

526.77
B.736a
1755
F. May of May
y.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

LA AERO-FOTOGRAMETRIA EN EL SALVADOR

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR

CARLOS RENE BARBIER

PREVIA LA OPCION DEL TITULO
DE DOCTOR EN INGENIERIA CIVIL



SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

DICIEMBRE 1955



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Rector:

Dr. ROMEO FORTIN MAGAÑA

Secretario:

Dr. JOSE ENRIQUE CORDOVA



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Decano:

Ing. J. ALFONSO VALDIVIESO

Secretario:

Ing. OSCAR BAÑOS PACHECO

TRIBUNALES QUE PRACTICARON LOS EXAMENES
DEL DOCTORAMIENTO

PRIMER EXAMEN GENERAL PRIVADO

Ing. VICTOR MANUEL VALDES

Ing. ANTONIO RIVERA PALOMO

Ing. CARLOS GHIRINGHELLO

SEGUNDO EXAMEN GENERAL PRIVADO

Ing. ALIRIO CORNEJO

Ing. JOSE FONSECA FRANCO

Ing. JOSE UGARTE

EXAMEN PUBLICO

Ing. ATILIO GARCIA PRIETO

Ing. JOSE FONSECA FRANCO

Ing. LEON E. CUELLAR

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con todo cariño:

A la memoria de mi padre:

PAUL BARBIER QUIQUEREZ

A mi madre:

LOLA H. v. DE BARBIER

A mi esposa:

ELENA SICILIA DE BARBIER

A mis hijos:

JORGE RENE E IVONNE MELANIE

A mis maestros, amigos y compañeros.

I N T R O D U C C I O N

En el presente trabajo de Tesis titulado "LA AEROFOTOGRAFIA EN EL SALVADOR", ha sido mi intención reunir en él - algunas de las valiosas experiencias que como Jefe de la Sección de Fotogrametría de la Dirección General de Cartografía, me han sido posible obtener

Es por ello que me he concretado muy especialmente al - desarrollo de dos temas que revisten actualmente mucho interés para el Fotogrametra moderno, tales son: Los levantamientos Aero fotográficos y la Triangulación Aérea Espacial. Por otra parte - he querido contribuir modestamente con la información presentada, al conocimiento de esta moderna ciencia por parte del cuerpo de Ingenieros Salvadoreños y estudiantes de Ingeniería, ya que como lo dejo dicho en uno de sus capítulos, es considerada como un va lioso auxiliar de la Ingeniería Civil.

Aprovecho estas líneas para rendir mis más expresivos agradecimientos a la Dirección General de Cartografía y a la Ca sa Henry Wild Surveying Instrument Supply Co. Ltd., Heerbrugg - Suiza, por haber puesto a mi disposición toda la información - que les solicité para el desarrollo de este trabajo, además de aquellos amigos que me alentaron en la realización del mismo.

EL - AUTOR .

C A P I T U L O I

1) BREVE RESEÑA HISTORICA

Sin duda alguna, fué Francia la cuna de la Fotogrametría. Aimé Laussedat, Oficial del Cuerpo de Ingenieros del -- Ejército Francés, tuvo la idea original de emplear la fotografía para confeccionar mapas topográficos e investigó para encontrar un método que permitiera la transformación de una proyección en perspectiva en una proyección ortogonal.

En 1849 experimentó por primera vez con fotografías que tomó con una cámara equipada con placa de vidrio, suspendida de un globo cautivo . Sin embargo, las dificultades con que tropezó al escoger y mantener las estaciones de toma, cuando se trataba de fotografiar áreas más o menos extensas, le hicieron abandonar sus proyectos y lo llevaron a experimentar con fotografías tomadas desde estaciones terrestres con ayuda de un teodolito equipado con una cámara fotográfica.

En la exposición de París de 1867 logró presentar un plano de la ciudad ejecutado con este nuevo procedimiento, plano que, comparado con los ya existentes, tuvo acogida muy favorable.

Casi al mismo tiempo el Dr. Meydenbauer, en Alemania, seguía paso a paso el nuevo método desarrollado por Laussedat, y publicó en 1893 sus investigaciones en las que apareció por primera vez el vocablo "FOTOGRAMETRIA".

Con el descubrimiento en 1892 del principio de la marca flotante por Stolze y el subsiguiente desarrollo del mismo principio por el Dr. Pulfrich, la Estéreo -Fotogrametría entró en uso, siendo precisamente bajo este principio que trabajan todos los instrumentos fotogramétricos modernos.

Pero no fué sino hasta 1903 que el invento del avión vino a revolucionar completamente el empleo de la Aero-fotogrametría. Desde esa época numerosos hombres de ciencia se dedicaron a la investigación y lograron, con el curso de los años, darle a la Fotogrametría sólidas bases matemáticas, colocándola en el lugar sobresaliente que actualmente ocupa entre las ciencias.

