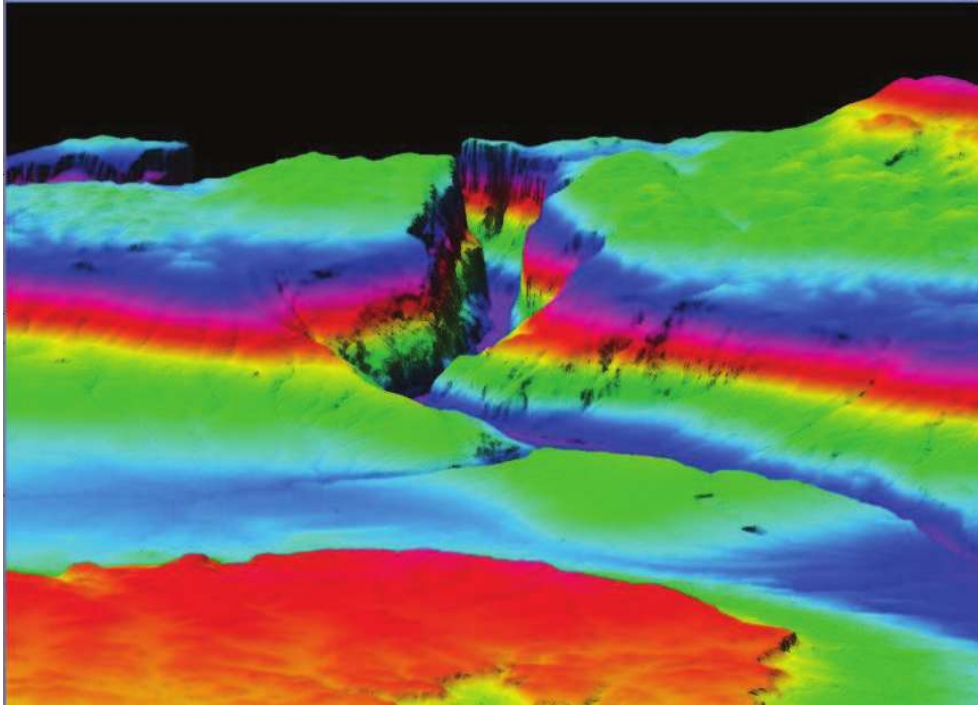


Fig. f.- Modelo Digital de Superficie LIDAR de Chiapas

e) Cartografía de elementos lineales: El sistema de láser aerotransportado permite disponer de MDE de corredores lineales con una gran rapidez y efectividad. Este tipo de cartografía es muy frecuente para el diseño y ejecución de vías de comunicación, trasvases, conducciones de gas, etc.

f) Cartografías de zonas de acceso complejo: En numerosos casos es necesario disponer de información de zonas de interés medioambiental pero de complicado

acceso terrestre (zonas pantanosas, con gran vegetación, ...) en las que la aplicación de las técnicas fotogramétricas o topográficas es compleja. En estos casos la aplicación de sistemas LIDAR presenta importantes ventajas. Esta tecnología también puede ser aplicada a zonas en las que existen depósitos de residuos tóxicos o industriales.



g) Cartografía de zonas costeras: La aplicación a las zonas costera proporciona importantes ventajas con respecto a las técnicas fotogramétricas, en particular, para el control y la monitorización de zonas especialmente dinámicas y de escasa textura de imagen, como, por ejemplo, las zonas de playa y dunas.

h) Planificación de auxilio y ayuda en el caso de desastres naturales: Los principales desastres naturales, como, los huracanes y los terremotos pueden llegar a introducir importantes cambios que deben ser considerados en la planificación y ayuda a los afectados. Para ello es necesario disponer de una cartografía rápida y precisa de las zonas afectadas que puede ser obtenida mediante la utilización de los sistemas láser.

III.5.3.- EL SISTEMA LH SYSTEMS ALS40

El sistema LH Systems ALS40 es el primer producto de la Airborne LIDAR División de LH Systems. Esta división ha surgido como el fruto de la adquisición de la empresa Azimut Corporation por parte de LH Systems en Mayo de 2001. En realidad el sistema ALS40 es una versión rebautizada del sistema Azimut AeroScan, sistema bien conocido dentro del sector.

El ALS40 (figura IIIg) está integrado por los siguientes componentes:



Fig.IIIg.- Componentes del sensor LH ALS40 (leyenda en el texto)

A) Hardware:

1. Escáner (figura 3a).
2. Sistema de control (figura 3b).
3. Ordenador de a bordo (figura 3c).

B) Software:

1. AeroPlan: Configuración del sistema
2. POSPac/POSGPS/PosProc: Resolución de trayectorias
3. LIDAR post-processor: Combina los datos de trayectoria y escáner para la obtención de puntos del terreno, permitiendo la combinación de proyecciones y

datums.

4. AeroPreview: Generación de ficheros bitmap de elevación/intensidad.
5. Visor de ficheros ALS40.
6. SOCET SET (opcional): Edición estereoscópica de los MDE.
7. TerraScan (opcional): Sistemas avanzados de filtrado de datos.

¿Qué Genera el LIDAR?

A partir de los datos colectados se genera información, que se traduce en una nube de puntos ajustada al terreno, posibilitando la generación de Modelos Digitales de Elevación LIDAR, que son la representación de elevaciones de la realidad a través de valores numéricos y generalmente constituyen una forma simplificada de la geometría de la superficie de una escena o terreno real.

Los datos colectados del LIDAR son procesados utilizando técnicas semiautomatizadas, para generar modelos digitales del terreno (MDT) de alta exactitud en los cuales los árboles, la vegetación y las estructuras artificiales han sido removidos.

En la actualidad en México el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realiza la representación del relieve generando un modelo simplificado lo más cercano a la realidad, debido a que se cuenta con diferentes métodos y soluciones tecnológicas que permiten proporcionar un número infinito de puntos o de información geográfica para tal fin mediante el uso de sistemas computarizados con la finalidad de obtener y caracterizar las formas del terreno, dicho modelo se denomina “Modelo Digital de Elevación” (MDE), el cual es utilizado como una fuente de información digital para el estudio de la superficie del terreno de México.

Por los costos y la falta de personal que esté capacitado para el manejo de este software en México no es posible por el momento contar con la aplicación de este sistema para la generación de un anteproyecto geométrico carretero.

Capítulo IV.

LA RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

IV.1.- RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. (MÉTODO ANALÓGICO).

Se define como el conjunto de operaciones que se realizan con el objetivo principal de transferir toda la planimetría y altimetría de un modelo estereoscópico a un plano ortogonal a escala, es decir, la restitución implica la conversión de la proyección cónica de la fotografía aérea a la proyección ortogonal en el plano, con los debidos ajustes de escala y posición.



El proceso de restitución puede hacerse de diferentes formas y a varios niveles de precisión, de acuerdo con el instrumento que se utilice y con el apoyo terrestre con que se cuente.

El proceso de restitución de los detalles de las fotografías aéreas al plano ortogonal, pretende reconstruir lo fotografiado respecto a la posición absoluta y relativa de la cámara en el momento de la exposición.

Para la restitución o transferencia hay que seguir una serie de pasos a fin de eliminar errores propios de la fotografía en cada detalle de interés

Para la reconstrucción real del modelo se siguen los siguientes pasos:

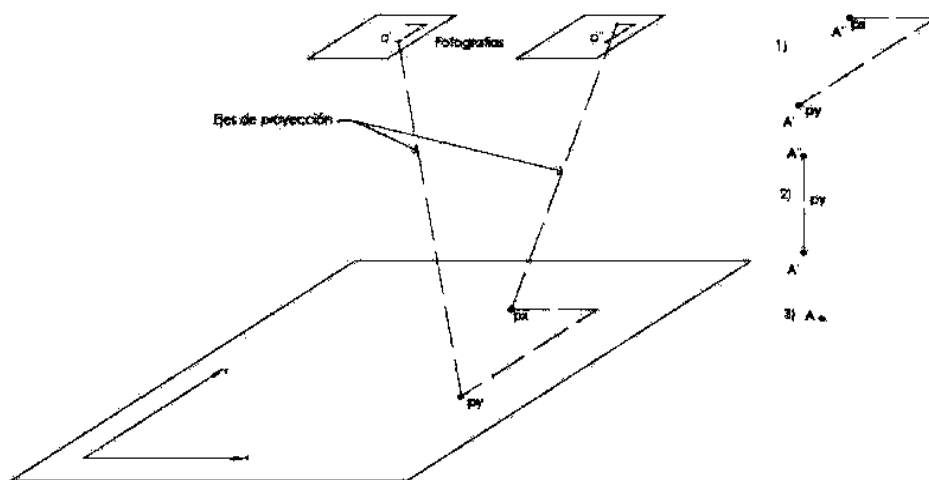
- 1.-Orientacion interna
- 2.-Orientacion Relativa
- 3.-Orientacion Absoluta

A fin de comprender mejor los principios teóricos y prácticos consideramos, como ejemplo, la orientación de las fotografías a partir de diapositivas proyectadas independientemente.

Orientación Interna: Consiste en la reconstrucción del haz de rayos que dan origen independientemente a cada fotografía. Se consigue de la siguiente manera:

- Centrar la fotografía en el proyector.
- Colocar la distancia de la cámara correspondiente con el objeto de obtener enfoque y nitidez de la imagen.

Orientación Relativa: Consiste en dar a dos proyectores la misma posición relativa que tenía la cámara en dos exposiciones consecutivas. Se pretende que los rayos homólogos se intercepten en un punto determinado que permita eliminar los desplazamientos en los ejes X, Y (P_x Y P_y).



Orientación Absoluta: Consiste en dar escala y nivelar el modelo en relación con los puntos de control obtenidos con el apoyo terrestre, y establecidos en el plano.

MOVIMIENTOS PARA LA ORIENTACION RELATIVA

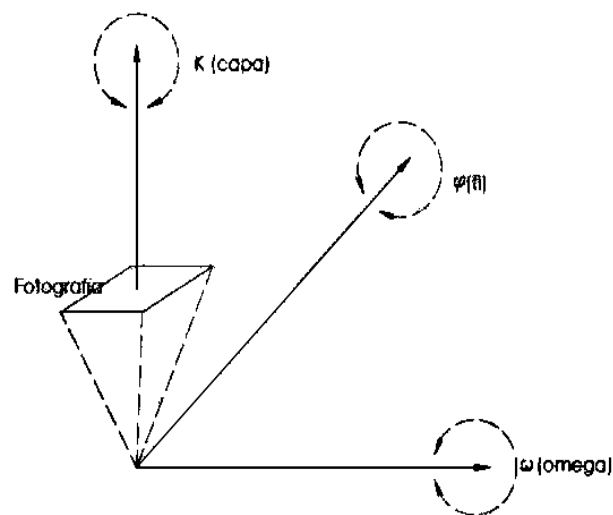
Para eliminar los movimientos en X e Y se tienen los siguientes movimientos en los proyectores.

Movimientos de Traslación:

- 1.- Sobre el eje X-bx.
- 2.-Sobre el eje Y-by.
- 3.-Sobre el eje Z-bz.

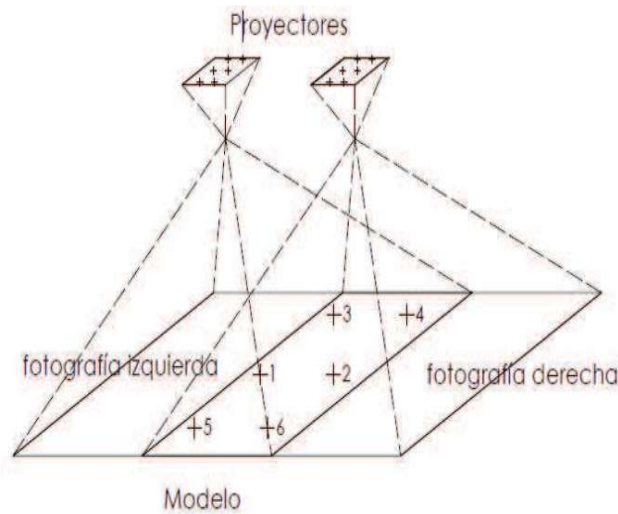
Movimientos de Rotación: (ver fig.1)

- 1.-Alrededor del eje X
- 2.-Alrededor del eje Y
- 3.-Alrededor del eje



Se ha comprobado matemáticamente que la orientación relativa al eliminar los desplazamientos se ajusta todo el modelo estereoscópico. Para su referencia es-

tos puntos se identifican convencionalmente con la numeración dada a cada uno en la figura.



Cada uno de los proyectores usados para la reconstrucción relativa de la posición correcta de la cámara fotográfica en el momento de la exposición son susceptibles de tener todos los movimientos planeados. La correcta eliminación de los desplazamientos en X e Y están en función de la precisión del instrumento y del factor humano.

Para un mejor entendimiento de estos conceptos, es importante definir el concepto de paralaje, ya que el uso de este a través de la barra de paralaje es primordial en los instrumentos estereoscópicos.

PARALAJE

Antes de abordar el tema de paralaje, dejemos clara el concepto de marca flotante.

PRINCIPIO DE MARCA FLOTANTE

Si al observar un par estereoscópico de fotografías aéreas se colocan marcas idénticas complementarias sobre puntos homólogos situados en cada una de la fotografías, las dos marcas se fusionaran y se verán como una sola “ **marca flotante**” integrada al modelo estereoscópico, formando, aparentemente, parte de la imagen a la misma altura de la zona que la rodea.

Al mover una de estas marcas con respecto a la otra en dirección paralela a la línea de vuelo (para fotografías aéreas verticales de una misma faja) Se verá la marca flotante subir o bajar con respecto al terreno. Este efecto es virtual y está integrado al modelo estereoscópico.

Para observar este fenómeno sobre un par de fotografías aéreas, mirando a través de un estereoscopio, se requiere de un instrumento conocido como **barra de paralaje**, que posee unas placas donde las marcas flotantes están grabadas sobre material transparente para ser colocadas sobre fotografías; o bien se encuentran proyectadas óptimamente. La forma de estas marcas varía pero normalmente son marcas idénticas, complementarias o tridimensionales. El tamaño varía en función del aumento del sistema óptico.

Este principio tiene importantes repercusiones en todo el proceso teórico y práctico de la fotogrametría.

PARALAJE ESTEREOSCÓPICO

Es el cambio de posición de la imagen de un mismo punto, en dos fotografías sucesivas debido al cambio de posición de la cámara. Su magnitud depende de la elevación del punto sobre el terreno.

PRINCIPIO DE BARRA DE PARALAJE

El paralaje de cualquier punto en un par estereoscópico se realiza con solo ubicar dos puntos homólogos, es decir, dicho punto y su transferido. La distancia entre estos puntos puede obtenerse directamente en las fotografías con una simple regla, sin embargo, para mayor precisión se emplean instrumentos micrométricos como la barra de paralaje o algunos otros que funcionan con el mismo principio (punto flotante).

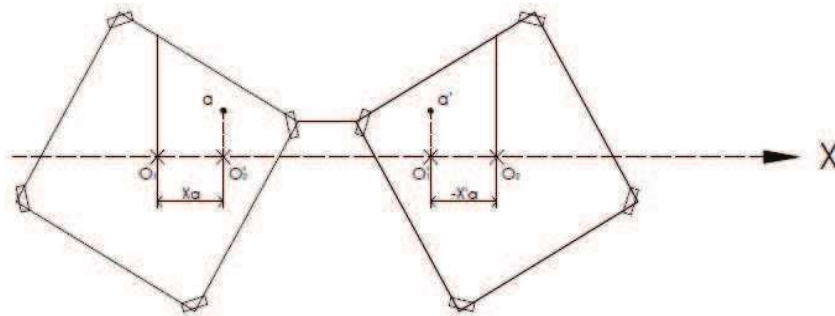


Figura 30.

Formulas generales del paralelaje:

$$Pa = Xa - X'a$$

Paralelaje para el punto en el modelo de la Figura 30 :

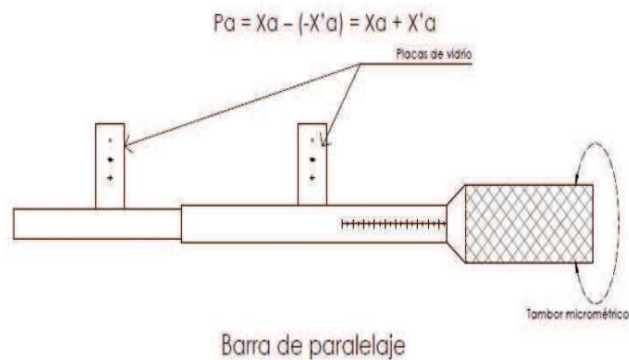


Figura 31.

MANEJO DE LA BARRA DE PARALAJE

Para utilizar la barra sobre un modelo estereoscópico se llevan a cabo las siguientes fases:

A).- En cada fotografía de las dos que forman el modelo se localizan el punto principal, desde luego apoyándose con las marcas fiduciales.

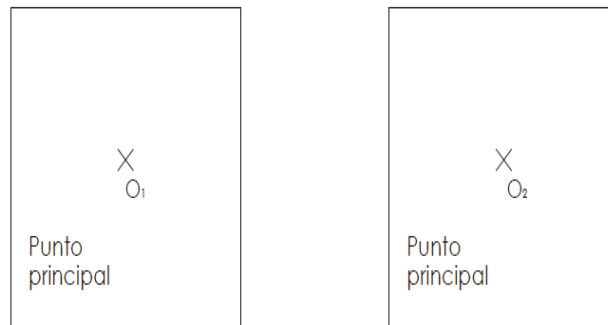


Figura 32.

B).-Con el auxilio ahora de un estereoscopio de bolsillo o de espejos se transfieren los puntos principales hacia las fotos adyacentes correspondientes.

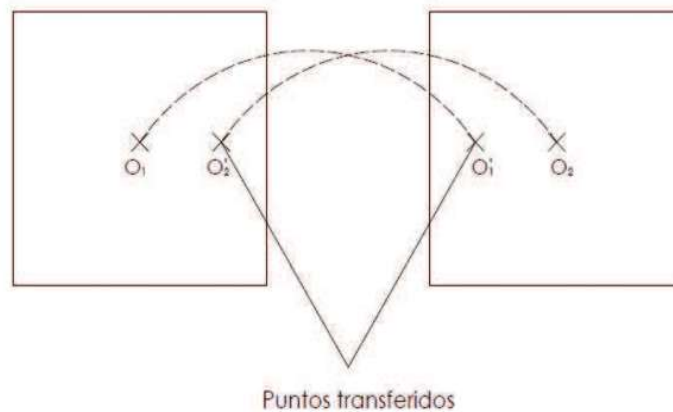


Figura 33.

C).- Nuevamente con el auxilio de una regla buscamos la forma para que los cuatro puntos de las fotografías queden alineados.

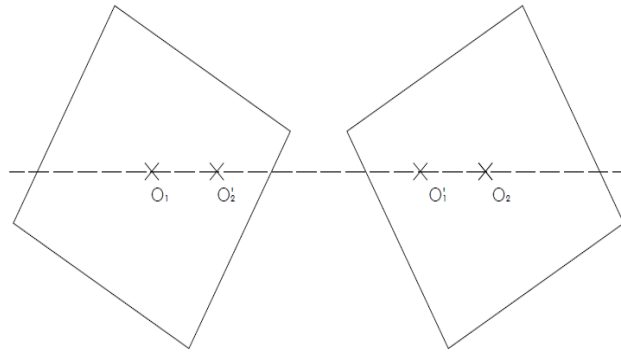


Figura 34.