En la actualidad, muchas casas de Suiza, Alemania, Francia, Italia y los Estados Unidos de Norte América costean rigurosas investigaciones sobre problemas pendientes, al par que dotan al moderno Fotogrametrista de numerosos instrumentos de alta precisión que han ampliado enormemente el campo de aplicación de la Fotogrametría, haciendo de ella una profesión reconocida y respetada en la mayoría de los países de los cinco continentes.

2) LA FOTOGAMETRIA EN EL SALVADOR

En El Salvador, si bien es cierto que la Aero-Fotogrametría fué utilizada por primera vez durante el levantamiento de la zona fronteriza con la vecina República de Guatemala, no fué sino hasta 1946 que el Gobierno de la República decidió utilizar estos avanzados métodos en la ejecución del mapa general del país.

Reconociendo la necesidad, cada día mayor, de disponer de un mapa exacto para usarlo en el planeamiento del desarrollo integral del país y las innegables ventajas que en cuanto a rapidez, exactitud y economía ofrecen los modernos procedimientos fotogramétricos, se fundó en ese mismo año la entonces llamada Oficina del Mapa, a la que se encomendaron los trabajos necesarios. Prestó su valiosa colaboración, en forma de asesoramiento técnico el Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, creando para ello una oficina del Servicio Geodésico Interamericano (Inter American Geodetic Survey).

Para la realización del control geodésico básico, se proyectó y ejecutó un arco central de triangulación de primer orden que ligara a El Salvador con los países circunvecinos de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Se utilizaron para ello los puntos ya existentes del arco fronterizo con Guatemala y se aprovechó el proyecto de la Comisión del Ferrocarril Intercontinental. Simultáneamente se medía una base geodésica cerca de la ciudad de San Miguel, con una longitud de 10,933.43 metros y un error probable de uno en dos millones y medio, y se hacían observaciones astronómicas de las estaciones Laplace establecidas en el Observatorio Nacional de San Salvador y en la ciudad de La Unión.

Para hacer el ajuste del arco central antes mencionado, se utilizaron los datos del ajuste de la red de triangulación entre las bases de El Porvenir en El Salvador y Ocotepeque en Honduras. Esta última estación se adoptó como datum para mien

tras se hace el ajuste final con el datum norteamericano de Meades Ranch de 1927.

Más tarde se agregó una red de primer orden para cubrir la zona costera y una pequeña red sobre la ciudad de San Salvador.

Simultáneamente se proyectaron y corrieron líneas de nivelación de primer orden que fueron enlazadas en cinco puntos diferentes con las Repúblicas de Guatemala y Honduras.

Estas líneas de nivelación, corridas sobre las principales carreteras del país, alcanzan actualmente una extensión de 3,000 kilómetros en los que se establecieron 1,035 bancos de marca permanentes. Se instalaron 3 estaciones mareográficas, una permanente y dos con carácter temporal. La primera establecida en el Puerto de Cutuco en el Departamento de La Unión.

Con fines de control fotogramétrico se ha rellenado, por decirlo así, gran parte del país con puntos de triangulación de segundo y tercer orden que, con un total de 650 puntos, representan una densidad de un punto de triangulación por cada 25 kilómetros cuadrados aproximadamente.

El Army Map Service efectuó en 1949 el primer levantamiento fotográfico del país, cubriendo gran parte del territorio con casi dos mil fotografías aéreas verticales a escala aproximada de 1 : 40,000. Tal fotografía se utilizó, primeramente, para la elaboración de mosaicos sin control, que sir-

vieron para el planeamiento y desarrolló del control fotogramétrico necesario.

En 1952, disponiendo ya del personal debidamente preparado y de excelente equipo fotogramétrico, se principió la restitución del mapa general, trazándose a escala de 1: 20,000 con curvas de nivel a 10 metros de intervalo.

Pero la misión de la hoy Dirección General de Cartografía, no ha sido solamente la de dotar al país de un mapa exacto, sino también la de colaborar, al alcance de sus posibilidades, con las otras dependencias del Ministerio de Obras Públicas, mediante la elaboración de levantamientos fotogramétricos a grandes escalas para estudios de irrigación, carreteras, urbanización, etc. Está próximo el día en que se principie el mapa catastral del país, mapa que cada momento se hace más urgente.

3) LA FOTOGRAMETRIA COMO VALIOSO AUXILIAR DE LA INGENIERIA CIVIL

Siendo la fotografía aérea una recopilación instantánea, completa y fiel, de las características de un área determinada, fácilmente se comprenderá su inmenso valor. De ninguna otra manera podría el Ingeniero reunir tan gran cantidad de datos como se los ofrece la fotografía aérea, y es ésta la razón de mayor peso por la que se utiliza día a día, más y más -

en relación con los problemas que se le presentan al Ingeniero Civil.

Erróneamente se ha creído, y muchos siguen creyendo , que la Aero-fotogrametría solamente tiene su aplicación -- práctica en la elaboración de mapas; pero si bien es cierto que ésta fué su primera aplicación y más aún que se usó y se sigue usando en el levantamiento de mapas con fines militares, no lo es menos que en numerosos países del mundo, inclusive Estados Unidos y algunos de América Latina, se ha usado con sorprendentes resultados, desde hace poco más o menos quince años, en estudios relativos al trazo de carreteras, represas, urbanizaciones etc.

La creación reciente de nuevos lentes para cámaras fotogramétricas, exceptos casi totalmente de distorsión, de aparatos de la más alta precisión, complementada con la técnica de modernos procedimientos tanto en la toma de vistas aéreas como en la restitución de los detalles fotografiados, ha contribuido al uso de la Aero-fotogrametría en la práctica de la Ingeniería.

No me será posible dar aquí detalles completos de sus numerosas aplicaciones, sin embargo, a modo de ejemplo, séame permitido indicar brevemente su aplicación en la localización de carreteras, por considerar que es una de las aplicaciones que podría utilizarse con más provecho en El Salvador.

Los levantamientos aéreos han demostrado su valor

práctico en todas las etapas de la Ingeniería de carreteras. La identificación de las imágenes de las fotografías aéreas, así como su interpretación y medida por métodos fotogramétricos, proveen al Ingeniero de datos de la mejor calidad y en cantidad abrumadora. La fotografía aérea, bajo un minucioso exámen estereoscópico, muestra, además de la conformación topográfica general del terreno, la distribución y uso de las tierras. Proporciona información de suelos y permite elegir el lugar más apropiado para el trazo de la vía, basándose en valores comparativos de dirección, pendiente, grado de curvas, servicio al tránsito etc., y costos aproximados de construcción y mantenimiento.

La experiencia ganada a través de los años, utilizando la Aero-fotogrametría en la localización de carreteras, ha probado plenamente que existe un patrón de etapas sucesivas similares, tanto en secuencia como en resultados, a aquéllas usados desde hace mucho tiempo por el método clásico.

Tales etapas pueden resumirse así:

- 1ª) Reconocimiento preliminar de un área más o menos extensa entre dos puntos terminales bien definidos, a fin de establecer todas las rutas posibles.
- 2ª) Reconocimiento de las diversas rutas anteriormente trazadas para seleccionar entre ellas la que ofrezca las mejores condiciones.

3ª) Levantamiento topográfico por métodos aerofotogramétricos de una faja de terreno a lo largo de la ruta escogida para efectuar el diseño de localización.

4ª) Medida de localización.

Veamos ahora como se procede en cada una de las etapas antes mencionadas.

Como es natural, antes de iniciar el trabajo será preciso dejar establecidas ciertas normas. Los puntos terminales é igualmente los puntos obligados intermedios, si los hay, deberán ser bien definidos. Basándose en la clase y cantidad del tráfico y la velocidad a la cual deberá éste desplazarse, se decidirán la máxima pendiente y el máximo grado de curvas, distancia de visibilidad, número de vías, ancho de superficie de rodamiento, clase de pavimento etc.

Tales normas son de capital importancia, ya que deben tenerse en cuenta en todas y cada una de las etapas sucesivas.

Reconocimiento Preliminar

Una vez determinados los puntos terminales que se desea unir por una carretera que reuna condiciones previamente establecidas, se necesitará obtener fotografías verticales de una zona que abarque entre estos dos puntos, el terreno neces

rio para poder desarrollar diferentes trazos.

De manera general se puede establecer que la anchura de la faja a fotografiar será del 40 al 60 % de la distancia entre los puntos terminales considerados, pudiendo variar de acuerdo con las circunstancias; disminuyéndola si ciertas características topográficas indican claramente la imposibilidad de considerar un trazo acertado por ese lugar ó aumentándola cuando las circunstancias presentes lo exijan. Sin embargo, no conviene en ningún caso, ser muy conservador en cuanto a la extensión del área necesaria para el reconocimiento.