D).-Con el auxilio del estereoscopio de espejos lograremos que el par de fotografías se observen en tercera dimensión tan solo con juntarlas o separarlas sin perder el alineamiento para enseguida fijarlas a la mesa de trabajo con simples trozos de papel engomado, estableciéndose de esta manera el eje de las X's del modelo.

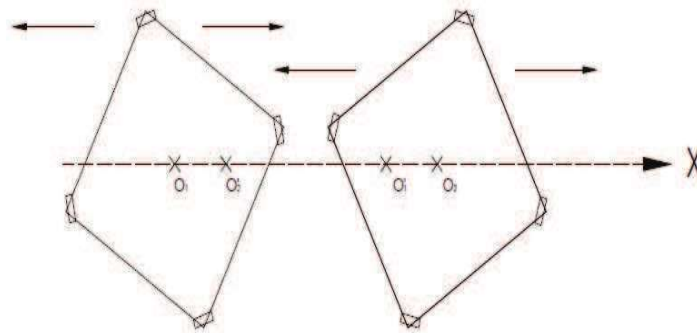


Figura 35.

E).- Enseguida se instalan sobre el modelo la barra de paralaje de tal forma que cualquiera de las marcas de vidrio izquierda coincida con el punto principal de la foto izquierda al que llamaremos siempre O1

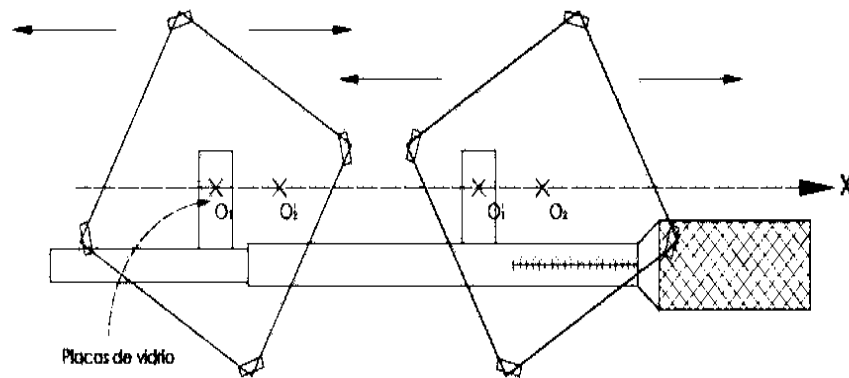


Figura 36.

F).-Para lograr que la placa de vidrio derecha coincidan con una de sus marcas con el punto transferido en la foto derecha simplemente giramos el tambor micrométrico obteniéndose de esta manera una lectura en la barra en mm llamada L01

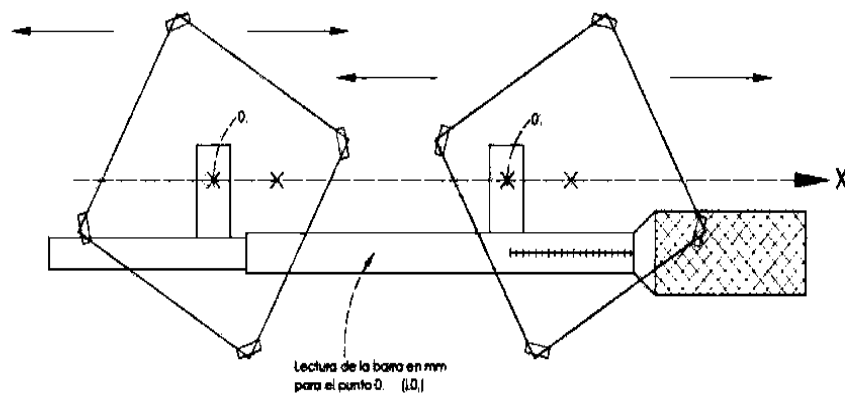


Figura 37.

G).- El procedimiento anterior se repite ahora para el punto principal de la foto derecha hasta obtener la lectura de la barra correspondiente denominada L02

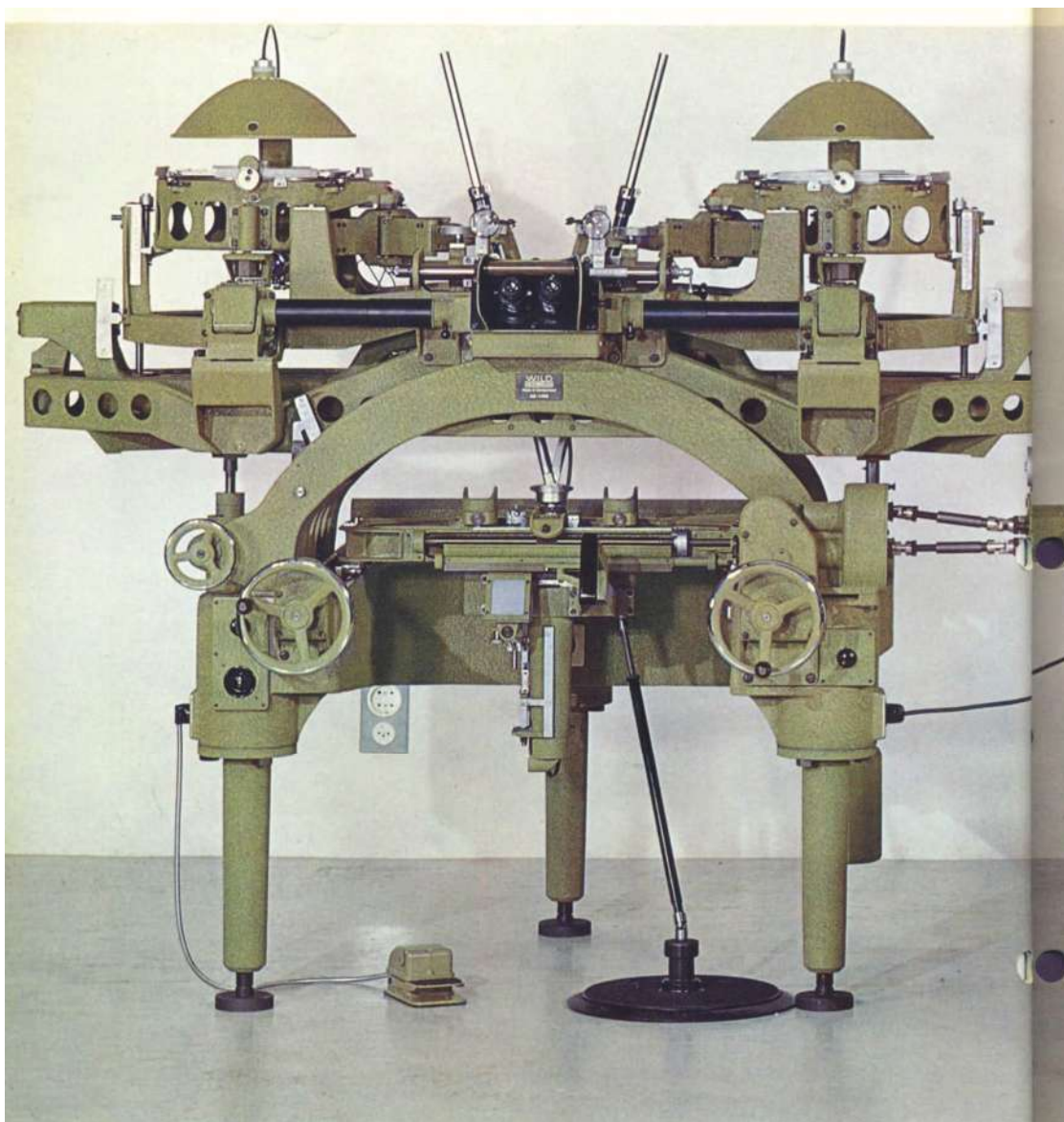


Fig. IVa.-Autógrafo WILD A8 con mesa de dibujo de 100 x 100 cm de superficie útil.



El autógrafo Wild A8 destinado para hacer mapas en escalas entre 1:20,000 y 1:1000 Dada su capacidad y gran precisión.





Fig. IVb.- Aviotab TA2 Forma un eficaz sistema de restitución estereométrica con mando por ordenador para cualquier tarea de restitución en la práctica fotogramétrica. Mesa de dibujo y pantógrafo.

IV.2.- SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL.

IV.2.1.- Introducción.

La Fotogrametría ha sufrido en los últimos años importantes cambios con la utilización de imágenes digitales cuya disponibilidad y demanda es cada vez mayor. A este proceso han contribuido los continuos desarrollos y perfeccionamiento de los componentes utilizados en los ordenadores y de las estaciones de trabajo y sobre todo la posibilidad de visión estereoscópica en monitores adaptados a un ordenador. A tales efectos, una estación fotogramétrica de imágenes digitales se caracteriza por ser un nuevo instrumento fotogramétrico cuyo funcionamiento y modelo matemático se basa en cálculos de fotogrametría analítica junto con las aplicaciones y las técnicas necesarias para el tratamiento digital de imágenes. Se pueden definir como el conjunto de hardware y software que desempeñan diversas tareas fotogramétricas de manera automática o interactivamente.

En su construcción se han sustituido las diversas componentes óptico-mecánicas de precisión de los restituidores por plataformas informáticas, en las que el tratamiento de la información se hace con una serie de aplicaciones para

las distintas tareas fotogramétricas orientadas a la manipulación de imágenes digitales.

Este desarrollo se debe a la evolución de las Áreas de conocimiento científico y técnico que afectan a la Fotogrametría Digital, mencionadas en la Figura nº1.

Algunos de los factores que ha producido esta evolución son: avances importantes de ordenadores y estaciones de trabajo, aumento de velocidad de procesamiento, desarrollo de los sistemas de captura y tratamiento de imágenes digitales, bajada de precios de productos informáticos, tanto en sus soportes lógicos como físicos, en relación al alto precio de los instrumentos formados por elementos ópticos y mecánicos de precisión como el caso de restituidores.

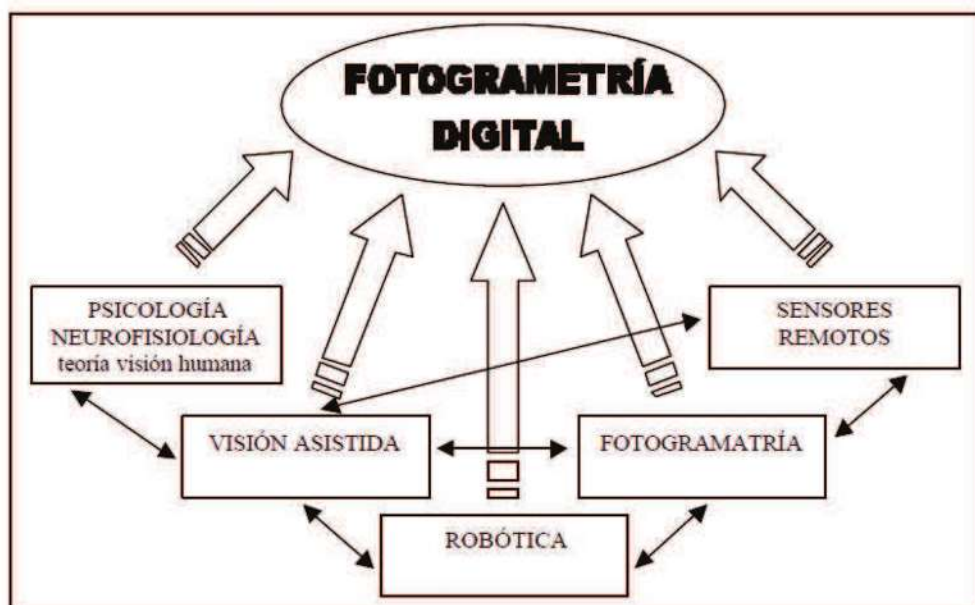


Figura IVc.-Áreas de conocimiento científico y técnico que han permitido la evolución de la Fotogrametría Digital

El principio de funcionamiento de los instrumentos digitales es similar al de los analíticos. La transformación de la proyección cónica de la fotografía del sistema placa (x,y) a la proyección ortogonal (XYZ) de terreno se hace matemáticamente. A diferencia de los analíticos se emplean imágenes digitales en lugar de material fotográfico como negativos o diapositivas. Para la obtención de estas imágenes digitales se pueden seguir dos caminos distintos:

1. Partiendo de la toma fotográfica con la cámara convencional pasar los negativos o positivos a formato digital, para ello se hace uso del scanner, que es un dispositivo que convierten una imagen de un documento o fotografía en una formato digital, de manera que puede ser almacenada y procesada por un ordenador. Al proceso de obtención de imágenes digitales se le denomina digitalización y consiste en la descomposición de la imagen real en una matriz discreta de puntos de un determinado tamaño, donde cada punto tiene un valor proporcional a su nivel de color. A cada elemento de la matriz se le denomina pixel y le corresponde uno o más valores digitales.

2. El otro modo de trabajo sería mediante la toma fotográfica con cámaras digitales, de este modo tenemos la imagen directamente en formato digital. Estas cámaras difieren de la cámara convencional en la sustitución de la película por sensores CCD(charge coupled devices). Sus principales características son la estabilidad geométrica, la menor tamaño, salida digital directa y la eliminación de marcas fiduciales. En la tabla nº2 se muestra una comparación de este tipo de cámaras con las tradicionales.

Tabla IV.3 Comparación cámaras digitales y tradicionales

CARACTERÍSTICAS	DIGITAL	TRADICIONAL
Estabilidad geométrica	Muy buena	Distorsión de la película
Sensibilidad	Muy buena 2000 ASA	200 ASA
Tamaño	Pequeño	Gran tamaño
Datos	Digitales	Analógicos
Características espectrales	0.4 – 1 micras	Pancromática, Infrarrojo color
Marcas fiduciales	No se requieren	Necesarias
Color	Es complicado	Es Fácil

Al igual que las cámaras tradicionales, las digitales también requieren una calibración que se suele hacer con test de campo y consiste en obtener las imágenes de zonas experimentales en las que hay puntos uniformemente distribuidos de coordenadas conocidas con gran precisión. Las señales son de distinto tamaño

y forma para cada punto, con el fin de poder efectuar medidas automáticas (correlación). La calibración se efectúa independientemente para cada color, con el fin de evitar aberraciones y es conveniente hacer varias calibraciones seguidas para obtener la estabilidad de la cámara que estará en función de la variabilidad de los resultados obtenidos en cada prueba.

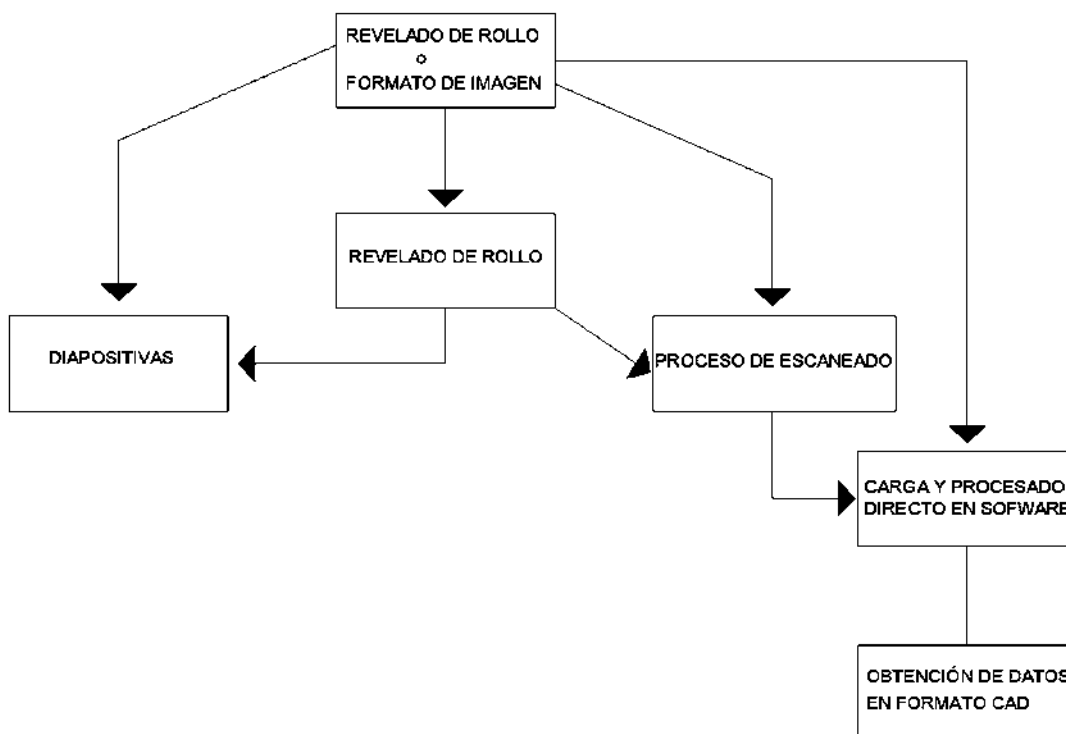
Pero hoy día, la cámara fotogramétrica digital aún no se ha implantada en el campo de la producción cartográfica, aunque si en otros campos como la medicina, por tanto el proceso de trabajo actual se basa en la utilización de la cámara tradicional y posteriormente el escaneado de negativos o positivos obtenidos.

La utilización en Fotogrametría de imágenes digitales ofrece una serie de ventajas e inconvenientes frente a las técnicas clásicas de tipo analógico, dentro de las ventajas cabe destacar:

1. Las imágenes digitales por su soporte de almacenamiento, carecen de los problemas derivados de la estabilidad dimensional que afecta a las imágenes analógicas cuando se modifican las condiciones medioambientales de su almacenamiento.
2. No requieren manipulación directa a la hora de ser utilizadas por lo que se eliminan los problemas debidos al deterioro por manipulación.

Algunos de los SOFTWARE para realizar las restituciones más usados y conocidos son:

- DELTA MAPPING.
- MAP MATRIX.
- AU 4.



En comparación con los Restituidores Analíticos la mayoría de los usuarios están divididos. Por un lado, es reconocido que un sistema de Fotogrametría Digital tiene la ventaja de tener todas las aplicaciones en el mismo equipo como son restitución, MDT, ortofotos, aerotriangulación, etc. Mientras que por otro lado, se plantea la duda en las estaciones digitales respecto a las precisiones alcanzadas en equipos analíticos, en la calidad de visión, etc., sobre todo cuando se trabaja a grandes escalas. Para ser objetivo en dar respuesta a estas cuestiones, habrá que tener en cuenta las tareas fotogramétricas a considerar y las precisiones que se necesitan obtener.

Por otro lado se pueden establecer tres aspectos diferenciales que están presentes en el restituidor digital en comparación con el analítico que son:

1. Que utiliza imágenes en formato digital,
2. Que algunas de las medidas están automatizadas y
3. Que el usuario sólo se requiere para las tareas de interpretación y edición final de resultados.

Por tanto de este análisis, se pueden extraer como conclusiones entre otras, que la calidad de la imagen hoy en día, es superior en restituidores analíticos que en los digitales aunque la diferencia, escaneando con alta resolución 15 micras, no es tan grande, pero para grandes escalas cartográficas el entorno de restitución analítico posee mejores precisiones.

Otra característica a comentar en la evolución de la Fotogrametría es que se solían utilizar imágenes pancromáticas y en menor medida las imágenes en color, aunque estas últimas han sufrido un importante crecimiento en los últimos tiempos.

IV.2.2.- COMPONENTES DE UN EQUIPO MODERNO DE CÓMPUTO PARA REALIZAR LA RESTITUCIÓN.

IV.2.2.1.- LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.