En cuanto a la escala de la fotografía, desde el punto de vista económico, debe ser lo más pequeña posible. Cuanto menos accidentado sea el terreno en consideración y como consecuencia posible, mayor distribución de la propiedad, mayor será la escala de la fotografía y viceversa. Sin embargo, en ningún caso el Ingeniero encargado del proyecto debe sacrificar la información que pueda obtener con fotografía a una escala determinada ante la economía en el vuelo. La experiencia demuestra en la mayoría de casos, y sobre todo cuando se trata de terrenos desprovistos de vegetación excesiva, es decir, cuando ésta no es ni extensa ni alta, que la escala de la fotografía puede variar desde 1 : 25,000 hasta 1 : 60,000. Si existieran mapas de la zona considerada pueden utilizarse con mayor ventaja, pues en unión de la fotografía permitirán obtener mejor idea de las condiciones existentes, disminuyendo enormemen

te el trabajo y traduciéndose todo en apreciable economía.

Adquirida la fotografía adecuada, tiene lugar el reconocimiento propiamente dicho y la selección de las rutas alternas posibles, mediante minucioso exámen estereoscópico de los Pares sucesivos y con visión clara y exacta de las condiciones -existentes, tanto en lo que se refiere a la conformación topográfica, como al uso y distribución de las tierras, centros pobla-dos, otras vías existentes, dirección de los cursos de agua etc. Podrá proyectarse la preliminar en sus diversas posibilidades, -obteniendo las diferencias de elevación por la medida de la pa-ralaje y las distancias mediante el uso de la escala, evitando, en lo posible, las tierras de mayor valor y seleccionando los -lugares que al Ingeniero parezcan más adecuados para la cons --trucción de las estructuras.

Con lápiz de grasa se marcarán en la fotografía todas las posibilidades, revisando cuidadosamente cada una de ellas y haciendo los ajustes necesarios. Si existiese duda, será conveniente revisar en el propio terreno, y con fotografía en mano, -el lugar dudoso, con objeto de obtener mejor interpretación de las imágenes fotográficas.

Finalmente, basándose en las medidas que se hayan efectuado podrá hacerse la estimación de costos de trazo y cons-trucción preparando una lista de las ventajas y desventajas que ofrezcan cada una de las alternativas proyectadas.

Reconocimiento de las Diversas Rutas Trazadas

Para efectuar el reconocimiento y comparación de las rutas seleccionadas en la etapa anterior, es necesario obtener fotografía aérea a escala mayor, a lo largo de los diversos trazos que van a ser comparados.

La escala de esta nueva fotografía, considerando siempre los costos, debe seleccionarse de tal manera que pueda utilizarse en la etapa siguiente, es decir, para el levantamiento topográfico de la ruta finalmente escogida. Con estos antecedentes fácilmente se comprende la enorme importancia que reviste el planeamiento y ejecución del levantamiento fotográfico aéreo, que debe encomendarse por eso mismo a personas con alguna experiencia y amplio criterio en esa clase de trabajo.

Especialmente es necesario decidir con anterioridad de la escala a la cual se trazará la carta, el intervalo de las curvas de nivel requerido y, sobre todo, la precisión tanto altimétrica como planimétrica que se exigirá, para que el Ingeniero encargado del proyecto pueda coordinar acertadamente el equipo fotogramétrico necesario para llenar las condiciones requeridas.

De manera general puede aceptarse que la escala de esta nueva fotografía varíe desde 1 : 10,000 a 1 : 4,000, teniendo presente que cuando se encuentren áreas boscosas en las

cuales, ya sea por la densidad de la vegetación o por ser ésta muy alta, no fuera posible trazar las curvas de nivel con el intervalo y precisión requeridos, será necesario fotografiarlas a mayor altura, ya que el trabajo de estas zonas tendrá forzosamente que efectuarse en el campo.

Sobre la fotografía así obtenida, se trazarán nuevamente las rutas ya establecidas, teniendo el Ingeniero la posibilidad de corregirlas y ajustarlas a su mejor conveniencia, revisándolas detenidamente mediante nuevo exámen estereoscópico y visitando aquellas zonas en las que existiera alguna duda. Igualmente se rovisarán la pendiente y el grado de las curvas y, de manera muy especial, aquellos sitios seleccionados para la construcción de obras de arte.

Es sabido que un buen drenaje representa en una carretera la vida de la misma y es precisamente en esta etapa del trabajo donde se le presenta al Ingeniero la oportunidad de estudiarlo detenidamente, escogiendo con mayor acierto los puntos en que se necesita construir las obras requeridas y decidir acerca de la clase de obra que, al par que eficiente, resulte más económica.

Finalmente, mediante un juicio comparativo de los distintos trazos, considerados tanto en sus características como en sus costos, se escogerá aquél que reuniendo los requi

sitos impuestos resulte el más acertado y el más económico.

Levantamiento Topográfico por métodos Aero-fotogramétricos de una faja de terreno a lo largo de la ruta escogida para efectuar el diseño de localización.

Una vez escogida la mejor ruta se procederá inmediatamente al levantamiento topográfico de la misma. Para ello, y como dije antes, se utilizará la misma fotografía planeando sobre ella el control terrestre necesario para la restitución fotogramétrica.