Se ha dicho anteriormente que la "ESTEREOSCOPIA" es la facultad de observar en relieve o tridimensionalmente los objetos fotografiados, lo que se consigue observando, con cada ojo, fotografías de un mismo objeto tomadas desde puntos diferentes.

El principio de la visión estereoscópica se basa en el hecho de que debido a la separación de los ojos (60-75 mm), las imágenes que percibe cada retina, no son idénticas; el cerebro transforma las diferentes impresiones, dando una percepción espacial de lo mirado. Este es el fenómeno que se utiliza en la ESTEREOFOTOGRAMETRÍA.

Al ángulo que resulta de la intersección de la dirección visual se le llama ángulo paraláctico y es precisamente la diferencia de ángulos paralácticos lo que

nos da la impresión de profundidad, lo que es considerado como agudeza visual estereoscópica.

IV.2.2.2.- LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA EN LA FOTOGRAMETRÍA.

En la fotogrametría se emplea visión estereoscópica artificial; en lugar de mirar un objeto con ambos ojos, se le muestra a cada ojo una imagen del objeto fotografiado desde puntos diferentes, es decir, un " par de fotografías estereoscópicas"; si dichas fotografías se llevan en la exacta posición la una contra la otra se produce, al mirarlas, una Impresión espacial.

Se muestra a continuación los componentes que integran un equipo moderno:

- Lentes.- Estos lentes son los que permiten ver al usuario la imagen estereoscópica (vista en 3d) en la pantalla del monitor.



- Emisor.- El emisor es un dispositivo láser que interactúa con los lentes y manda rayos para que pueda ser captada en los lentes y se proyecte la imagen tridimensional.



Interrupor óptico: Este interruptor es el que recibe el pulso de luz emitido por el emisor.





Fig. IVe.- ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL, Manivelas y Pedales con precisión de 1 micron.

IV.2.3.- LAS ETAPAS QUE COMPRENDE ESTA METODOLOGÍA DE TRABAJO SON:

En primer lugar se debe entender que la realidad es una unidad compleja que posee una localización geográfica y una variable temporal, que es necesario extraer y modelar, la forma de lograr esta condición es por medio de la captura de los datos a través de sensores que se encuentran tanto en plataformas aéreas (aviones) o incorporados al segmento espacial como son los satélites que orbitan nuestro planeta.

Cuando la información es obtenida por medio de un formato analógico como es la fotografía convencional, se hace necesario contar con la ayuda de un **ESCÁNER** fotogramétrico, el que nos permitirán transformar los datos base aun

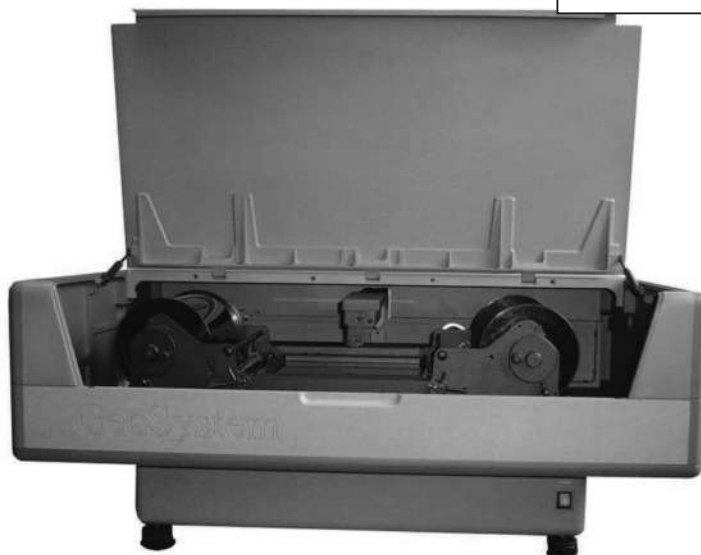
formato digital, representados por una grilla de tamaño regular con propiedades radiométricas visualizados como distintos niveles digitales de pixel.



Fig. IVf.- El Escáner está equipado de un mecanismo para escanear películas embobinadas con ancho hasta de 250 mm (300 mm para el modelo 300x450).

El Escáner está equipado con un CCD-sensor lineal a color y iluminador con potentes diodos de luz, lo cual asegura una perfecta calidad de las imágenes obtenidas

Permite guardar las imágenes en formato TIFF (sin compresión o JPEG) y BMP.



En las Estaciones Fotogramétricas Digitales (EFE) se hará la elaboración de los productos fotogramétricos. El que consiste en procesar datos digitales, corregir deformaciones de las imágenes, referenciar a un sistema de coordenadas y finalmente extraer la información semántica de interés de las distintas entidades geográficas del área del proyecto.

Para el proceso de correcciones y orientaciones de las imágenes obtenidas por el sensor, se utiliza un software específico que para este caso será:

DELTA MAPPING.

Las tareas que se ejecutan con los EFD, están organizadas de la siguiente manera:

Planificación del trabajo por medio de la elaboración de un croquis de ubicación y control de los distintos modelos o bloques de restitución.

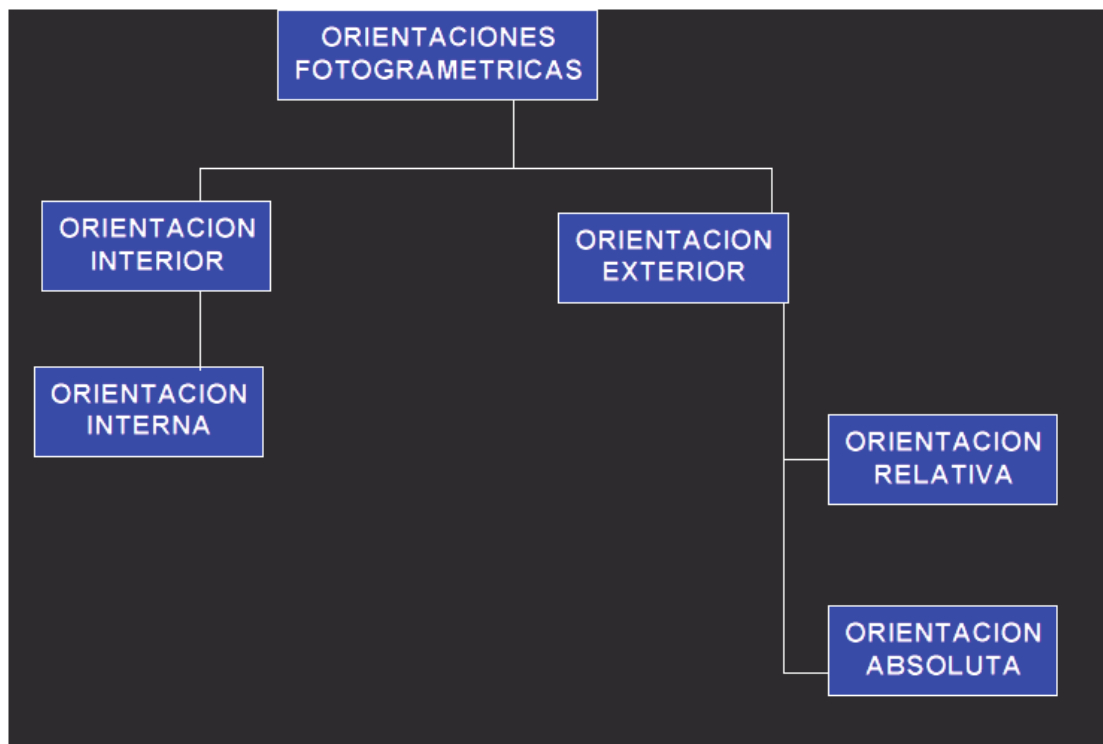
En forma paralela se debe coordinar el método de control geodésico que se utilizará, el que puede ser modelo a modelo o par bloques.

Para la orientación de un modelo estereoscópico, es necesario conocer la posición planimetría y altimétrica de algunos puntos de control distribuidos dentro de la zona a levantar.

El control terrestre se ocupa de la identificación de estos puntos en el terreno así como de su medición y cálculo, tema que abordaremos más adelante.

IV.2.4.- ELIMINACIÓN DE ERRORES EN LAS IMÁGENES:

Antes de iniciar el trabajo de restitución se debe introducir ciertos parámetros para eliminar todos los errores que contiene un par de imágenes o modelo fotogramétrico. Esta fase se denomina en fotogrametría como “Orientaciones”, las que se describen a continuación:



1.- La orientación interna:

Consiste en averiguar la focal (es un parámetro constante de la cámara si se ha hecho la calibración correspondiente) y la posición del punto principal en cada fotograma, esto se puede resolver midiendo las coordenadas en un determinado sistema (que denominaremos sistema fotografía) de las marcas fiduciales.



Fig. IVg.- Fotografía aérea.

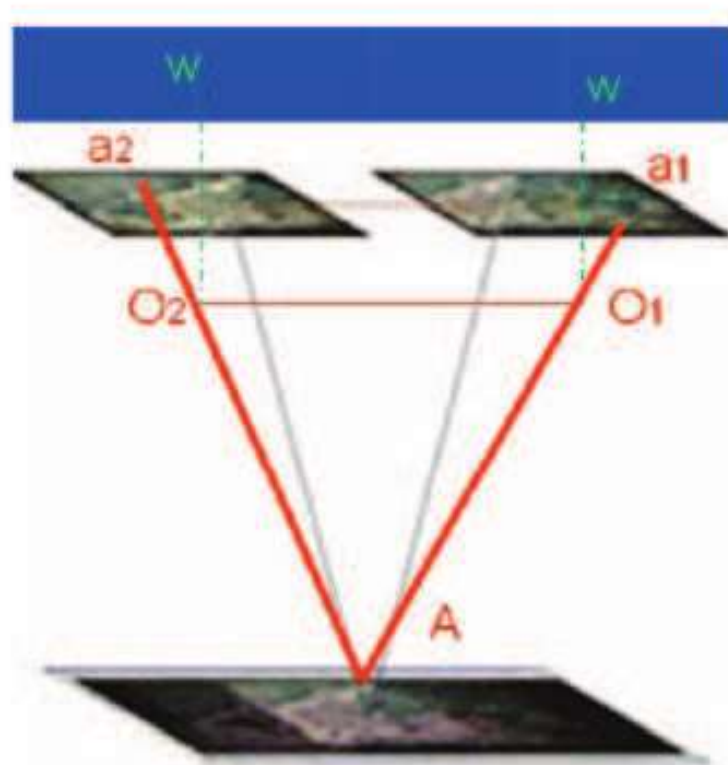
La Orientación interna en procesos digitales cambia con respecto a las análogas, la fotografía digital es procesada en el computador como un valor numérico por lo tanto la orientación interna se traduce en una imposición de valores desde la posición que tomen las marcas fiduciales y la posición del centro de perspectiva por su distancia local. Los valores de esta condición geométrica deben extraerse del certificado de calibración de la cámara.

Toda fundamentación de la fotogrametría en su proceso de restitución se mantiene en los sistemas digitales que en la realidad emulan matemáticamente

este proceso de ajuste, por lo que si conocemos la sustentación del procesobastara con conocer el modo de comandos de los sistemas digitales.

2.- Orientación Relativa:

Consiste en orientar los dos fotogramas en el espacio en la misma posición que en el instante de toma, es la orientación espacial del haz de rayos perspectivos. Si orientando una foto con respecto a otra conseguimos eliminar la paralaje vertical, el problema estará resuelto, el rayo $a_1 O_1$ se cortará con el rayo $a_2 O_2$, precisamente en el punto A.



La orientación relativa consistiría en el posicionamiento de un sólido en el espacio, es decir, un problema de 6 incógnitas:

3 translaciones y 3 giros alrededor de los tres ejes principales. En realidad, 5 incógnitas, ya que la modificación de la base en sentido del eje de vuelo (b_x) sólo modificará la escala del modelo, modificando asimismo la paralaje horizontal p_x y no la paralaje vertical, que es la finalidad de la orientación relativa (eliminarla).

Si se ha conseguido esto, fijándonos en la figura anterior, podemos imaginar que tenemos materializado el modelo del terreno (a escala), pero el conjunto rígido de fotogramas con centros de proyección, haces perspectivos y modelo no están fijados aún en una posición en el espacio con respecto al sistema de referencia terrestre de coordenadas.

3.- Orientación Absoluta:

Sería el posicionamiento y nivelación del modelo con respecto al sistema de referencia terrestre, así como averiguar la escala del modelo. Por ello habría 7 incógnitas en este problema. Se resuelve con la ayuda de los puntos de control o puntos de apoyo o medidos en el terreno e identificables en los fotogramas.

Con las coordenadas terreno de tres puntos (X , Y , Z) podríamos llevar el modelo a su posición absoluta en el espacio (3 translaciones) y "nivelarlo" fijarla orientación del modelo respecto al sistema de coordenadas (3 giros).

Realizadas estas tres orientaciones, el modelo estaría orientado y se podría empezar a determinar coordenadas absolutas de los puntos que midamos.

La fase final consiste en obtener por medio de una fotointerpretación del operador la información que nos brinda las imágenes aérea del lugar de proyecto, esta representación se realiza gracias a un software de dibujo asistido por el computador (CAD). Las entidades se visualizarán como figuras geométricas del tipo vectorial (puntos, líneas y polígonos).

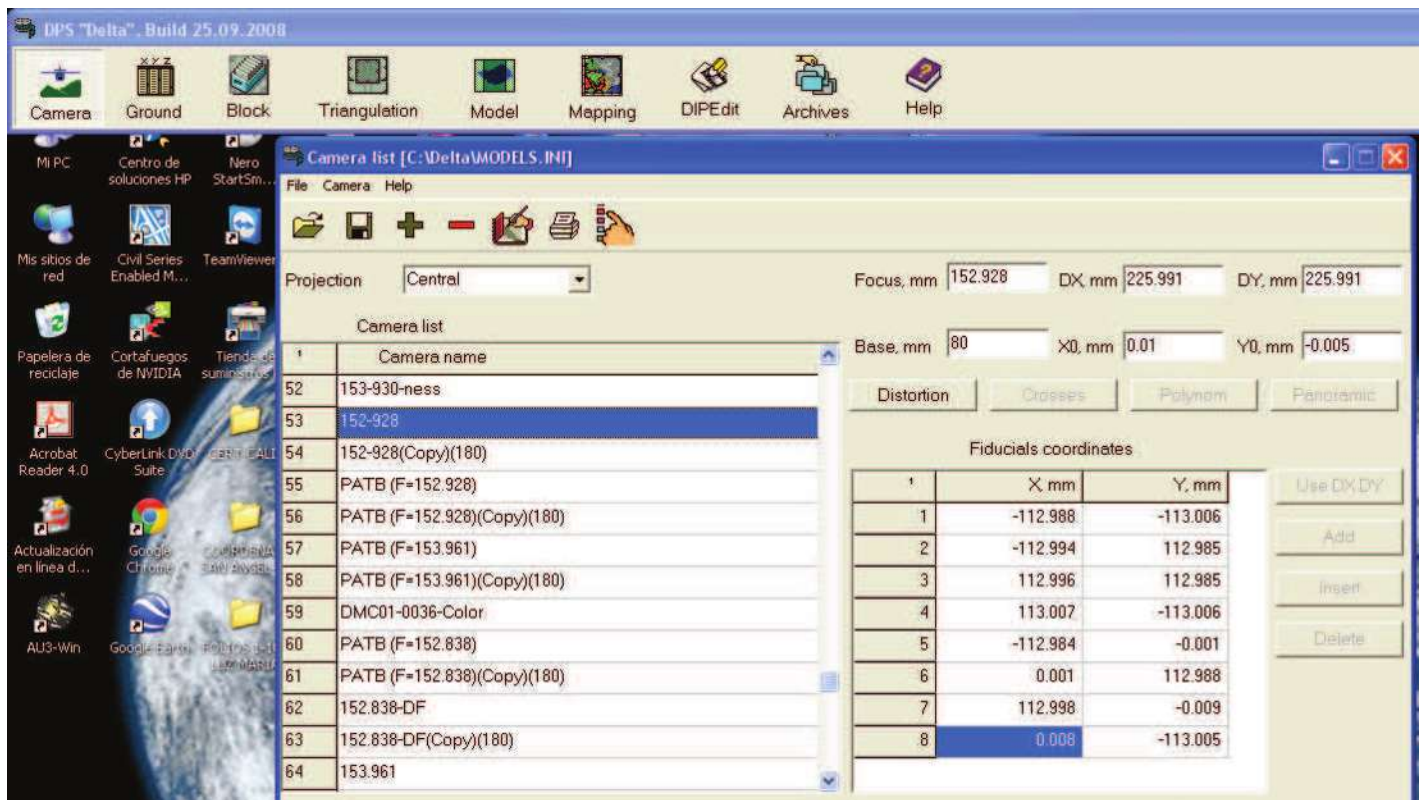
IV.2.5.- COMPILACIÓN DE DATOS:

Una vez que la información planimetría ha finalizado la siguiente fase es incorporar al plano todos aquellos datos que se encuentran en el terreno y que se deben obtener por medio de la técnica de clasificación de campo.

Los datos del terreno son sometidos a una validación y estandarización de acuerdo a los criterios y procedimientos que utiliza el SAF_(sistemas aerofotogramétricos) para este tipo de trabajos.

Finalmente los datos pasan a conformar las tablas de atributos de los distintos elementos vectoriales que conforman un plano digital, además en esta fase se crean las topologías respectivas a las distintas capas de información geográfica, la que la convierte en materia prima de alto nivel para su utilización en diversos proyectos SIG.

Utilizando el SOFTWARE DELTA MAPPING resulta muy ventajoso y verdaderamente sencillo comenzar con el proceso de restitución. Lo primero es escoger el tipo de cámara usada o capara de proyecto para que el programa realice los ajustes.



Una vez que se ha escogido la cámara de proyecto, se proceden a hacer las ORIENTACIONES que son tres y que se vio en el tema anterior:

- 1.- Orientación Interior.
- 2.- Orientación Relativa.
- 3.- Orientación Absoluta.