Los puntos de control terrestre, tanto verticales como horizontales, serán convenientemente distribuidos y perfectamente identificables en la fotografía. Esto es especialmente importante, pues, uno de los más grandes errores que pueden cometerse en la restitución, tiene precisamente por causa la mala identificación de los mismos puntos. Esto es obvio, ya que de ellos depende la correcta orientación del Modelo Estereoscópico en la máquina de restitución.

Cada Par Estereoscópico se dotará de sus puntos de control evitando en lo posible hacer uso de la aerotriangulación, salvo en aquellos casos en los que, debido a lo inaccesible del terreno, resulte más conveniente.

Obtenido el control necesario y decidida la escala de restitución y el intervalo de las curvas de nivel, que pueden -

variar desde 1: 5,000 a 1: 500 y desde 5 metros a 0.50 m. respectivamente, se prepararán las hojas de restitución con un material que asegure su estabilidad dimensional, por ejemplo, papel de aluminio. Sobre estas hojas se trazarán la cuadrícula y los puntos de control terrestre con la mayor exactitud posible, anotando sus respectivas elevaciones; luego se procederá a la restitución de los diversos Pares Estereoscópicos, cuidando especialmente de incluir todos los datos necesarios para el proyecto, tales como límites de propiedades, casas, ríos, lagos o lagunas, caminos existentes etc. etc.-Sobre las cartas así obtenidas puede el Ingeniero proyectar la localización, trazando la línea central, apoyado siempre en el estudio estereoscópico de las fotografías a medida que el trabajo progresa. Esto le permitirá obtener información adicional, sobre la topografía y uso de la tierra, que no puede ser fácilmente representada en la carta. Muchas líneas centrales de localización pueden trazarse, comparando sus alineamientos, perfiles y grados, secciones transversales, número y tamaño de los puentes y obras de drenaje, carácter y volúmen de los cortes y rellenos, etc., para determinar la localización más práctica y económica de la ruta ya seleccionada.

Obtenido el mejor alineamiento, este se calculará exactamente y se trazará sobre la carta, diseñando las curvas a la par, las que se marcarán por puntos fijos cuyas coordena -

das deberán obtenerse gráficamente y anotarse. Se dibujará el perfil de la línea y se colocará la rasante, obteniendo las secciones transversales para calcular los movimientos de tierras y los volúmenes correspondientes a cortes y rellenos; se estudiarán las áreas de recogimiento y se diseñarán las obras de drenaje necesarias, los puentes etc., en una palabra, se prepararán todos los planos necesarios para proceder sin contratiempos a la construcción, planos que una vez obtenidos darán por terminada la localización sobre el papel y estará lista para trazarse sobre el terreno.

Medida de Localización

Con la ejecución de las etapas anteriores, si se han efectuado con la exactitud y el cuidado que tales trabajos exigen, se da por terminada la ayuda de la Aero-fotogrametría a la localización de carreteras y el Ingeniero está capacitado para proceder a la localización sobre el terreno, usando los datos encontrados en la carta.

El trabajo de marcar la línea central puede efectuarse por separado en distintas secciones, a fin de terminarlo tan pronto como se requiera e iniciar inmediatamente la construcción. Este trabajo se ejecutará por los métodos de campo actualmente usados .

C O N C L U S I O N

Concluyendo, cuando los levantamientos aero-fotogramétricos han sido correctamente planeados y mejor ejecutados, proporcionan al Ingeniero enorme cantidad de información útil y resultados tan exactos como él los pueda necesitar, de uso inmediato que de ninguna otra manera, hablando en términos económicos, podría obtener.

La aplicación de la Aerofotogrametría a diversas obras y en numerosos países demuestra que sus métodos permiten alcanzar el objetivo en forma rápida y con economía verdaderamente apreciables y precisamente por ésto, sería conveniente - que sus métodos fueran aplicados más profusamente en El Salvador.

C A P I T U L O I I

LEVANTAMIENTOS AERO-FOTOGRAFICOS

1) La Fotografía como paso inicial en los levantamientos Aero-Fotogramétricos.

La fotografía significa para el fotogrametrista lo que la libreta de campo significa para el Topógrafo y así como ésta es la base para la interpretación mediante el dibujo, así aquella lo es para la restitución fotogramétrica; sin embargo la principal diferencia estriba en que para el topógrafo la exactitud de los resultados obtenidos depende del procedimiento empleado en el levantamiento, para el fotogrametrista depende grandemente de la calidad de las vistas obtenidas.

Siendo, pues, tan importante la calidad de las vistas para la exactitud de los resultados finales, se comprenderá el por qué de la necesidad de planearlas y ejecutarlas convenientemente.

La restitución aero-fotogramétrica, basada en los principios de la visión estereoscópica, necesita de dos imágenes del mismo objeto por medir, obtenidas desde puntos distintos que deberán ser adecuadamente escogidos; pero cuando se trata de una sucesión de objetos orientados arbitrariamente, como es el caso de una porción de la superficie terrestre, la selección de los puntos desde los cuales se obtengan las imágenes toma un carácter más serio. Escoger estos puntos, llamados es-

taciones de toma, y distribuirlos de tal manera que cada uno de los objetos fotografiados aparezcan en dos vistas sucesivas es lo que se llama Plancamiento del vuelo o simplemente Diseño de vuelo.

La fotografía aérea vertical, llamada así por suponer el eje del objetivo de la cámara vertical, o aproximadamente vertical a la superficie terrestre, considerada individualmente, no es más que una proyección en perspectiva cuyo centro se halla situado en el punto nodal del objetivo.

El objeto del fotogrametrista es transformar tal perspectiva en una proyección ortogonal, como dije anteriormente. La fotografía aérea vertical por su semejanza con un mapa se prefiere a cualquier otra tomada con el eje inclinado; sin embargo, la comparación de la fotografía con un mapa nos revela que las imágenes fotográficas no están en sus posiciones relativas correctas sino que aparecen desplazadas, obedeciendo tales desplazamientos a numerosos factores tales como, altura de vuelo o escala, elevación de los objetos, inclinaciones de la cámara, deformaciones de la película, distorsión del objetivo, etc. Todos estos factores influyen en mayor o menor grado en la calidad de las vistas, es, por lo tanto, necesario tenerlos en cuenta en el diseño del vuelo a fin de determinar la influencia que tiene cada uno de ellos, para poder obtener fotografías que cumplan plenamente el fin para el cual han sido tomadas.

2) Ejemplo de Diseño de Vuelo

Habiendo tratado en el párrafo anterior sobre la im-

portancia de la calidad de las fotografías para su uso en los levantamientos aero-fotogramétricos y de los numerosos factores que intervienen en el diseño de un vuelo fotográfico de esta naturaleza, veamos con un ejemplo la forma de proceder.

Para ello me he permitido escoger una cierta zona comprendida entre los paralelos $14^{\circ} 03'$ y $14^{\circ} 03'$ Norte y los meridianos $89^{\circ} 08'$ y $89^{\circ} 25'$ Oeste, correspondiendo tal zona al municipio de Nueva Concepción en el Departamento de Chalatenango. La extensión total del área escogida asciende a 310 kilómetros cuadrados aproximadamente y sus características fotogramétricas pueden resumirse así :

Conformación del terreno

La parte Sur-este, formada por un extenso valle, tiene una elevación media de 200 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente; el resto lo forman pequeñas montañas cuyas elevaciones oscilan entre 500 y 1000 metros. En general puede decirse que la conformación topográfica es apropiada, especialmente por la ausencia de vegetación alta o densa.

Control Geodésico Básico establecido.

El Control Geodésico Básico lo componen algunos puntos de triangulación distribuidos en la zona, y bancos de marca de primer orden establecidos a lo largo de la Carretera del Norte y del Ferrocarril de Centro América, como puede verse en el plano adjunto. Será necesario intensificar la densidad de Control Geodésico a fin de poder obtener con mayor ventaja el Control Fotogramétrico necesario.

Los datos anteriores son los que principalmente interesan a la persona encargada del proyecto. Ahora bien, vamos a suponer que en vista de las malas condiciones existentes en la región, como decir falta de vías de comunicación, poco desarrollo agrícola, etc. se requieren mapas de la región a una escala de 1:5,000 con curvas de nivel cada 2 metros, que muestran todas las características naturales y accidentales del terreno, para usarlos en el planeamiento de carreteras, conservación del terreno, mejoramiento y distribución adecuada de la agricultura, etc.

Antes de iniciar el cálculo propiamente dicho, es esencialmente necesario conocer las características de la cámara aérea que será usada en la obtención de las vistas. Tales características pueden reducirse a las siguientes: lente fotográfico, distancia focal, formato, ángulo de cubrimiento, material usado.

Existen actualmente un gran número de cámaras aéreas, cada una de las cuales posee sus características distintivas, pudiendo mencionar entre las más conocidas en América: La Cartográfica Fairchild, de Bauch & Lomb; la Wild R C5; la Wild R C5a; la Wild R C7a; la Zeiss RMK 21/18.