A continuación se muestra brevemente el proceso usando el Software:

Inner Orientation Startup

Left file:

Right file:

Camera:

Orientation mode:

- ☒ Stereo model
- ☐ Single photo

Orientation process:

- ☒ Start new session
- ☐ Continue previous

☒ Use auto orientation

Orientation method:

☒ Rotate 180 degrees

Inner Orientation [C:\GIRADAS\linea 1\GIRADAS-1\CONTRASTph-10(1).tif C:\GIRADAS\linea 1\GIRADAS-1\CONTRASTph-9(1).tif]

File Control

A. B.

SCT 16- AREA 030523

SCT 16- AREA 030523

Stop Continue

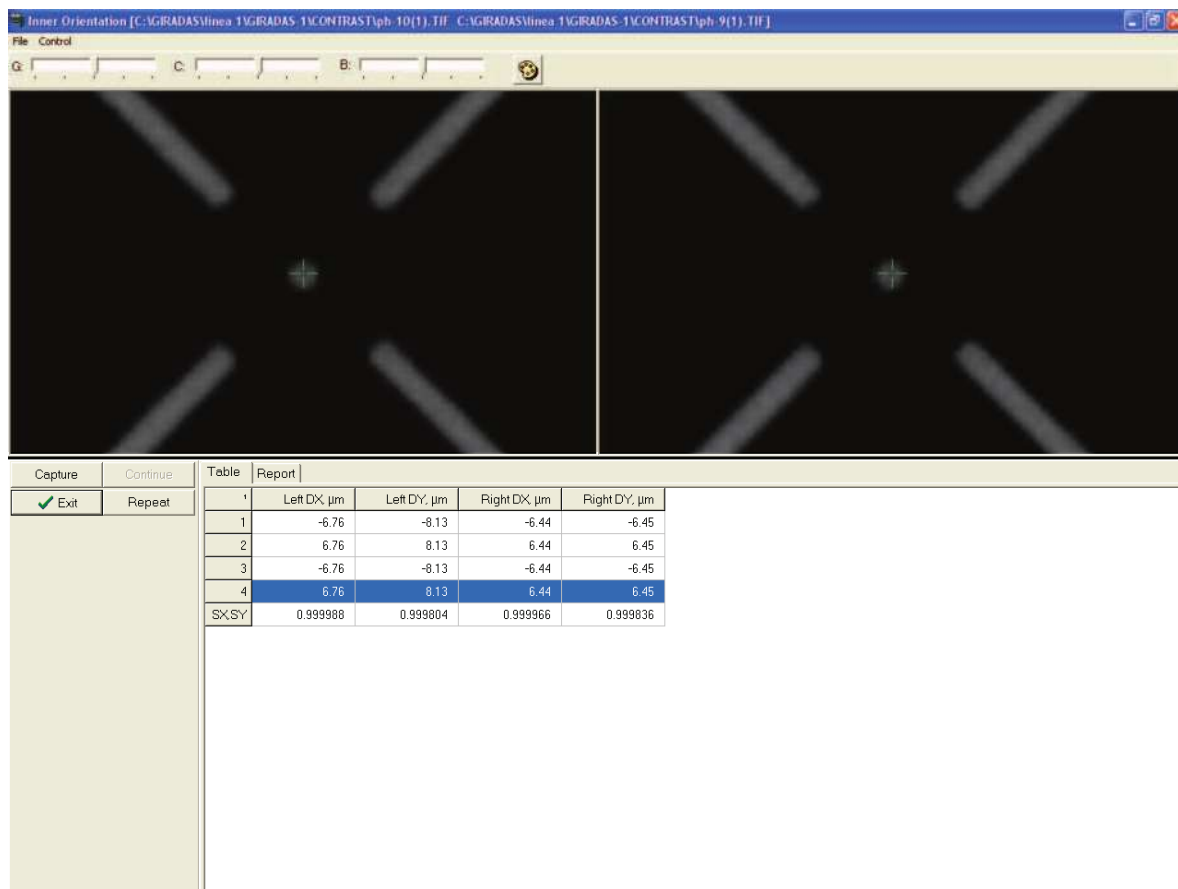
Exit Repeat

Table Report

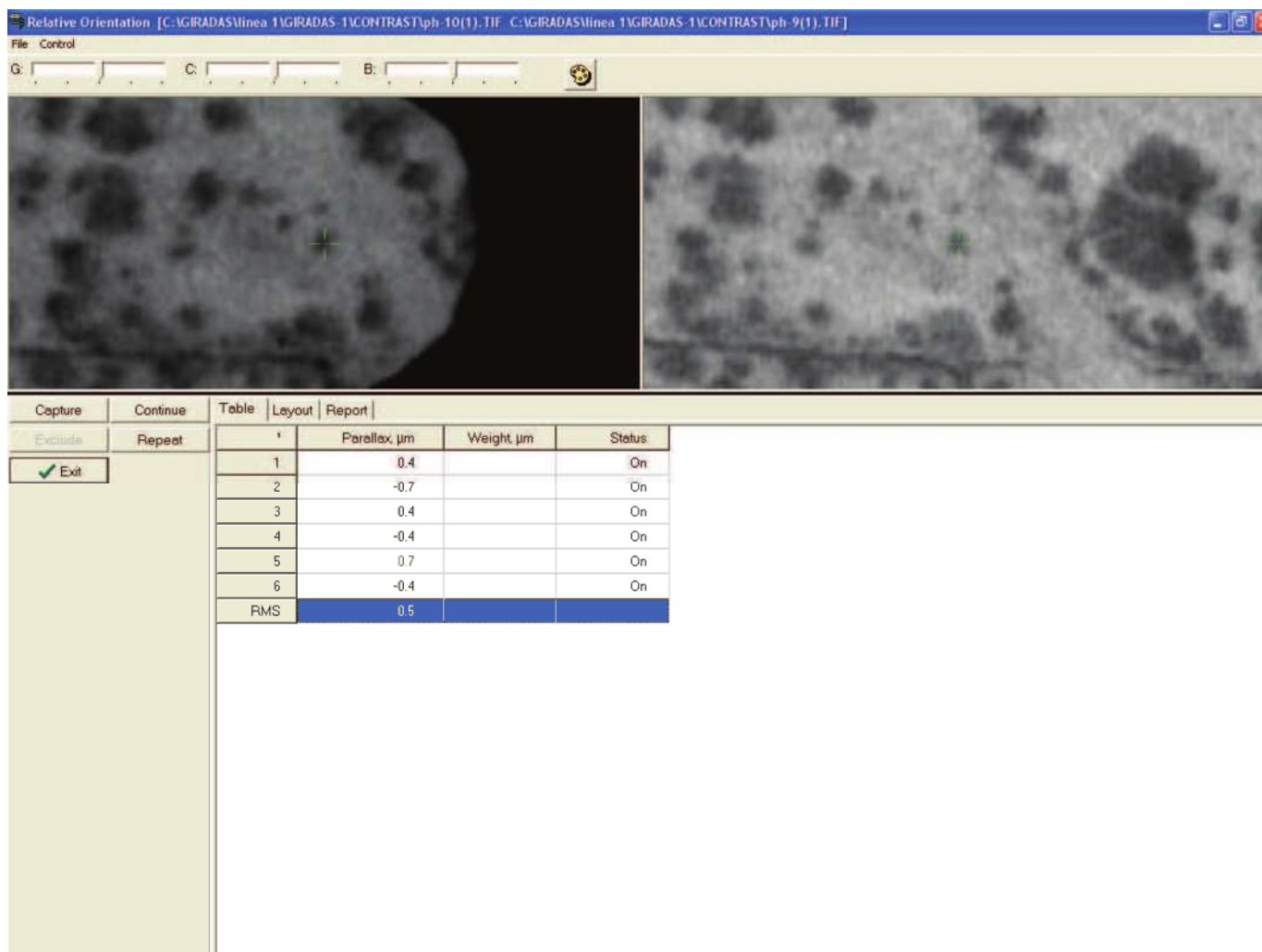
Left DX, μm	Left DY, μm	Right DX, μm	Right DY, μm

Como se puede apreciar en la imagen fotográfica se observa que cuenta con las marcas Fiduciales que cuando se está realizando el proceso las dos marcas deben de coincidir, de no llevarse a cabo la estereoimagen no se formaría o se formaría incorrectamente, el programa cuenta con un contador llamado paralelaje máximo en micrones.

En este proceso es donde se coloca el primer sistema de coordenadas reales y la fijación de un marco coordenado ayudado por las marcas fiduciarías.



Una vez realizada la etapa de la orientación interior, continua la orientación Relativa la cual consiste básicamente en encontrar puntos homólogos (detalles) en ambas fotos y estos deben de ser lo más preciso posible y se recomienda que sean 6 a 9 puntos por fotografía, estos puntos deberán ser objetos que no se deformen con el tiempo fácilmente y/o mojoneras colocadas previamente.



Para generar el estereomodelo, haciendo la orientación interior, orientación relativa, en la cual picamos nuestros puntos de control sobre la imagen; y en la orientación absoluta verificamos el error medio cuadrático de los puntos de control de nuestro modelo, si se tiene los resultados requeridos seguimos con los siguientes procesos (RESTITUCIÓN).

Después de la orientación absoluta se hace el proceso de estéreo correlación, para después generar la Ortofoto del estéreo modelo.

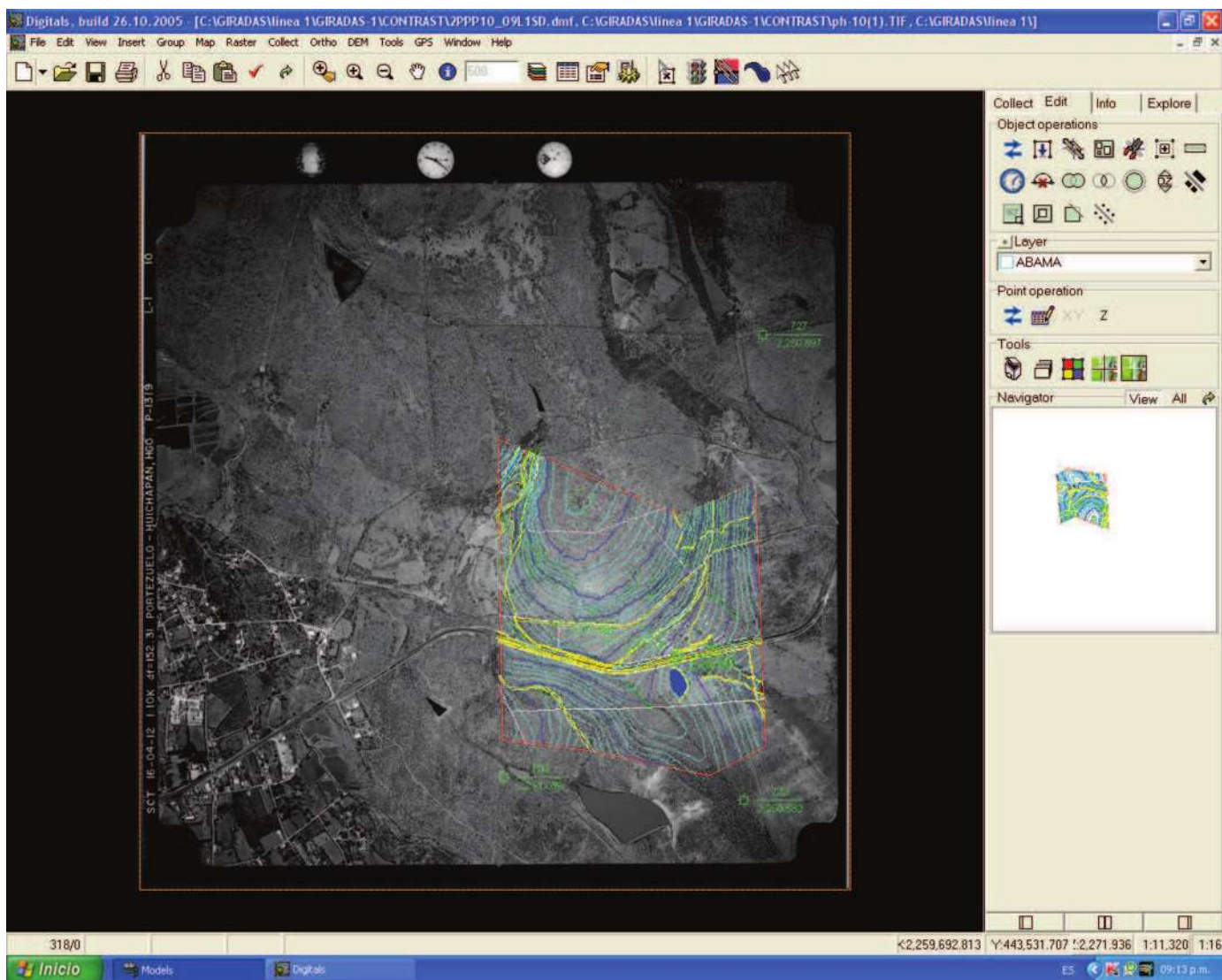
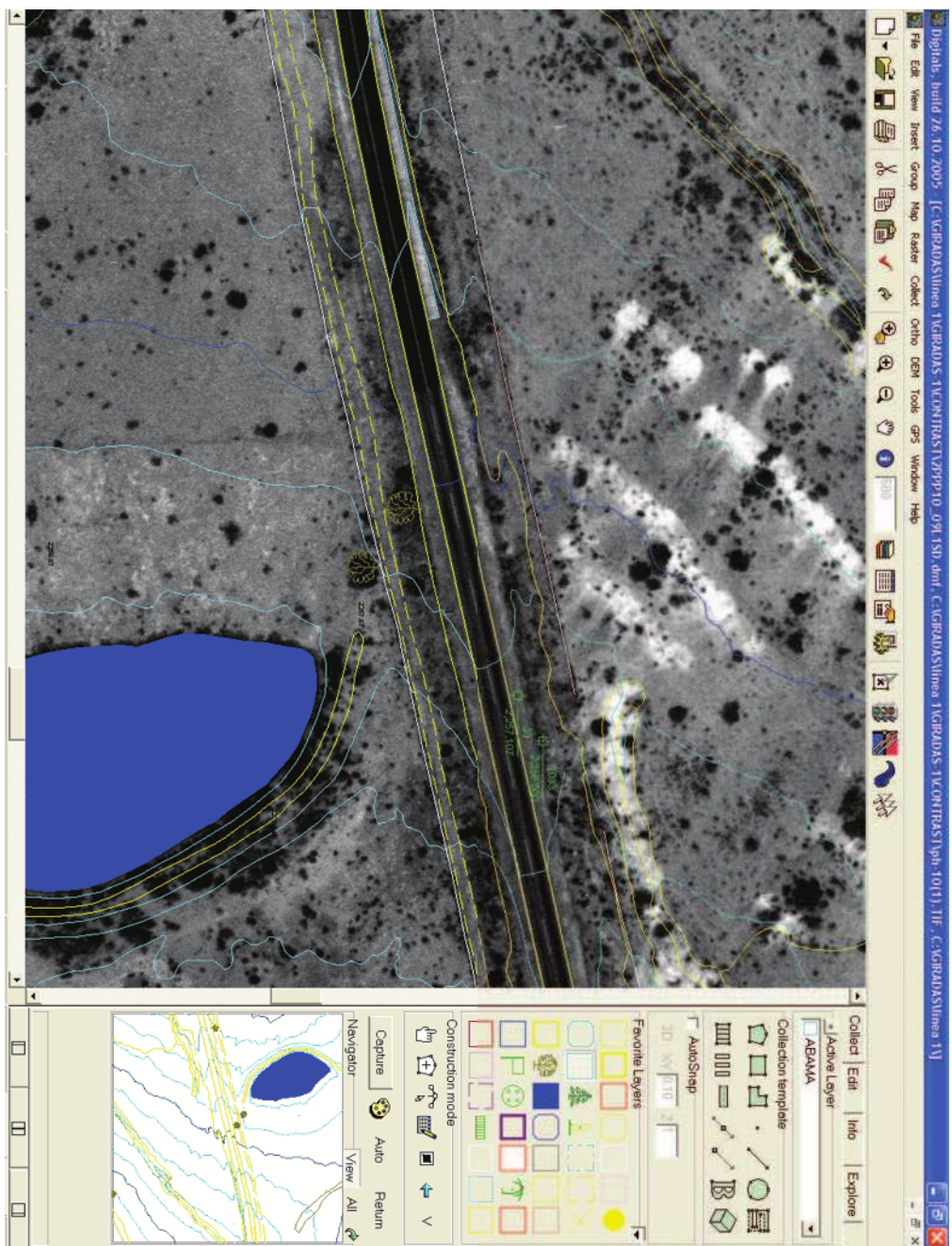
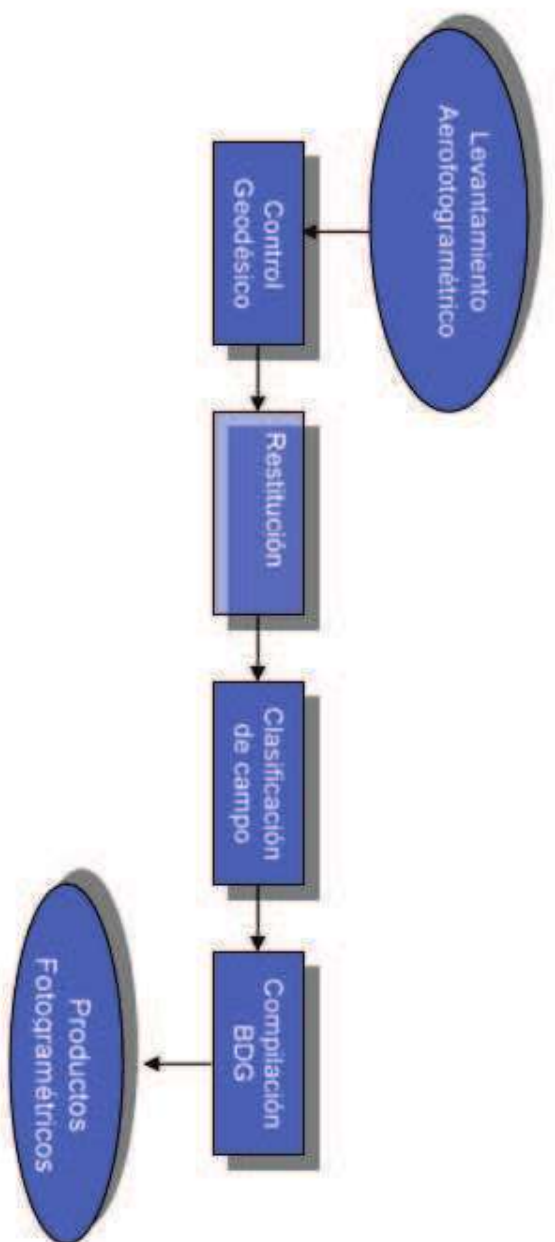


Fig. IVh.- Ejemplo de una restitución en proceso.



Resumen



Capítulo V.

PASOS GENERALES PARA EL REPLANTEO DE UN EJE CARRETERO USANDO LA FOTOGRAMETRÍA MODERNA.

Para lograr el proyecto definitivo de una vía terrestre por este método, se debe de seguir una secuela determinada, la cual comprende muchos y muy diversos trabajos, pero que se encuentran íntimamente ligados entre sí. El sistema general de estudio se ha subdividido en las tres grandes etapas que a continuación se dan:

- 1.- SELECCION DE RUTA.
- 2.- ANTEPROYECTO.
- 3.- PROYECTO DEFINITIVO.

Es conveniente señalar que no en todos los proyectos es necesario desarrollar completamente los trabajos que componen las 3 distintas etapas, sino que ello dependerá de la naturaleza del terreno, de la experiencia del proyectista y de la finalidad o utilidad que se persigue en cada caso en particular

Se comenzará describiendo como se realiza un anteproyecto carretero en la etapa del replanteo del eje de trazo. Habiendo ya descrito en los capítulos anteriores lo que es la fotogrametría aérea, sus bases geométricas, las escalas, los planes de vuelo, recubrimientos y el proyecto de vuelo fotográfico; ahora describiré brevemente y de la manera en cómo se lleva a cabo el trabajo que hoy en día se entrega para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) y más propiamente en la Dirección General de Carreteras Federales (D.G.C.F.).

V.1.- ESTUDIOS DE LOCALIZACIÓN DE RUTA.

V.1.1.- Estudios de Alternativas en Cartas Geográficas.

Habiéndose realizado los estudios económico-sociales que justifican la construcción de un camino, es necesario iniciar una serie de trabajos preliminares que comprenden el estudio comparativo de varias "rutas" posibles, seleccionando la que ofrezca las mayores ventajas, de cuya solución depende el futuro de la carretera.

Se entiende por "Ruta", la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino, mientras más detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido.

El primer paso para el estudio de la realización del proyecto de una vía terrestre de comunicación, es el ensamblado de todos los mapas o cartas disponibles de la región en estudio.

Para la localización de una vía en estudio hay que tomar en cuenta los siguientes conceptos: Topografía, geología, hidrografía, tipo de drenaje y el uso del suelo de la región.

En este caso, como expondremos como ejemplo breve la rectificación de un tramo de un camino existente, se realizan los mismos procedimientos.

Actualmente se cuenta con información cartográfica de un alto grado de confiabilidad para el estudio de selección de ruta. Esta información la podemos obtener de las diferentes cartas geográficas editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica é Informática (INEGI).

Para el estudio de alternativas de selección de ruta existen cartas topográficas a escalas de 1:250,000, 1:100,000, 1:50,000 y las cartas urbanas topográficas a las escalas de 1:100,000 y 1:5,000.

Entre las cartas a escala 1:50,000, que cubren casi la totalidad del territorio nacional podemos encontrar las cartas topográficas, geológicas, de uso del suelo, edafológicas, uso potencial del suelo, y cartas de climas, de precipitación pluvial etc. que en su conjunto, en un momento dado vienen a ser de gran utilidad para la elección de la mejor ruta que satisfaga los requerimientos del camino en proyecto.

V.1.2.- LA CARTA TOPOGRÁFICA.

El ingeniero, al estudiar las cartas topográficas y principalmente la escala 1:50,000 elige sobre ellas todas aquellas rutas posibles que puedan satisfacer los requerimientos de la economía de la construcción y operación.

Se deberán tener en cuenta aquellos puntos de paso obligado, primarios y secundarios, para la localización de una vía terrestre, que serán los que guíen el alineamiento general de la ruta como se explica a continuación:

- Los puntos de control primarios son aquellos que por razones económicas son de paso obligado. Asimismo para las carreteras de turismo, la situación de los bosques, cascadas, lagos y otras atracciones pueden ser los puntos de control primarios.
- Los factores de costo tales como el número y tamaño de las obras de drenaje, y el volumen tanto de los cortes como de los terraplenes, necesarios para dar las alineaciones y pendientes satisfactorias, se clasifican como controles secundarios.

De esta forma es posible señalar sobre las cartas topográficas, diferentes rutas sobre las que debemos concentrar nuestra atención. En cada una de estas rutas propuestas aparecerán puntos secundarios de paso como pueden ser cruces de

ríos, puertos, cruces con otras vías de comunicación, que deberán tomarse en cuenta.

Así como ejemplo se pondrá el siguiente larguillo topográfico 1:50,000 donde se muestra la ruta propuesta para la modernización de la carretera PORTEZUELO PALMILLAS, en su tramo de PORTEZUELO – LIMITE DE ESTADOS DE QUERETARO E HIDALGO

VER PLANO ANEXO No. 1

Una vez aprobadas las diferentes rutas seleccionadas sobre las cartas topográficas se inicia propiamente el trabajo de campo con los reconocimientos de estas mismas rutas pero ya sobre el terreno.

Ahora bien, hoy en día tenemos en desarrollo los Modelos Digitales de Elevación (MDE), tema que vimos en el Cap. III.5, los cuales no pueden ayudar de una manera mucho más completa para apoyarnos en los primeros reconocimientos y no necesariamente tendrían que ser aéreos o con el uso de cartas topográficas.

Para este trabajo se adquirió la cartografía INEGI en formato electrónico con topografía Esc. 1:50,000 vectorizada, con el objeto de presentar una planta topográfica CAD Esc. 1:10,000 donde se contenga, con la amplitud necesaria, la zona donde se desarrollará el anteproyecto solicitado. Sobre dicha planta se estudiaron y presentaron las posibles alternativas en planta y perfil con subrasante del proyecto de la carretera en estudio de acuerdo con las especificaciones proporcionadas.

Una vez determinada y aprobada por la Dependencia la ruta del anteproyecto, sobre copia de este mismo “larguillo” Esc. 1:50,000 se presentó el PLAN DE VUELO para la toma de fotografías Esc. 1:10,000.

V.2.- RECONOCIMIENTOS AÉREOS.

La materia prima del sistema de proyecto fotogramétrico son los reconocimientos y las fotografías aéreas; los reconocimientos aéreos tienen por objeto verificar y complementar la información cartográfica disponible; las fotografías aéreas a diversas escalas permiten registrar la información topográfica, geológica y de uso del suelo.

Estos reconocimientos aéreos son muy ventajosos porque nos ofrecen la oportunidad de poder observar el terreno desde la altura que convenga, pudiendo así abarcar grandes extensiones de terreno.

El numero de reconocimientos aéreos puede ser variable dependiendo de la confiabilidad de la información cartográfica existente es! como del conocimiento que se tenga del terreno en estudio, pera fundamentalmente se puede hablar de dos reconocimientos aéreos.

V.2.1.- PRIMER RECONOCIMIENTO AÉREO.

El objetivo de este primer reconocimiento será el de eliminar aquellas rutas francamente inconvenientes o bien proponer otras nuevas, así como el de delimitar el ancho de las franjas que deberán ser fotografiadas a la escala de 1:25,000 para que en ellas queden incluidas las diferentes rutas con suficiente amplitud.

Estos reconocimientos se realizan en aviones medianos y ligeros, efectuándolos técnicos especialistas en planeación, localización y geotecnia quienes previamente al vuelo estudian las diferentes rutas propuestas en las cartas topográficas a fin de que durante el vuelo de reconocimiento observen estas mismas rutas, estudiándolas y haciendo observaciones desde el punto de vista de su especialidad; por ejemplo, el especialista en planeación verificará si la potencialidad económica de la zona concuerda con la que se había supuesto en los estudios previos al vuelo; el especialista en localización verificará si las rutas marcadas en

las cartas son correctas, sobre todo en lo relacionado con el tipo de topografía en que se desarrollará la carretera, ya que al pasar la ruta preliminar seleccionada sobre cartas topográficas a grandes escalas es posible cometer algunos errores en cuanto a topografía y afectaciones se refiere, errores que deben ser observados y anotados durante el vuelo para su posterior corrección; el especialista en geotecnia comprobará en general aspectos tanto de rocas como de suelos, la morfología del terreno, la existencia de fallas y posibles problemas de suelos.

V.2.2.- OBTENCIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS A ESCALA 1:25,000

A) PRIMERA ETAPA FOTOGRAFICA.

En esta primera etapa fotográfica es muy común el obtener el control terrestre por métodos gráficos, usando para ello, como ya se menciono anteriormente la información que ofrece el INEGI a través de las ediciones de sus cartas topográficas a diferentes escalas, las que incluyen los puntos geodésicos de control.

Este procedimiento consiste en obtener las coordenadas gráficas de varios puntos perfectamente identificados tanto en las cartas topográficas (de donde se obtendrán las coordenadas), como en las fotografías (que ya han sido tomadas con anterioridad).

El uso de estas cartas topográficas y los puntos escogidos, deberán ser aquellos que se puedan identificar perfectamente en las fotografías los detalles que mejores resultados dan como puntos de control gráficos son cruces de caminos, puentes, esquinas de linderos, cimas de cerros, casas aisladas y vías de comunicación etc.

Este primer vuelo fotográfico para obtener fotografías a la escala de 1:25,000 presenta varias ventajas entre las que se destacan las siguientes:

1.- Con este tipo de fotografías se tiene un campo bastante amplio del terreno en estudio, lo cual es muy conveniente ya que nos permite realizar diversos estudios de rutas dentro de una misma línea de vuelo, pues cada fotografía abarca una franja de terreno de un ancho de 5.75 Km. Ver foto

No. Va



Foto Va.- Fotografía aérea esc: 1:25,000

2.- Los estudios estereoscópicos y de fotointerpretación que sobre estas fotografías se realizan nos brindan resultados de muy aceptable precisión.

3.- El apoyo terrestre necesario para este tipo de fotografías generalmente es realizado en gabinete con el auxilio de la información cartográfica editada por INEGI, en caso de que este control se tenga que realizar en el campo, el número de puntos de apoyo es reducido.

4.- Estudios estereoscópicos - fotointerpretación. Después de haber revelado la película o escaneado el vuelo fotográfico, se obtienen las correspondientes copias

de contacto con las cuales se procede a armar las líneas de vuelo realizadas, para así poder comprobar tanto su topográfico en las diferentes alternativas determina por cuál de ellas deberá continuarse un estudio a mayor detalle.

Atendiendo primeramente nuestra etapa de anteproyecto preliminar a escala 1:5,000. Las fotografías que se requieren son fotografías de escala 1:25,000, con formato de 23 x 23 cm; para lo cual se ha determinado que el recubrimiento longitudinal sea del 60% y el transversal del 30%.

Considerando que la altitud media del terreno es de 1,500 metros sobre el nivel del mar (MSNM), para la obtención de estas fotografías se calculan los siguientes conceptos:

- 1).- Altura media de vuelo sobre el nivel del mar.
- 2).- El número de fotografías necesarias para cubrir toda el área que se va a estudiar.
- 3).- El intervalo de exposición entre fotografías consecutivas.

Nota.- Estos tres puntos mencionados anteriormente los vimos en los capítulos II.7 y II.8

V.3.- SEGUNDO RECONOCIMIENTO AÉREO.

Este reconocimiento se lleva a cabo después de haber efectuado la interpretación de las fotografías tomadas anteriormente a la escala de 1:25,000 y de haber realizado los anteproyectos sobre planos restituidos fotogramétricamente a escala de 1:5,000. Por lo tanto este reconocimiento tiene por objeto comprobar sobre el terreno lo estudiado sobre las fotografías 1:25,000 así como comprobar si las plantas topográficas restituidas son congruentes con el terreno real, asimismo se deberá comprobar si es factible la localización de la carretera tal como se propuso en el anteproyecto realizado a escala 1:5,000. De acuerdo con estos ante-

proyectos realiza dos se deben de anotar todas las características que se crean convenientes para mejorar o modificar los anteproyectos subsecuentes.

Un aspecto de gran importancia que se debe de tener en cuenta, para las observaciones y anotaciones correspondientes, es en lo referente a las principales características que rigen en los cruces de los ríos.

Al finalizar este segundo reconocimiento se tendrá de limitada la franja del terreno que deberá ser levantada fotográficamente a la escala de 1:10,000 o 1:1.5000 según sea el caso Y RESTITUIDA 1:2000 para la realización del segundo anteproyecto pero esta ahora mucho más refinado y detallado.

V.3.1.- ANTEPROYECTO SOBRE PLANOS TOPOGRÁFICOS RESTITUIDOS FOTOGRAMÉTRICAMENTE A ESC. 1:5,000

Antes de iniciar esta parte del estudio del proyecto de la carretera ya se deberán tener completamente definidas las especificaciones geométricas que deberán regir en el proyecto de dicha obra vial.

Para el estudio de esta etapa es indispensable, desde luego, el contar con una planta topográfica de la zona sobre la cual se elabore(n) dicho(s) anteproyecto(s). Esta planta topográfica, en este sistema de proyecto, se obtiene por medio de restitución.

Los planos restituidos fotogramétricamente nos ofrecen un sin número de informaciones ya que en ellos se encuentran registrados todos los detalles planimétricos que las fotografías fueron capaces de captar en el momento de la exposición, asimismo se registra la información altimétrica en este tipo de planos por medio de curvas de nivel y de puntos acotados; el uso actual del suelo es también registrado por medio de una simbología (tabla V.4) adecuada por medio de la cual

el proyectista se forma una clara imagen del terreno sobre el cual se realizará el proyecto de la vía de comunicación.



DEPARTAMENTO DE FOTOGRAMETRIA
ORDEN, NOMBRE DE LAS CAPAS Y SIMBOLOGIA QUE SE DEBERAN EMPLEAR EN LA ELABORACION DE LOS ARCHIVOS DE RESTITUCION

NOMBRE	SIMBOLOGIA	GRAFICACION	
		COLOR	ESPESOR m.m.
1 LIMITES DE MODELO		NEGRO	0.20
2 MAESTRA		CAFE OSCURO	0.35
3 DELGADA		SEPIA	0.20
4 CARRETERAS		ROJO	0.20
5 CAMINOS		ROJO	0.20
6 CASAS		ROJO	0.20
7 ARBOLES		VERDE	0.20
8 CULTIVOS		VERDE	0.20
9 ARROYO		AZUL	0.20
10 CERCA DE ALAMBRE		ROJO	0.20
11 AGUA		AZUL	0.20
12 FFCC		ROJO	0.20
13 HUERTOS		VERDE	0.20
14 LÍNEA DE ALTA TENSION, POSTES		ROJO	0.20
15 CERCA DE PIEDRA		ROJO	0.20
16 CONTROL		NEGRO	0.25
17 CANAL		AZUL	0.20
18 PUENTE		ROJO	0.20
19 TEXTO	NOMBRE DE CIUDADES, PUEBLOS, CALLES, DESTINOS, ETC.	NEGRO	0.20

NOTA: Los espesores indicados son una guía, ya que dependen del tipo de papel y plotter utilizados.

Tabla V.4.- Tabla de simbología.

Es importante señalar aquí, que en este método de proyecto fotogramétrico se consideran dos tipos de Anteproyectos: el primero de ellos a escala de 1:5,000 y el segundo a escala de 1:2,000, en ambos Anteproyectos se deben de considerar estrictamente las especificaciones geométricas que rigen tanto al alineamiento

horizontal como vertical para así poder darnos cuenta desde un inicio si en determinada ruta es factible geométricamente alojar el trazo del camino proyectado.

En el Anteproyecto preliminar 1:5,000, el cual se considerada como la parte final de la etapa de selección de ruta se deben de buscar todas aquellas alternativas que satisfagan las especificaciones se/aladas para el camino, quedando así definidos los alineamientos horizontal y vertical para cada una de estas alternativas.

V.3.2.- DESARROLLO DEL ANTEPROYECTO:

Atendiendo al alineamiento horizontal de cada una de las rutas elegidas y dada la rapidez que se requiere en estos procesos, se busca alojar la línea del eje del proyecto sobre el terreno, cuidando que la pendiente máxima ascendente no rebase el 5%. Esto se hace por medio de tangentes que se unen con curvas (que bien pueden ser circulares simples ó espirales), las cuales se dibujan en la restitución, marcando así el principio de cada curva (PC) o (TE), el PI), y el principio de tangente (PT) o (ET), además se indica en el plano el grado de cada una de las curvas, se va" cadeneando" la línea del proyecto a cada 50 ó 100 metros.

Aprovechando la información altimétrica de los planos de restitución y como la línea cuenta ya con un cadenamiento es posible en estas condiciones deducir el perfil de la línea midiendo gráficamente las distancias en las que el eje de proyecto corta a las curvas de nivel situadas en el plano con equidistancia vertical de 5 metros (curvas de nivel intermedias), y a cada 25 metros las curvas maestras.

Los perfiles deducidos se dibujan, en este caso a una escala horizontal 1:5000 y vertical 1:500, luego sobre cada perfil, considerando la pendiente máxima y una compensación de cortes y terraplenes se proyecta la subrasante.

Una vez terminados los Anteproyectos de las diferentes alternativas a este nivel, es necesario y fundamental que se efectúe una evaluación lo suficientemente razonable para así determinar cuál de las diferentes alternativas es la mejor. En dicha evaluación se deben de considerar tanto los costos de operación, conservación y construcción, pero sin llegar a caer en una evaluación minuciosamente exacta ya que a este nivel no es primario entrar en ese tipo de detalles debido a que la línea aún puede sufrir cambios.

A.1).- SEGUNDA ETAPA: Anteproyecto

Con los resultados de la primera etapa se cuenta ya con los elementos necesarios para llevar a cabo un estudio mucho mejor orientado hacia una solución definitiva, pues los resultados anteriores nos permiten concentrar nuestra atención a una o dos franjas del terreno de un ancho aproximado de 2 km., cuyas características topográficas, geológicas, hidráulicas y de calidad de suelos será necesario detallar para determinar la mejor solución a nuestro proyecto.

Por lo tanto el objetivo fundamental de esta etapa será el de definir la línea, considerando un número variable de posibilidades, que mejor satisfaga los requerimientos de beneficios y costos, línea que deberá ser trazada en el campo procesada fotogramétricamente para desarrollar el proyecto definitivo.

Para llegar a esta etapa de anteproyecto 1:2,000 es necesario llevar a cabo las siguientes actividades:

V.3.3).- Proyecto del apoyo terrestre necesario.

V.4).- Control Terrestre.

V.5.2).- Toma de fotografías aéreas 1:10,000

V.5.3).- Estudios estereoscópicos.

V.5.4).- Restitución de planos escala 1:2,000/2

V.5.5).- Anteproyecto (s) a escala 1:2,000

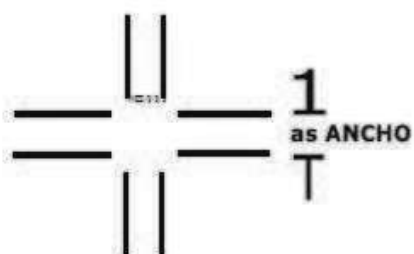
V.3.3.- PROYECTO DEL APOYO TERRESTRE.

Sobre las plantas topográficas fotogramétricas 1:5,000 que contengan los anteproyectos realizados en la etapa anterior se proyecta el apoyo terrestre necesario para realizar el levantamiento fotográfico a escala 1:10,000. Este apoyo pasa posteriormente a las fotografías de la etapa anterior (1:25,000) las que les serán entregadas a la Brigada de campo junto con una copia de la restitución 1:5,000 que contenga la línea aprobada, lo que les servirá como gula para ejecutar en el campo este control terrestre.

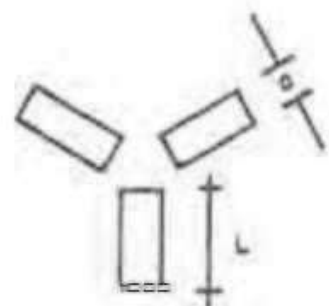
En esta etapa del control terrestre se pueden presentar dos modalidades de llevarlo a cabo:

1.- Que el control se realice antes de tomar las fotografías, para lo cual es conveniente que los puntos de control planimétricos sean preseñalados en el campo, como a continuación se ilustra:

Señales para la poligonal de apoyo



Señales para apoyo lateral



2.- Si por motivos de trabajo las fotografías 1:10,000 son tornadas antes de realizar el Control Terrestre en el campo, éste deberá ser planeado en gabinete sobre estas mismas fotografías ya tomadas, para lo cual se usarán puntos de control fotográficos, o sea, detalles fotográficos que puedan ser identificados perfectamente sobre el terreno con el auxilio de estas fotografías.

V.4.- CONTROL TERRESTRE

INTRODUCCIÓN.

La fotogrametría aérea, durante su proceso requiere de la concurrencia de la topografía moderna, ya que es preciso y necesario, en todos los casos, elegir estratégicamente algunos puntos en el terreno, denominados PUNTOS DE CONTROL, que son levantados según sea su aplicación; topográficamente si la restitución se debe considerar ortogonal, o geodésicamente si la restitución se realizara con fines cartográficos.

En el procedimiento general de proyecto que se sigue actualmente en la D.G.C.F., se requiere apoyar fotografías aéreas de tres escalas principalmente 1:25,000, 1:10,000 y 1:5,000 el primer control se utiliza para el estudio de SELECCION DE RUTA, el segundo para el estudio del ANTEPROYECTO y el tercer apoyo se realiza para la obtención de las fotografías que se utilizarán para realizar el seccionamiento fotogramétrico, actividad que queda comprendida dentro de la etapa del proyecto definitivo.

Se llamara pues, CONTROL TERRESTRE al trabajo topográfico que es necesario ejecutar en el campo para realizar un trabajo fotogramétrico, pues en los pares estereoscópicos es necesario fijar su escala y la elevación de algunos puntos.

Esto es DIMENSIONAR EL MODELO.

Por PUNTO DE CONTROL TERRESTRE deberá entenderse como aquel lugar del terreno que identificado en las fotografías aéreas tiene referencia numérica que nos indica su distancia con respecto a ciertos ejes y planos de comparación.