El siguiente cuadro muestra las características antes mencionadas para las cámaras dichas, así:

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS CAMARAS AEREAS

TABLA N° 1 -

L E N T E									
CAMARA	TIPO	DISTORSION RESIDUAL MAX. EN mm.	RESOLUCION LINEAS/mm. 0° 40°	DIST. FOCAL mm.	ANGULO DE CUBRIMIENTO	FORMATO EN mm.	MATERIAL USADO	(s/f) ²	
Fairchild Cartográfica	Metrogón	.100	25 15	152	94°	230	pel.	2.28	
Wild RC5a	Aviotar	.007		210	58°	180	pel. plac.	0.74	
Wild RC5a	Aviogon	.007	55 30	115	90°	180	pel. plac.	2.45	
Wild RC5	Aviogon	.007		152		230	pel.	2.28	
Wild RC7a	Aviotar	.006	55 25	170	53°	140	plac.	0.68	
Wild RC7a	Aviogon	.006		100		140	plac.	1.96	
Zeiss RMK	Topar	.003	55 25	210	40°	180	pel.	0.74	

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Distorsión y potencia de resolución.

Entre las características propias de un objetivo fotogramétrico, merecen especial atención, la distorsión residual y la potencia de resolución; pues ambas influyen decisivamente en la calidad de las vistas y como consecuencia en la exactitud de los resultados obtenidos en la restitución.

El profesor H.C. Kasper, en su trabajo titulado "Sur l'influence et l'élimination de la distorsion résiduelle des objectifs photogrammétriques", atribuye a la distorsión residual una deformación de curvatura en el centro del modelo plástico; experiencias llevadas a cabo han confirmado esta deformación, acusando los puntos fijos situados cerca del centro del modelo un error altimétrico sistemático.

Para un modelo aislado, la deformación de curvatura no tiene mayor importancia; pero cuando se trata de un caminamiento fotográfico en el cual el recubrimiento puede variar o bien de un terreno que presenta inclinaciones de alguna consideración, se producen sensibles errores de inclinación, tanto longitudinales como transversales.

El valor del error altimétrico sistemático, señala el profesor Kasper, está dado por la siguiente fórmula:

$$dh = \frac{Px}{b} \text{ o/o } h$$

en la cual, P_x , dada en micrones, representa el valor de la distorsión al centro del modelo, b , dada en milímetros, representa

la base aérea y h , dada en metros, la altura de vuelo. Lo cual quiere decir que para un valor de p_x de 19 micrones y b de 70 milímetros , por ejemplo la fórmula anterior se reduce a:

$$dh = \frac{h}{4000} \text{ aproximadamente}$$

lo cual expresa, a su vez, que para una altura de vuelo de 1000 metros existirá un error altimétrico constante de 25 centímetros.

Deberá pues admitirse la necesidad de escoger un objetivo cuyas características de distorsión sean mínimas y compensar la distorsión residual mediante una placa correctora.

En la tabla anterior, bajo el título "Distorsión residual máxima" aparecen tabulados los valores de la distorsión - máxima atribuida a los objetivos mencionados; sin embargo dada - la diversidad de las distancias focales de los mismos no pueden ser correctamente comparados. Ciertamente es que la distorsión lineal varía directamente como la distancia focal, mientras que la distorsión angular permanece constante, por lo tanto para poder comparar los distintos valores se hace necesario reducirlos a una - distancia focal fija, en cuyo caso la columna presentaría la forma siguiente:

DISTORSION DE VARIOS OBJETIVOS REDUCIDA TABLA N^o. 2
A UNA DISTANCIA FOCAL DE 100 mm.

Objetivo	Dist.residual máx. en mm.	Distancia focal en mm.	Dist. en micrones para f. 100 mm.
Metrogon	. 100	152	66.0
Aviotar	. 007	210	3.3
Aviogon	. 007	115	6.1
Aviogon	. 007	152	4.6
Aviotar	. 006	170	3.5
Aviogon	. 006	100	6.0
Topar	. 003	210	1.4

La potencia de resolución juntamente con la luminosidad tiene por efecto producir imágenes claras, es decir lo más nítidas posible. Resulta obvio que se preferirá aquél objetivo cuya potencia de resolución sea máxima ya que de esta manera, a pesar del aumento de la imagen en la máquina de restitución, podrán éstas ser observadas claramente y como consecuencia trazadas con mayor exactitud.

Distancia focal, Angulo de Cubrimiento y Formato

La distancia focal, ángulo de cubrimiento y formato son elementos que están íntimamente ligados entre sí, de tal manera que la variación de uno cualquiera de ellos, manteniendo otro fijo, produce la variación del tercero. Tal puede observarse en la Fig. 1 en la cual en un caso se ha mantenido constante la distancia focal haciendo variar el formato y en el otro caso se ha mantenido fijo el formato haciendo variar la distancia focal, notando en ambos variación del cubrimiento angular. Cabe hacer notar además, que la variación del cubrimiento angular divide los objetivos en dos categorías bien definidas: objetivos de ángulo normal (60° aproximadamente) y objetivos gran angulares (90° aproximadamente).