El control terrestre nos sirve para relacionar al terreno con su modelo estereoscópico, o sea realizar la orientación del modelo respecto a los planos que se tomaron como referencia en el campo.

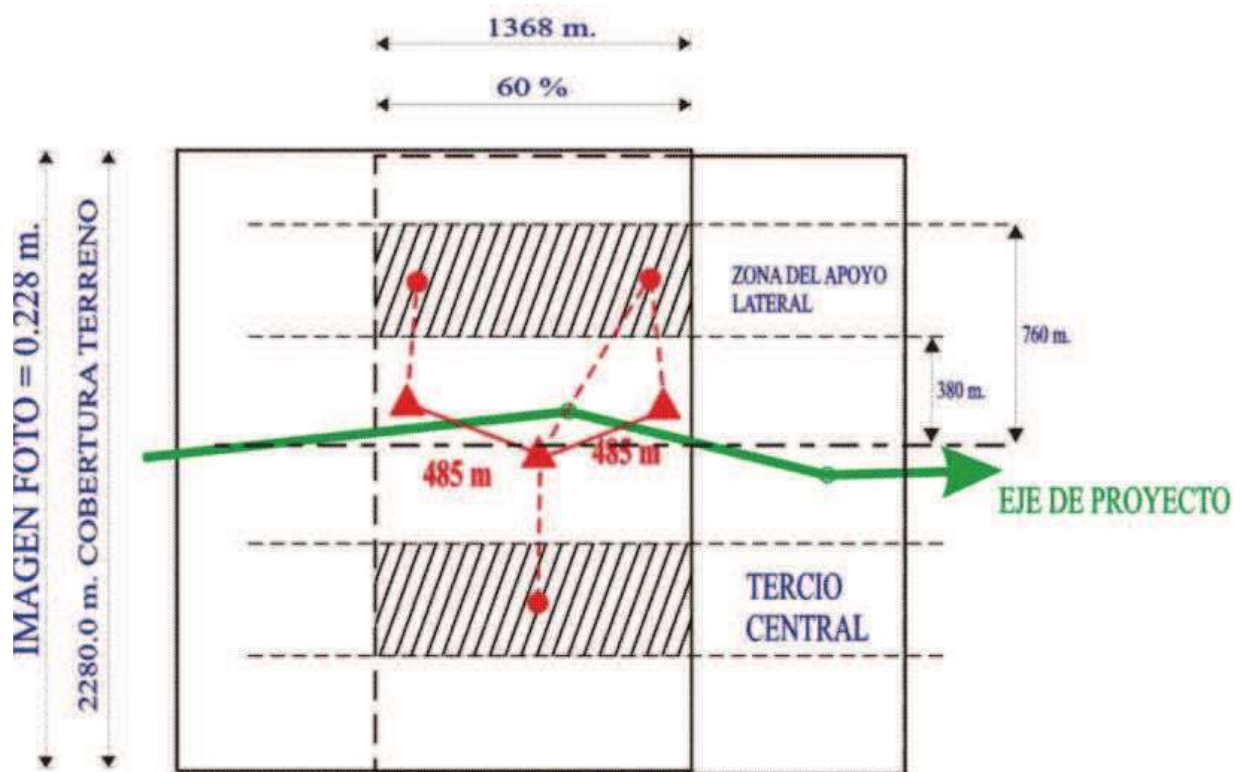
V.4.1.- PRESEÑALAMIENTO.

El preseñalamiento consiste en la ubicación, amojonamiento y señalización de puntos de la poligonal de referencia y de los puntos de control lateral. Los puntos de la poligonal de referencia se ubicarán sensiblemente cercanos al eje de proyecto de la carretera en estudio, equidistantes entre sí hasta 490 m aproximadamente o menos dependiendo de la intervisibilidad entre ellos. Los puntos de control lateral se ubicarán como radiaciones de los vértices de la poligonal de referencia, alternados de derecha a izquierda de cada vértice a una distancia de estos, entre 380 y 760 m. idealmente al centro del tercio medio de las fotografías aéreas esc. 1:10,000. Con el objeto de que los vértices de la poligonal de referencia tengan un uso múltiple, estos se deben de localizar de tal manera que tengan buena visibilidad hacia el eje de proyecto para su futuro replanteo y tan lejos de las terracerías, que los movimientos propios de la construcción no vayan a destruirlos y que además no queden cubiertos por árboles o sombras.

V.4.2.- MONUMENTACIÓN.

En los vértices de la poligonal se construyeron en el sitio mojoneras de 30 cm de profundidad, como mínimo y 20 cm. de diámetro superior, colocando un tornillo de cruz de 3 pulgadas de longitud ahogado al centro, grabando la leyenda SCT- y el número de vértice correspondiente; en los puntos de apoyo lateral conviene dejar un testigo, este puede ser un trompo con tachuela y pintura o una varilla lo suficientemente enterrada para asegurar su permanencia en el lugar.

Cada vértice de la poligonal de referencia fue identificado por el número marcado en la parte superior de la mojonera e identificado posteriormente en la fotografía aérea, con marcador rojo en forma de triángulo no mayor a 5 mm y los puntos del apoyo lateral, se marcaron en color azul con un círculo no mayor a 5 mm, así como también deberán marcarse los datos de toponimia tales como las vías de comunicación existentes (nombre de los destinos de carreteras, caminos de terracerías, veredas, vías férreas), nombres de poblados, rancherías, cerros, ríos, así como postes, líneas y torres de energía eléctrica, líneas de conducción, etc. como se indica en la foto No.Vb



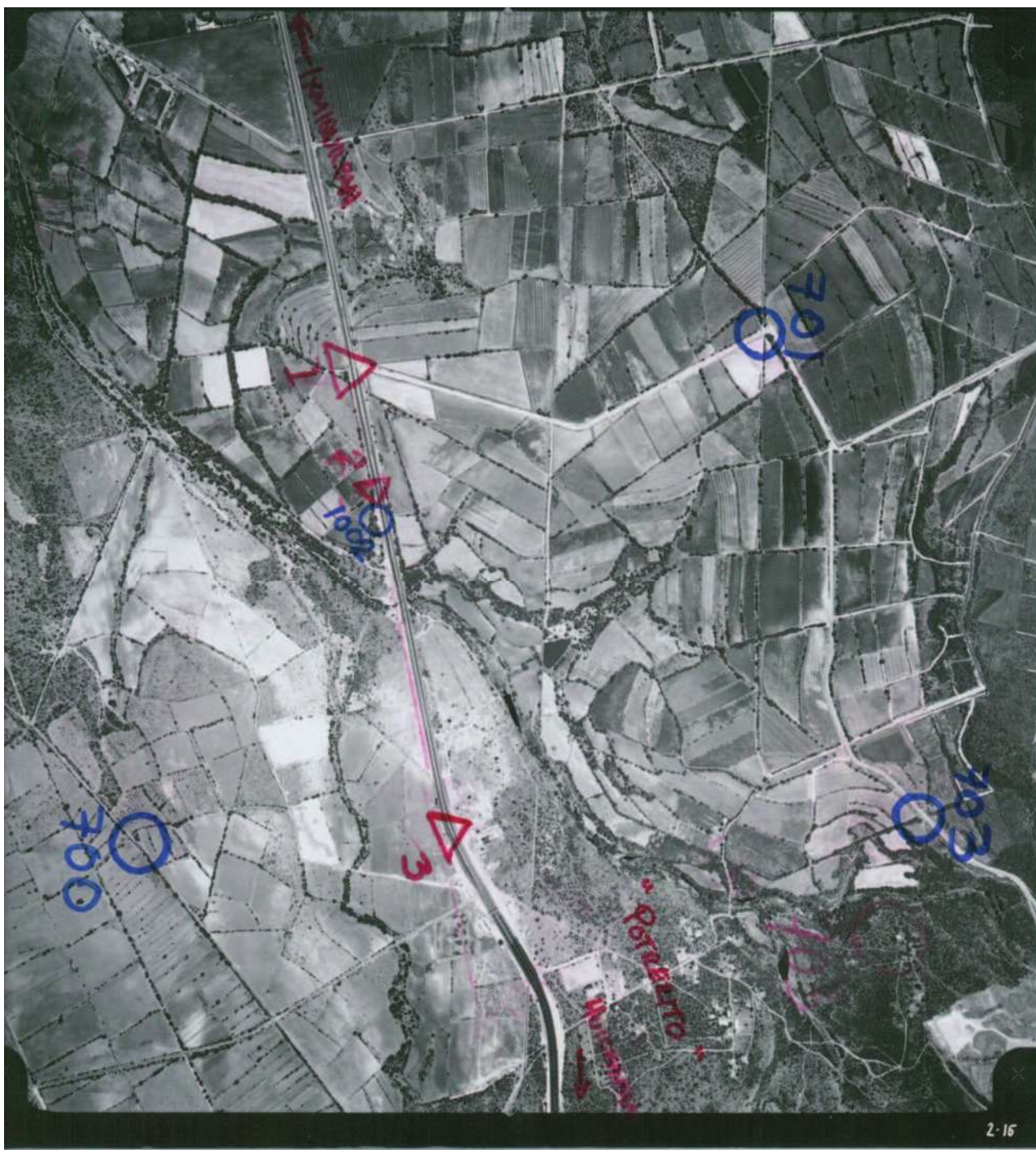


Foto Vb.- FOTOGRAFIA AEREA PARA APOYO DE CONTROL TERRESTRE CORRESPONDIENTE AL VÉRTICE UNO. Escala de vuelo 1:10,000

CARRETERA: PORTEZUELO – PALMILLAS.

TRAMO:PORTEZUELO– LIM. EDOS HGO / QRO



Foto Vb .1.- DETALLE Mojonera



Foto Vb.2 .-PANORAMICA

V.4.3.- MEDICIÓN DE POLIGONALES.

Por sus características teóricas, las mediciones del control terrestre están comprendidas en el campo de la geodesia en la topografía de precisión.

Existen dos maneras de hacer las mediciones de las poligonales, por el método clásico donde los ángulos horizontales y verticales se obtendrán con teodolitos o estación total de un segundo de lectura directa y distanciómetro electrónico de infrarrojos con aproximación de $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm mínimo})$ o Utilizando poligonal de referencia medidos con Estación Total y lados base GPS.

Para el levantamiento de poligonales y de puntos de control la brigada de control terrestre se utilizó una Estación Total marca SOKKIA, tipo 50K con 3 segundos en círculo horizontal y vertical, y $3 \text{ mm} + \text{ppm}$ en la medición de distancias.

La medición de ángulos y distancias se llevó a cabo realizando 3 series de lecturas en modo directo y 3 en modo inverso.

Los 20 Km del proyecto fueron divididos en 3 circuitos de poligonal cerrados con puntos denominados de “poligonal maestra” y radiando los puntos laterales.

V.4.4.- ORÍGENES Y CÁLCULO DE COORDENADAS.

V.4.4.1.- Orígenes de los Trabajos de Apoyo Terrestre

Como origen de coordenadas X, Y, Z del Apoyo Terrestre para todo el Trabajo, se tomaron las coordenadas del eje de trazo y los bancos de nivel del proyecto de modernización del Km 14+000 al Km 15+000 proporcionados por la DGC de la SCT y cuyas coordenadas son las siguientes:

COORDENADAS X, Y, Z

Punto	X	Y
ET=14+778.117	456,587.710	2259,437.455
TE=14+978.432	556,405.899	2259,353.247

BN-15-2, con elevación promedio de 1881.316, sobre huizache, a 27.0 m lado derecho de la estación 14+520

V.4.4.2.- Cálculo de Coordenadas de las Poligonales de Referencia.

Para la obtención de las coordenadas X, Y, Z de los puntos de cada circuito de poligonal se aplicó un software topográfico.

En el capítulo II de esta memoria técnica, se presentan las planillas de cálculo de cada circuito de poligonal con su plano. Las precisiones que se tuvieron en los 3 circuitos de poligonal se presentan en la siguiente tabla:

Circuito	Longitud	E Angular	Precisión Lineal	Precisión en Z
1	12,742.138	0° 0'18"	1:85,865.3	1:665,828.8
2	12,181.744	0° 0'02"	1:172,367.8	1:73,270.8
3	13,047.692	0° 0'07"	1:107,918.7	1:223,937.8

PROYECTO : PORTEZUELO - PALMILLAS
T R A M O : PORTEZUELO - HUICHAPAN

C / Ef = 1 : 10,000

CIRCUITO No.1

VERT.	COORDENADAS			LADO		DISTANCIA	AZIMUT		
	X	Y	Z	EST.	PV.		°	'	"
3	456,804.137	2,259,531.885	1,883.253						
4	455,996.540	2,259,305.000	1,916.342	3	4	838.862	254	18	28
5	455,036.892	2,259,566.983	1,978.638	4	5	994.766	285	16	11
6	454,679.766	2,259,594.180	1,992.257	5	6	358.160	274	21	18
7	453,640.318	2,259,477.531	2,048.539	6	7	1,045.973	263	35	49
8	452,980.418	2,260,011.386	2,096.501	7	8	848.805	308	58	22
9	452,773.162	2,260,090.294	2,102.777	8	9	221.769	290	50	35
10	452,646.752	2,260,112.943	2,103.792	9	10	128.423	280	09	29
11	452,176.129	2,260,127.712	2,095.660	10	11	470.855	271	47	51
12	451,188.511	2,260,096.843	2,162.661	11	12	988.100	268	12	35
13	451,039.653	2,260,079.647	2,168.179	12	13	149.848	263	24	38
900	452,809.535	2,260,060.794	2,104.825	13	900	1,769.982	90	36	37
901	452,956.982	2,259,968.962	2,099.741	900	901	173.706	121	54	55
902	455,124.536	2,259,530.261	1,972.741	901	902	2,211.504	101	26	30
2	457,663.763	2,259,634.978	1,865.445	902	2	2,541.385	87	38	19
PRECISION RELATIVA : 1 :85,865				FECHA : MAYO 2012					
NOTAS: EL ORIGEN DE COORDENADAS SE TOMO DE LAS REFERENCIAS DE TRAZO DEL ET 14+778.117 DE LA CARRETERA PORTEZUELO - PALMILLAS Y DEL BANCO DE NIVEL BN 15-2 ELEV. 1881.316									
	X	Y	Z	AZIMUT					
PAUX 1	458,021.514	2,259,678.345	1,872.664	263°05'18"					

Tabla V.5.- Calculo de los circuitos

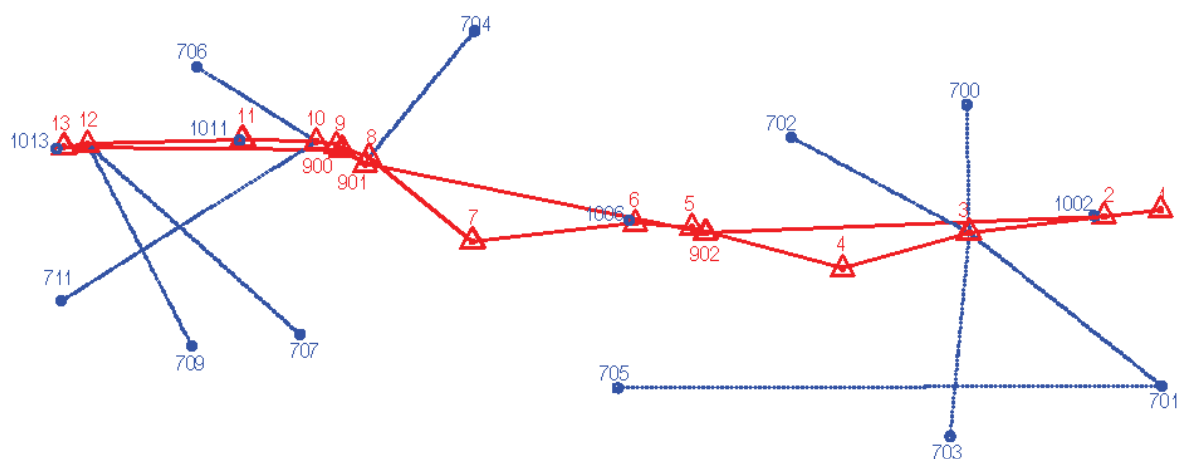


Fig. Vc.-CROQUIS DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA CIRCUITO UNO

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA	
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS	
SUBDIRECCION DE FOTOGRAFIA	
DEPARTAMENTO DE FOTOGRAFIA	
CARRETERA	FORTEUILLO - PALMILLAS
TRAMO	FORTEUILLO - HUIO LAPAN
REGION	EL TAMBOR AL CAJAMARCA
ORIGEN	FORTEUILLO, HGO.
CROQUIS CIRCUITO N° I	
Escala 1:1000	

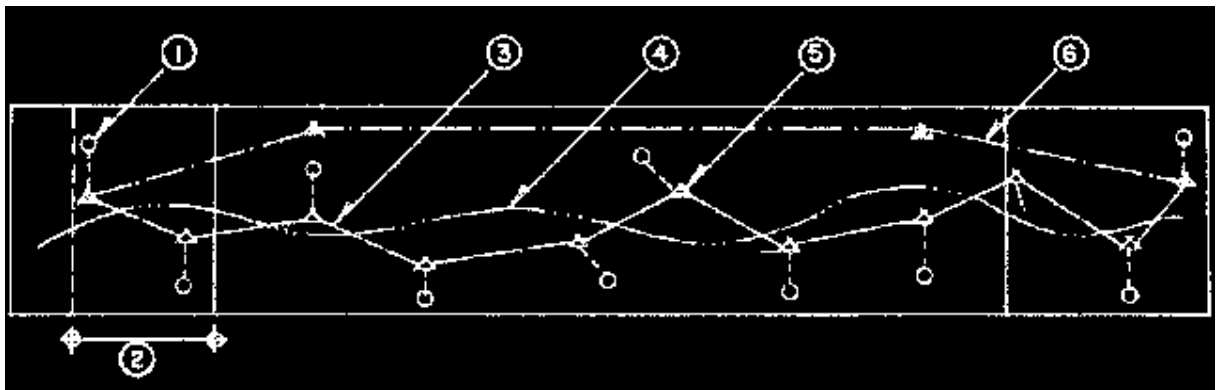
V.5.- PROYECTO DEL CONTROL TERRESTRE.

En el proyecto del apoyo terrestre se persiguen 3 finalidades: Distribuirlo convenientemente, reducir el trabajo de campo al mínimo e indicarle a la Brigada de campo los puntos más adecuados que pueden ser tomados como puntos de control tanto planimétricos como altimétricos (laterales).

Idealmente los puntos que se utilizan para control terrestre deberían de escogerse al centro de cada faja de la triple sobre posición longitudinal de las fotografías de la misma línea de vuelo, y en su caso, al centro de cada faja de sobre posición transversal con las líneas de vuelo adyacentes; pero algunas veces por la falta de buenos detalles naturales que puedan servir como puntos de control, las dificultades de acceso, etc., hacen imposible la realización de un levantamiento de control terrestre en forma ideal.

Debido a lo expuesto anteriormente se fijan unas normas dentro de las cuales es factible realizar un buen control terrestre (siempre tratando de realizar un control perfecto como se explicó anteriormente) que pueda servirnos para realizar la orientación absoluta de los modelos estereoscópicos y así poder realizar la restitución de los planos topográficos base.

En forma general, para cualquiera de las etapas fotográficas, el control terrestre necesario deberá mostrar un aspecto similar al que se muestra en la Fig. No. Vd



En la Fig.Vd anterior se encuentran representados los siguientes conceptos:

- (1).- Puntos de control altimétrico con (z) o (x, y, z) .
- (2).- Modelo estereoscópico formado por dos fotografías consecutivas.
- (3).- Poligonal de referencia.
- (4).- Línea de ruta.
- (5).- Puntos de control planimétrico con (x, y, z)
- (6).- Poligonal maestra. (De comprobación).

En el siguiente cuadro se muestran las distancias recomendadas a las que se deberán de colocar los puntos de control terrestre tanto planimétricos (de la poligonal de referencia) como altimétricos (puntos laterales).

CONTROL TERRESTRE PARA FOTOGRAFÍAS A ESCALA	DIST. ENTRE PUNTOS DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA (di)	Dist. Del eje a puntos laterales (d2)
1: 5,000	225 m.	285 m.
1: 10,000	540 m.	575 m.
1: 25,000	1,350 m.	1,437 m.

Es importante señalar que estas distancias son para cuando se quiere obtener un control terrestre completo para cada modelo estereoscópico, lo que se justifica sólo para las etapas fotográficas a las escalas de 1:10,000 y 1:5,000.

En el caso del control terrestre para fotografías a la escala de 1:25,000 (cuando se requiera llevarlo a cabo en el campo, ya que generalmente éste se realiza en el gabinete con el auxilio de las cartas topográficas INEGI) no es estrictamente necesario realizar un control completo dada la escala a la cual se está trabajando. En este caso en particular se realiza un control mínimo en el campo, el que posteriormente es completado en gabinete con el auxilio de los aparatos restituidores, los cuales permiten (una vez que en ellos se tienen los modelos estereoscópicos perfectamente orientados) bajar puntos auxiliares instrumentales en las orillas de las modelos, o donde sea necesario, lo cual nos permite realizar la orientación sucesiva de los modelos subsecuentes.

Para poder nivelar el primer modelo es necesario, desde luego, el tener un control terrestre completo en este modelo de arranque.

El control terrestre mínimo implica el realizar a cada cinco o seis modelos un control completo para así tener una buena comprobación en el bajado de los puntos instrumentales. Ver Fig. No. V4

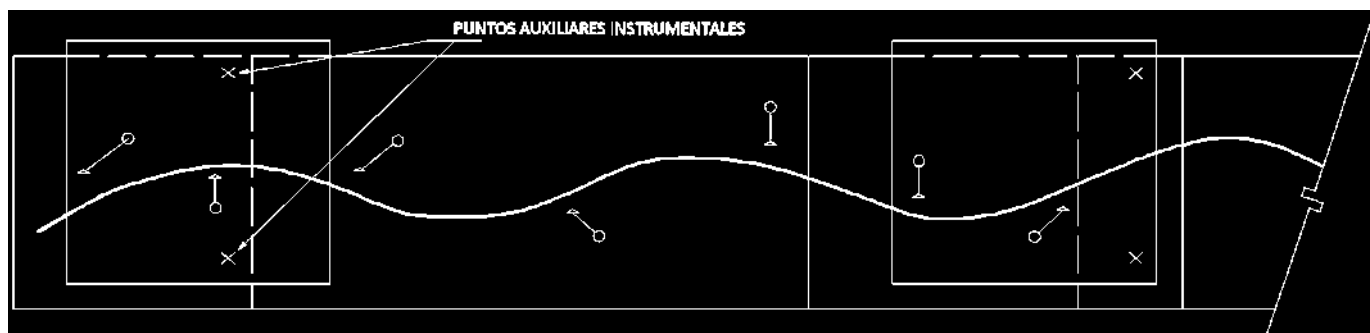


Fig. Ve.- Puntos Auxiliares

V.5.1.- CONTROL TERRESTRE PARA FOTOGRAFÍAS 1:10,000

Sobre los planos restituidos a la escala de 1:5,000 que contengan las rutas propuestas se procede a realizar el proyecto de apoyo terrestre, el cual debe abarcar una amplia zona a cada lado de cada ruta. Esta apoyo pasará a las fotografías existentes 1:25,000 que junto con los planos 1:5,000 servirán de guía a la brigada que lo llevará a cabo en el campo.

Si las fotografías 1:10,000 no han sido tomadas aún y si la zona de trabajo carece de suficientes detalles planimétricos que puedan servir de puntos de control, debe verse la conveniencia de realizar un pre señalamiento.

Es muy conveniente situar algunos puntos de control cerca de la línea de ruta para así facilitar posteriores ligas con la poligonal de referencia o en su caso con el trazo definitivo directo.

V.5.2.-TOMA DE FOTOGRAFÍAS ESCALA 1:2,000

B) SEGUNDA ETAPA FOTOGRAFICA

Una vez que se tiene perfectamente definida la línea de ruta, y en su caso se ha llevado a cabo el levantamiento del control terrestre necesario, se lleva a

cabo el segundo levantamiento aerofoto gráfico, consistente por lo general en líneas de vuelo paralelas al eje del anteproyecto preliminar 1:5,000 aprobado.

El proyecto de vuelo fotográfico es planeado sobre cartas topográficas 1:50,000 con el auxilio de las plantas topográficas restituidas de la etapa anterior. De acuerdo con este plan de vuelo fotográfico se deberán de obtener fotografías a la escala de 1:10,000, cubriendo cada línea de vuelo una franja de terreno de un ancho aproximado de 2.3 Km. y en estas franjas de vuelo deberá quedar alojada perfectamente la ruta aprobada.

VER PLANO ANEXO No.2

V.5.3.- ESTUDIOS ESTEREOSCÓPICOS.

Las fotografías obtenidas a la escala de 1:10,000 nos ofrecen una gran riqueza de información, ya que su escala nos permite observar con gran detalle las características más representativas del terreno en estudio.

Con el auxilio del estereoscopio se estudia sobre estas fotografías la mejor ubicación de la línea tentativa del proyecto.

Una vez que en estas fotografías se ha trazado la línea de ruta aprobada, se puede determinar con bastante precisión todo lo concerniente a derecho de vía, afectación esa terrenos agrícolas o a viviendas, disposición y tipo de las obras de drenaje necesarias. Asimismo, el Ingeniero en cargo de realizar la fotointerpretación geológica está en mejores condiciones de realizar un mejor estudio foto geológico de la zona, así como prever los posibles problemas de suelos que se puedan presentar en el terreno donde se va a construir la carretera.

En esta forma ya se está en posibilidades de delimitar con mejor precisión la faja del terreno en la cual se va a alojar el-proyecto definitivo y la cual debe ser

restituida fotogramétricamente por medio de las estaciones fotogramétricas digitales.

Por economía, en ancho de la faja a restituir será de 200 a 400 m., sin embargo este ancho puede ser mayor en aquellas zonas donde se presenten dos o más alternativas.

Cabe mencionarse que tanto la tripulación, el avión y permisos, están sujetos a lo estipulado en la ley de vías generales de comunicación y que la aeronave cuenta con un sistema eficiente de navegación.

Se utilizó una cámara Wild RC-8 con filtro Wild λ 50=525nm A.V 2X y película AGFA AVIPHOT PAN 200.

Se procedió a la realización de la toma de fotografías el día 16 de abril del 2012, entre las 12.00 y las 13:00 horas, sobre las líneas de vuelo trazadas, donde el área cubierta lateralmente para la escala de las fotos (1:10,000), resultó de aprox. 2,200 m.

El cubrimiento del área de trabajo fue realizado a una altura de vuelo del avión de entre los 2,100 m a los 2,250 m, mediante 2 líneas de vuelo a la escala media 1:10,000, de las que se realizó el proceso de laboratorio numerado y control de línea de vuelo, y el copiado de los juegos de fotografías aéreas de contacto de 23 x 23 cm, resultando:

LINEA	No.FOTOS	FOTOS
1	24	1 a la 24
2	19	1 a la 19

V.5.4.- RESTITUCIÓN DE LOS PLANOS A ESCALA 1:2,000

Con la faja por restituir fijada en las fotografías, la cual es pasada a las diapositivas de las mismas, se procede a la obtención de las plantas topográficas fotogramétricas a la escala de 1:2,000/2 (equidistancia entre curvas de nivel de 2 metros); este trabajo se lleva a cabo en un equipo de observación primer orden como lo son las Estaciones Fotogramétricas Digitales.

Indudablemente que las plantas topográficas obtenidas por este procedimiento fotogramétrico son de una precisión indiscutible y es por ello que para este tipo de plano se logra realizar anteproyectos mucho más precisos.

VER PLANO ANEXO No.3

V.5.5.- ANTEPROYECTO SOBRE PLANTAS 1:2,000

El objetivo fundamental de esta etapa es el definir el eje de trazo de la carretera, considerando para ello un número variable de posibilidades para así escoger aquella alternativa que mejor satisfaga los requerimientos de beneficios y costos. Eje que deberá ser trazado en el campo o procesado fotogramétricamente para desarrollar el proyecto definitivo del mismo,

Si el eje del anteproyecto seleccionado se aloja en terreno con vegetación alta y densa, el trabajo deberá continuarse directamente en el campo, trazando como poligonal de referencia el propio eje del Anteproyecto aprobado, el cual servirá de apoyo para el levantamiento de las secciones transversales del terreno, nivelación del eje de proyecto; trazo, nivelación, propuesta y funcionamiento de las obras de drenaje.

De otro modo, sobre este eje del Anteproyecto y sus posibles variantes se "preseñala" una poligonal de referencia para llevar a cabo el apoyo terrestre y así realizar el levantamiento Aerofotográfico a la escala de 1:2,000.

Es indispensable, desde luego, que en los diferentes Anteproyectos que se tengan que realizar se tomen en cuenta estrictamente las diferentes normas y especificaciones relativas tanto al alineamiento horizontal como vertical (grado máximo de curvatura, pendiente gobernadora y máxima, longitud de tangentes mínimas, longitudes de curvas, longitudes de curvas espirales de transición, etc.) para así obtener un Anteproyecto al cual se le tengan que realizar las mínimas modificaciones durante el proyecto definitivo.

En esta etapa es muy conveniente efectuar un segundo reconocimiento de campo para verificar la interpretación realizada sobre las fotografías 1:10,000. En este reconocimiento se debe de recorrer la línea proyectada fijando la atención en problemas de afectaciones, de cruces, tipos y problemas de suelos, drenaje de estos reconocimientos algunas veces suelen surgir algunas modificaciones importantes.

Después de estas últimas observaciones, el eje del proyecto aceptado ha quedado definido gráficamente sobre las plantas 1:2,000.

Aunque anteriormente se ha aplicado el cómputo electrónico en la compensación y cálculo de los apoyos terrestres de las etapas anteriores, a partir de este nivel del, proyecto, el cálculo electrónico es una ayuda fundamental para el Ingeniero Proyectista al hacerse cargo de los cálculos rutinarios, permitiéndole así una dedicación más amplia a los conceptos de criterio.

VER PLANO ANEXO No.4

Capítulo VI.

PROYECTO DEFINITIVO.

VI.1.-PROYECTO DEFINITIVO.

En esta etapa son obtenidos los perfiles longitudinales Secciones transversales, y los planos de detalle del terreno, necesarios para el diseño geométrico de las secciones de construcción, la cubicación de las terracerías y el proyecto del drenaje, tanto del eje principal como de las intersecciones.

Dependiendo de la densidad de la vegetación, la longitud del tramo y la configuración topográfica, los datos del terreno para el Proyecto Definitivo pueden ser obtenidos directamente en el campo o bien por medio de procedimientos fotogramétricos como se ah estado analizando en este trabajo de tesis.

Para la obtención de los datos en el campo, se replantea el eje del Anteproyecto aprobado a partir de los vértices de la poligonal de referencia que sirvió de base para el levantamiento del control terrestre para la toma de fotografías escala 1:10,000. Los datos que se levantan en el campo son los que ya se comentaron anteriormente en el apartado correspondiente al Anteproyecto 1:2,000 (ver plano anexo No 4).

Para poder realizar el Proyecto Definitivo por el Método Fotogramétrico se deben de llevar a cabo los siguientes trabajos:

- Trazo y señalamiento de la poligonal de referencia.
- Levantamiento Aerofotogramétrico a esc. 1:5,000
- Obtención de las secciones transversales y perfil del terreno en las estaciones de restitución y con el uso de software como pueden ser CivilCad o Autodesk Civil3D
- Proyecto definitivo de la subrasante.

VI.2.-CONSIDERACIONES GENERALES DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.

Los alineamientos horizontal y vertical son elementos permanentes que requieren de un estudio concienzudo. Es extremadamente difícil y costoso corregir deficiencias de alineamiento después de que una carretera ha sido construida. Las diferentes alternativas de alineamiento deberán ponderarse cuidadosamente para no caer en ahorros iniciales mal entendidos que puedan verse ensombrecidos, en poco tiempo, por pérdidas económicas cuantiosas en accidentes, demoras y sobrecostos de operación.

VI.3.-CONTROLES GENERALES DEL PROYECTO.

Los alineamientos horizontal y vertical no deben proyectarse de manera independiente, ya que son geométrica y funcionalmente complementarios. La excelencia en el diseño de la combinación de ambos, incrementa la eficiencia y la seguridad y mejora casi siempre la apariencia y comodidad de la carretera, sin costo adicional.

La velocidad de proyecto reviste gran importancia para mantener a todos los elementos del proyecto en un justo balance. La velocidad de proyecto determina los límites de los valores mínimos de elementos como la curvatura y la distancia de visibilidad y tiene influencia sobre muchos otros como la anchura, distancias libres horizontales y verticales entre las curvas y pendientes máximas. Una combinación apropiada del alineamiento vertical y del perfil del terreno, se obtiene mediante un estudio cuidadoso de ingeniería.

VI.4.-MATEMATIZACIÓN DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

Esta etapa queda comprendida dentro de la etapa de Anteproyecto, aunque por sus características se puede considerar como una actividad dentro de la etapa de Proyecto Definitivo.

En esta etapa se realiza la revisión de los datos respecto a las normas del Proyecto y el cálculo de los elementos de las curvas y tangentes que constituyen el alineamiento horizontal del eje del camino, incluyendo las sobre elevaciones y ampliaciones de la corona de terracerías.

Para llevar a cabo la matematización o el cálculo del Alineamiento Horizontal, el Projectista debe proporcionar los siguientes datos:

- A).- Coordenadas gráficas de los PST y/o PI que definen las tangentes.
- B).- Numero ordinal, tipo, sentido y grado de cada una de las curvas.
- C).- Velocidad de proyecto para determinado tramo.

Con estos datos se alimenta a la computadora, la cual ya ha sido previamente cargada con el programa adecuado (como pueden ser hojas de cálculo programadas en Excel, calculadoras programables o el programa Curva Masa o *CM23*) para así proporcionarnos la correspondiente matematización del alineamiento horizontal que posteriormente servirá como referencia para la realización del Seccionamiento Transversal Fotogramétrico, así como para realizar el Estacamiento.

De este proceso de cálculo del alineamiento horizontal se obtienen los siguientes datos:

- 1.- Cadenamiento y coordenadas de los PST (a cada 300 metros máximo), PI, PC, PT, TE, EC, CE, y ET.
- 2.- De cada tangente, su longitud al centímetro y su rumbo en grados, minutos y segundos.

3.- De cada curva, su número ordinal, de-flexión total, velocidad de proyecto, grado y radio de curvatura, longitud de curva circular y longitud de espiral.

Una vez matematizado el trazo se dibuja este con toda precisión sobre las plantas topográficas 1:2,000; una copia de estas plantas topográficas así como del perfil deducido (con anteproyecto de subrasante) son entregadas al Departamento de Geotecnia para que se efectúe la exploración de suelos necesaria para identificar los materiales que se encontraran durante la construcción y así prever su comportamiento para hacer las recomendaciones pertinentes para el proyecto de terracería si con las pruebas de laboratorio que se efectúen, se obtendrán los siguientes datos, que son indispensables para el cálculo de la ordenada de la curva de masas así como para la utilización de los materiales en el momento de la construcción.

A continuación presento un extracto de la matematización hecha con software:

```
O R I G E N
-----
C A D E N A M I E N T O S      X      Y
OR      = 17567.496      453938.148      2259398.292
-----
TANGENTE LIBRE = 351.380 m.      AZIMUT = 283 GRA 23 MIN 46.984 SEG
-----
CURVA CIRCULAR
-----
***** ELEMENTOS DE LA CURVA *****
VEL = 110 KPH
C A D E N A M I E N T O S      X      Y      NO. DE CURVA      1
PC      = 17918.876      453596.329      2259479.702      DC = 21 GRA 11 MIN 51.714 SEG
DER.
PT      = 18484.148      453082.849      2259708.267      GC = 0 GRA 45 MIN .000 SEG
PI      = 18204.780      453318.204      2259545.942      RC = 1527.887 m.
CTRO    = 453950.320      2260966.016      ST = 285.905 m.
LC = 565.272 m.
-----
TANGENTE LIBRE = 157.516 m.      AZIMUT = 304 GRA 35 MIN 38.698 SEG
-----
CURVA ESPIRAL
-----
***** ELEMENTOS DE LA CURVA *****
VEL = 110 KPH
```

C A D E N A M I E N T O S X Y NO. DE CURVA 2

TE = 18641.664 452953.182 2259797.698 DT = 34 GRA 5 MIN 51.766 SEG

IZQ. EC = 18705.664 452899.999 2259833.293 DC = 29 GRA 17 MIN 51.766 SEG

CE = 19096.300 452531.580 2259949.775 GC = 1 GRA 30 MIN .000 SEG

ET = 19160.300 452467.602 2259951.222 RC = 763.944 m.

PI = 18908.004 452733.932 2259948.915 ST = 266.340 m.

CTRO = 452492.979 2259186.807 LC = 390.636 m.

LE = 64.000 m.

XC = 63.989 YC = .893

P = 0.223 K = 31.998

Oe = 2 GRA 23 MIN 60.000 SEG

TANGENTE LIBRE = 318.233 m. AZIMUT = 270 GRA 29 MIN 46.932 SEG

 CURVA CIRCULAR

***** ELEMENTOS DE LA CURVA *****

VEL = 110 KPH

C A D E N A M I E N T O S X Y NO. DE CURVA 3

PC = 19478.534 452149.380 2259953.979 DC = 5 GRA 50 MIN 47.961 SEG

DER. PT = 19712.400 451916.032 2259967.923 GC = 0 GRA 30 MIN .000 SEG

PI = 19595.568 452032.350 2259954.993 RC = 2291.831 m.

CTRO = 452169.235 2262245.724 ST = 117.035 m.

LC = 233.866 m.

TANGENTE LIBRE = 742.471 m. AZIMUT = 276 GRA 20 MIN 34.893 SEG

 CURVA CIRCULAR

***** ELEMENTOS DE LA CURVA *****

VEL = 110 KPH

C A D E N A M I E N T O S X Y NO. DE CURVA 4

PC = 20454.871 451178.106 2260049.952 DC = 47 GRA 1 MIN 19.422 SEG

IZQ. PT = 21207.224 450479.279 2259834.056 GC = 1 GRA 15 MIN .000 SEG

PI = 20853.687 450781.731 2260094.013 RC = 916.732 m.

CTRO = 451076.825 2259138.831 ST = 398.817 m.

LC = 752.353 m.

TANGENTE LIBRE = 1512.450 m. AZIMUT = 229 GRA 19 MIN 15.471 SEG

VI.5.-TRAZO Y SEÑALAMIENTO DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA.

El proyecto de la poligonal de referencia basado sobre los planos 1:2,000/2 así como en las fotografías 1:10,000, es entregada a la Brigada de Control Terrestre para que este sea ejecutado sobre el terreno.

Esta poligonal de referencia tiene principalmente dos finalidades: combinada con la nivelación lateral permite la orientación absoluta de los modelos estereoscópicos en lo que se hará el seccionamiento fotogramétrico del proyecto y después desde sus vértices, con los datos para el "estacamiento", por coordenadas rectangulares, polares o por intersecciones se realiza el "Replanteo del eje del Proyecto".

Los vértices de esta poligonal se ubican separados entre sí a unos 300 o 400 m. Buscando que ven cada modelo de seccionamiento haya suficiente control de posición y que el estacamiento del trazo se haga con visibilidad aceptable entre los vértices; se les sitúa alternativamente a los lados del eje del Proyecto distantes de este lo necesario para que no sean destruidos durante la construcción.

Cada vértice deberá ser amojonado y señalado claramente para que aparezca en las fotografías 1:5,000 que se tomarán posteriormente; además, estos deberán ser referenciados en ángulo y distancia a puntos notables del terreno (cercas, casas, caminos, puentes, etc.),

Los puntos auxiliares laterales se colocarán a uno y otro lado de la poligonal a una distancia entre 200 y 300 m los cuales deberán ser conocidos en elevación. Esta poligonal deberá ser ligada a la de la segunda etapa en planimetría y altimetría por lo menos a cada 5 Km.

Las precisiones requeridas en esta poligonal son semejantes a las pedidas en la poligonal de la segunda etapa.

VI.6.-REPLANTEO DEL EJE DE PROYECTO.

Una vez aprobado el proyecto definitivo a escala 1:2000 (restitución) con equidistancia entre curvas de nivel a cada 2 m y maestras a 20 m. El Ingeniero jefe de la brigada revisará o checará que los puntos de arranque de la matematización estén correctamente tomados de la restitución.

Es de suma importancia checar los valores de los puntos de arranque, por si estuvieran mal calculados pues esto nos implicaría pérdida de tiempo.

Como ya se mencionó anteriormente, la dirección de proyectos manda la matematización del proyecto definitivo, en la cual aparecen los elementos de las curvas espirales y circulares y otros puntos de importancia, como puntos sobre tangentes (P.S.T), etc.

VI.7.-MÉTODOS PARA REPLANTEAR.

1.- La forma más conveniente para replantear es ubicar los puntos de la curva PC,PI, PT para la curva circular, para la curva espiral el TE, EC, PI, CE, ET y puntos sobre la tangente (PST), los necesarios para continuar sobre la línea en tangencia, esto es cuando el terreno es plano y sin ningún obstáculo.

En terreno lomerío y montañoso no siempre se replantean los puntos calculados en la matematización, se pondrán en campo los puntos que más nos convengan por el tipo de terreno u obstáculos que se presenten para su realización, como son; cantiles, ríos, arroyos, construcciones etc.

Para el replanteo se tomarán como apoyo los puntos de la poligonal, no deberán utilizarse coordenadas de los puntos laterales ya que no se compensan como en la poligonal de apoyo. Véase fig. No.VI.a

Puntos de la Poligonal

@ Laterales

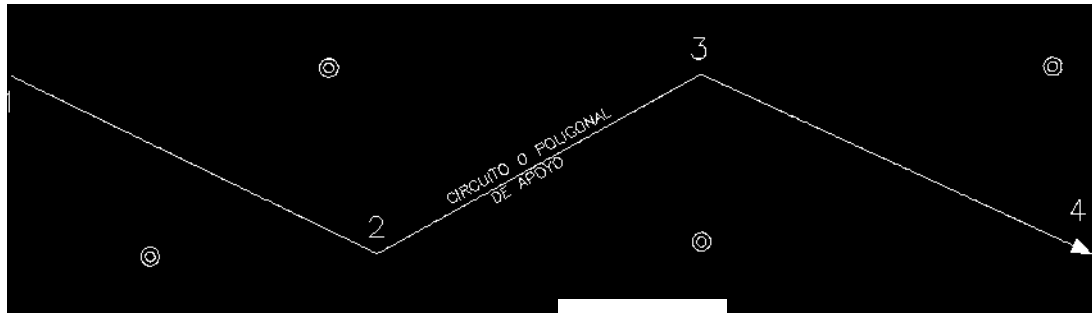


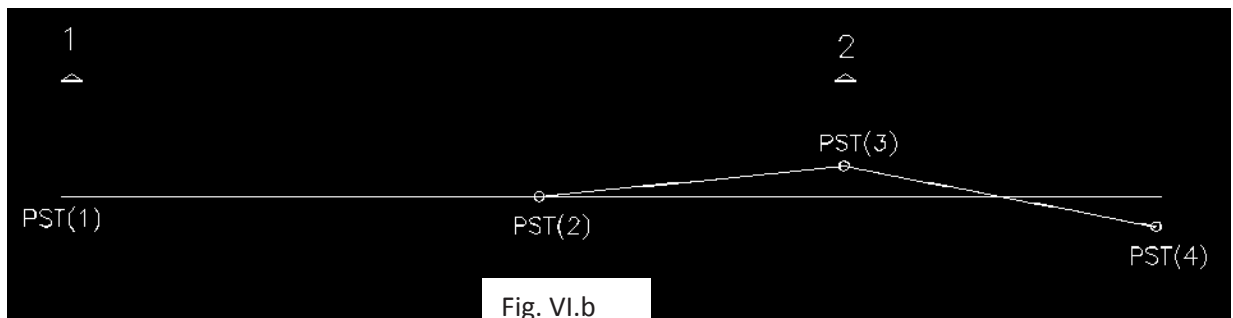
Fig. VI.a

Al usar puntos de las laterales pudiera darse el caso de que estén mal calculados y esto nos llevaría a un error en la ubicación de los puntos del alineamiento horizontal (matematización).

Debe de tenerse en cuenta que una poligonal cerrada, como es el caso de los circuitos, estos siempre están checados y en caso de existir un error angular y en distancia, se corrige compensándolo dentro de todo el circuito, es por eso que como regla o norma deben de tomarse los puntos de la poligonal o circuito como se le quiera llamar. Como se ilustra en la Fig. No. VI.a

Para replantear una tangente se deberán ubicar en el campo 2 puntos nada más, con estos seguir ubicando la tangente hasta que finalice, de lo contrario si se ubican más PST con puntos de control estos no estarán exactamente en tangencia, como se ilustra en la figura No. VI.b

Δ = puntos de control (poligonal)



Los PST(1) y (2) son los correctos los PST(3) y (4) son incorrectos, porque originarían un zigzaguo y nunca checaríamos dentro de la tolerancia, al hacer ru-
na liga en cualquier punto del circuito.

Para la ubicación de puntos más adecuados se deberá hacer una combina-
ción decampo y planos de restitución a escala 1:2,000 con la línea de proyecto
ofotografías, con el eje debidamente ubicado sobre ellas.

VI.8.- CÁLCULO DEL REPLANTEO.

El cálculo se hace de la siguiente manera:

- a) Para una curva circular

Puntos de control (poligonal).

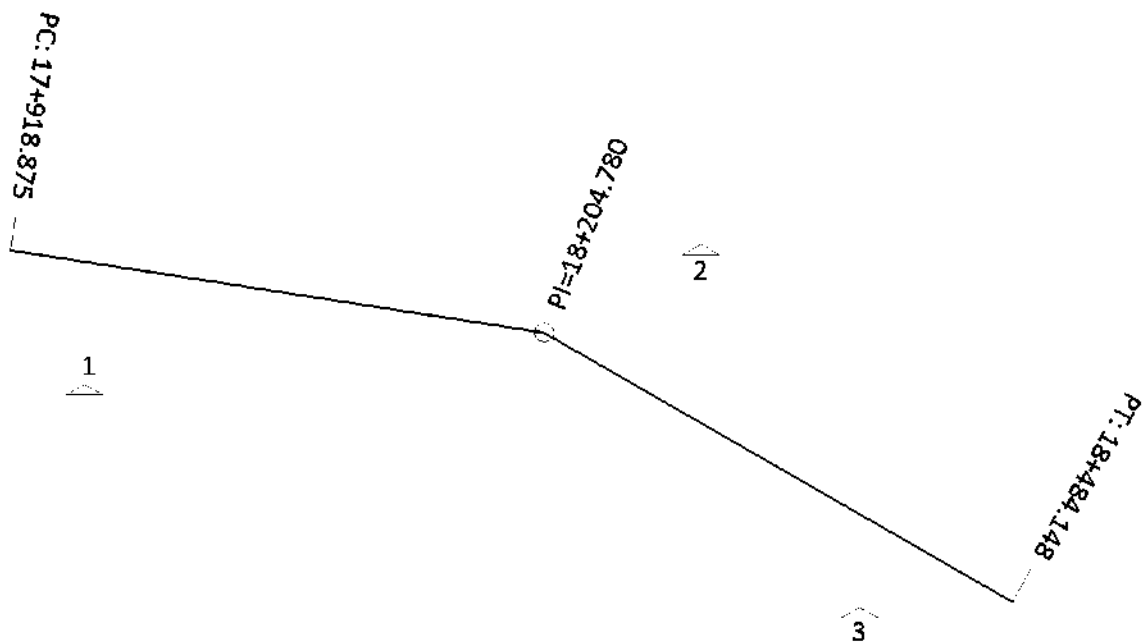


Fig. VI.c

Coordenadas de los puntos de control.

Δ Vértices

Δ(1) $x = 667,021.931$
 $y = 2,036,750.895$

Δ(2) $x = 667,821.231$
 $y = 2,037,302.427$

Δ(3) $x = 668,897.206$
 $y = 2,036,931.584$

Teniendo todos los datos necesarios se escogen 2 puntos de control, que pueden ser para este caso 1 y 2 o 2 y 3, es lo más idóneo pero pudiera ser el caso que se utilizarán 1 y 3, 2 y 1, 3 y 2 etc.

Para este ejemplo se utilizaron los puntos de control terrestre 2 y 3 de la fig. VI.8, previamente elegidos en la restitución 1:2000 y localizados en campo.

1.- Se calcula el azimut de la línea entre los puntos 2 y 3.

$$\Delta (2) \quad x = 667,821.231 \\ y = 2,037,302.427$$

$$\Delta (3) \quad x = 668,897.206 \\ y = 2,036,931.584$$

Diferencia de las coordenadas de los vértices 2, 3 con respecto a las abscisas de las X (Δx)

$$668,897.206 - 667,821.231 = 1075.975$$

Diferencia de las coordenadas de los vértices 2,3 con respecto a las abscisas de las Y (Δy)

$$2,036,931.584 - 2,037,302.427 = - 370.843$$

Obtenidas las diferencias de coordenadas, se calcula el azimut por medio de un programa para agilizar el cálculo.

VI.9.- TRAZO DE LA LÍNEA DE PROYECTO.

Terminado el replanteo, se procede a correr cadenamientos sobre la línea replanteada, colocando trompo y estaca testigo con su respectivo Cadenamiento en cada estación "cerrada" es decir de 20.00 m. se trazan de esta forma las tangentes y curvas, llevando el registro en una libreta de trazo.

Se empieza el trazo en el punto replanteado inicial de cada tramo, esto nos ayuda a detectar algún punto mal ubicado o un cadenamiento mal dado. Pero si hay urgencia de trabajo se puede iniciar el trazo en cualquier punto replanteado que no sea el inicial.

CONCLUSIONES

En el transcurso de casi 80 años de construcción de caminos modernos en nuestro país se ha avanzado en todos los aspectos que comprenden la realización de un camino, desde que se abre la brecha para el trazo hasta que se pinta y se coloca el señalamiento.

En nuestro país, desde hacía tiempo, se intentaba obtener una automatización en los diversos trabajos que se realizan para elaborar un proyecto de una vía terrestre, estos esfuerzos empezaron a dar sus frutos allá por los años 60's cuando se introduce por primera vez, para la realización de algunas etapas del proyecto, dos técnicas relativamente desconocidas en esos años: La Fotogrametría y el computo electrónico.

La principal ventaja que se tiene con la aplicación de estas dos técnicas en la elaboración de los proyectos de carreteras puede resumirse en las siguientes:

1.- Los levantamientos fotogramétricos son lo suficientemente amplios y confiables, que podemos darnos al disponer de una amplia zona fotografiada, de las distintas posibilidades que hay para la localización de una vía de comunicación terrestre. Cosa que era prácticamente imposible con los levantamientos realizados a base de la topografía tradicional, ya que estos suelen ser muy reducidos debido al alto costo y a las condiciones de trabajo en que se llevan a cabo.

2.- La fotogrametría nos "lleva" el terreno al gabinete, permitiendo así su análisis en condiciones favorables y ventajosas.

3.- La variación en la altura de vuelo permite obtener imágenes con gran riqueza de detalles, el que obtiene esta información en el campo siempre observa escala 1:1

4.- En los levantamientos fotogramétricos, el trabajo de campo se reduce al mínimo, abatiendo con ello el costo de los proyectos, así como el tiempo de su ejecución.

5.- En los planos restituidos fotogramétricamente se presenta una gran riqueza de información tanto altimétrica como de planimetría, con una simbología tal que el proyectista tiene un panorama general del terreno sobre el cual se realizarán los estudios necesarios para la ejecución del proyecto.

Como se puede ver, con el uso de las fotografías aéreas, así como de los planos restituidos fotogramétricamente, se puede escoger, sin lugar a dudas, la ruta más ventajosa para nuestro proyecto.

Gracias a la computación de hoy en día se releva al proyectista de los cálculos rutinarios y tediosos, permitiéndole así dedicar más tiempo a los conceptos de criterio, lo que redundará en la optimización del proyecto.

Ahora, si estimamos la ventaja de la computación y las herramientas de software en la elaboración del proyecto definitivo, llegamos al siguiente balance:

1.- Se elimina el dibujo tanto de las secciones transversales, secciones de construcción, perfil longitudinal, así como de la ordenada de la curva masa.

2.- La rapidez y el bajo costo del proceso electrónico permite fácilmente hacer los tanteos necesarios de subrasante hasta encontrar la posición de la compensadora económica y así poder definir el proyecto definitivo de la rasante.

BIBLIOGRAFÍAS

- Wolf / Brinker 1977 Topografía, Edit. ALFAOMEGA México D.F. Págs. 700-704.
- Bernard Herrera Herrera 1987, Elementos de fotogrametría, Edit. LIMUSA México Págs. 34 a 53.
- Norma SCT: N.PRY.CAR-1-01-004/07. CAPITULO: 004. Fotografías Aéreas para Estudios Aerofotogramétricos.
- Norma SCT: N.PRY.CAR.1.01.005/07. CAPITULO: 005. Restitución Aerofotogramétrica.
- La fotogrametría en el proyecto de vías terrestres. Ing. Bulmaro Cabrera Ruiz. S.A.H.O.P. 1977.
- Estado Mayor de la Defensa Nacional 1994. Manual de Cartografía, Edit. Secretaria de la Defensa Nacional México. Págs. 176 a 213.
- THOMPSON, M. Y GRUNER, H. *Foundations of Photogrammetry. Manual of Photogrammetry*.ed. C.C.
- MAKAROVIC, B., Integrated Photogrammetric Systems. ISPRS com symp, Baltimore, May, 1986 págs. 21-29.
- “FOTOGRA METRIA DGITAL” Serafín López-Cuervo. Escuela de Ingenieros en Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid.
- HINZ, A. et al. *DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I Imaging*. En: Photogrammetric Week 01, págs. 93-103. Stuttgart, 2001.
- ROTH, R. *Demonstration Program: ALS40 Airborne Laser Scanner*. LH Systems2001 User Group Meeting & Aerial Sensor Workshop, pags.19-24 august 2001.
- Norma Técnica NTG001_2005 Sistema Geodésico Nacional INEGI. México.
- Manual de Fotogrametría 2006, Instituto Agustín Codazzi, Colombia.
- Pérez J.A. Apuntes de Fotogrametría, Universidad de Extremadura, España, 2006.

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.

ANEXOS.

Fig. IIa.- Coronel Aimé Loussedat Medal.....	12
Fig. IIb.- Teodolito.....	13
Fig. IIc.- Edward Von Orel.....	14
Fig. IId.- Estereoautografode Edward Von Orel.....	15
Fig. IIe.- Fotorestituidor Wild, usado en SCT.....	18
Fig. II f.- Proyecciones.....	22
Fig. IIg.- Modelo espacial.....	23
Fig. IIh.- Plano de proyección.....	24
Fig. Iii.- Diagrama de escala.....	25
Fig. IIj.- Plano de perspectiva.....	28
Fig. IIk, IIL, IIm.....	30-32
Fig. IIn.- Estereograma o Estereoimagen.....	39
Fig. IIo.- Esquema plan de vuelo.....	40
Fig. IIp.- Línea de vuelo longitudinal.....	42
Fig. IIq.- Recubrimiento longitudinal.....	44
Fig. IIr.- Cámara universal para película Wild RC 10.....	47
Fig. IIIa.- Cámara digital de gran formato.....	62
Fig. IIIb.- Ángulos de escaneo sistema lidar.....	71
Tabla III.1.- Datos del relieve Modelo digital de elevación. Requerimientos de software.....	72
Fig. IIIc.-Esquema de los elementos básicos del sistema.....	73
Fig. IIId.- Vista 2.5D del Cañón del Colorado obtenido con sistemas LIDAR.....	75
Tabla III.2.- Precisiones plani- y altimétricas estimadas con el sistema LIDAR para diferentes alturas de vuelo sobre el terreno.....	76
Fig. IIIe.- Modelo digital de elevación LiDAR de tipo superficie en perspectiva – Distrito Federal..	78
Fig. f.- Modelo Digital de Superficie LIDAR de Chiapas.....	79
Fig. IIlg.- Componentes del sensor LH ALS40 (leyenda en el texto).....	81
Fig. IVa.- Autógrafo WILD A8 con mesa de dibujo de 100 x 100 cm de superficie útil.....	94
Fig. IVb.- Aviotab TA2.....	97
Fig. IVc.-Áreas de conocimiento científico y técnico que han permitido la evolución de la Fotogrametría Digital.....	98
Tabla IV.3 Comparación cámaras digitales y tradicionales.....	99
Fig. IVe.- ESTACIÓN FOTOGAMÉTRICA DIGITAL, Manivelas y Pedales con precisión de 1 micrón	
Fig. IVf.- Escáner.....	106
Fig. IVg.- Fotografía aérea.....	109

Fig. IVh.- Ejemplo de una restitución en proceso.....	117
Foto Va.- Fotografía aérea esc: 1:25,000.....	127
Tabla V.4.- Tabla de simbología.....	130
Foto Vb.- Fotografía aérea para apoyo de control terrestre.....	137
Foto Vb .1.- DETALLE Mojonera.....	138
Foto Vb.2.-PANORAMICA.....	138
Tabla V.5.- Calculo de los circuitos.....	141
Fig. Vc.- Croquis de la poligonal de referencia circuito uno.....	142
Fig. Vd.- Control terrestre necesario.....	143
Fig. Ve.- Puntos Auxiliares.....	145
PLANO ANEXO No.2 (Foto índice).....	146
PLANO ANEXO No.3 (Restitución).....	148
PLANO ANEXO No.4 (Anteproyecto).....	149
Fig. VI.a.- Puntos de poligonal.....	158
Fig. VI.b.-Puntos de replanteo.....	158
Fig. VI.c.- Puntos de poligonal en curva.....	159
 TABLA ANEXA PLAN DE VUELO.....	 168
 PLANO ANEXO No. 1 (Larguillo carta ruta)	
PLANO ANEXO No.2 (Foto índice)	
PLANO ANEXO No.3 (Restitución)	
PLANO ANEXO No.4 (Anteproyecto)	