Desde el punto de vista económico, se prefieren los objetivos gran angulares por su mayor cubrimiento, es decir capaces de encerrar mayores áreas, reduciendo consecuentemente el control terrestre necesario para la restitución; pero desde el punto de vista técnico de la exactitud las vistas obtenidas con tales ob-

objetivos y especialmente en terrenos con grandes diferencias altimétricas, presentan deformaciones de alguna consideración en los bordes, las cuales aumentan al disminuir la altura de vuelo y disminuyen la exactitud, produciendo un aumento en los errores residuales propios de la orientación.

En la columna final de la tabla N° 1, y bajo el símbolo $(s/f)^2$ aparecen tabulados los factores de cubrimiento.

Desde la conocida ecuación:

$$F_g = (s/f)^2 \times h^2$$

En la cual

F_g = área cubierta por cada vista.
 s = dimensión del lado del formato.
 f = distancia focal.
 h = altura de vuelo.

Podemos deducir que el área cubierta por cada vista es directamente proporcional al cuadrado del lado del formato y al cuadrado de la altura de vuelo e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia focal. Por consiguiente, si hacemos constante la altura de vuelo, el valor $(s/f)^2$ será el factor por el cual habrá que multiplicar la altura de vuelo constante para obtener el área cubierta por la fotografía. A este valor $(s/f)^2$ me he permitido llamarle Factor de Cubrimiento; así, en la tabla mencionada, si tomamos una altura de vuelo de 1000 metros, los factores de cubrimiento nos dan el valor del área cubierta en kilómetros cuadrados.

Material usado como soporte de las emulsiones fotográficas.

Inicialmente la **Fotogrametría** fué utilizada únicamente en la confección de mapas y cartas a pequeñas escalas, pero últi-

namente, con la creación de nuevos objetivos llamados excentos de distorsión y de alta potencia de resolución, se ha estado empleando cada día más para la confección de mapas y cartas a grandes escalas. Las precisiones exigidas han ido aumentando a tal grado que algunas fuentes de error, que en un principio eran consideradas en segundo plano, han llegado a tomar tal importancia que se hace necesario eliminarlas. Una de estas fuentes de error es la deformación del soporte de las emulsiones.

La casa Wild en Herbrugg, Suiza, en parcial colaboración con el Servicio Topográfico Federal llevó a cabo investigaciones a fin de establecer la estabilidad métrica de las emulsiones tanto sobre película como sobre placas de vidrio. Para ello se preparó una placa de vidrio cuadrículada de 19 x 19 cm. la cual fué medida con máquina de precisión, encontrando un error medio de cuadrícula de ± 1.5 micrones. Esta placa cuadrículada fué copiada sobre 10 placas de las cuales a su vez se sacaron otras 10 copias, haciendo además copias sobre películas de distintas marcas consideradas como equivalentes. Todas las copias, tanto las hechas sobre vidrio como las hechas sobre película, fueron medidas igualmente con máquina de precisión y sus resultados comparados con las medidas efectuadas sobre la placa cuadrículada original. Conviene hacer notar que mientras se efectuaban las medidas sobre las copias en película se mantuvo el material bajo un control riguroso de temperatura y humedad (20° C y 70% de humedad relativa.) . Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

ESTABILIDAD METRICA DE LAS EMULSIONES

TABLA N° 3

	<u>Películas</u>	<u>Placas</u>
Diferencias máx. entre las deformaciones transversales y longitudinales; variaron entre:	- 74 a \pm 59	7
Acortamiento medio irregular en la dirección transversal:	\pm 6 a \pm 23	\pm 3
Acortamiento medio irregular en la dirección longitudinal:	\pm 6 a \pm 17	\pm 2
Acortamiento irregular medio medido long., transv. y diagonalmente:	\pm 11 a \pm 14	\pm 3
Diferencia máx. entre dos segmentos vecinos medidos en la misma dirección:	13 a 16	4

Nota: Todos los valores anteriores son dados en micrones. Los segmentos medidos de 8 cm.

De la observación de la tabla anterior se deduce pues que ofrece mayor estabilidad dimensional la placa de vidrio que la película; pero veamos ahora cual es el efecto de esta deformación en la orientación del modelo plástico.

La figura N° 2 representa la posición que guardan las astas de una máquina de restitución; como cualquiera de las máquinas Wild, por ejemplo. El asta izquierda en su posición vertical, señala el punto principal de la vista izquierda, mientras el asta derecha señala el mismo punto principal en la vista derecha, o sea el punto homólogo. Sean:

h altura de trabajo de la máquina.

b base de la máquina.

f distancia focal de la cámara aérea empleada

p distancia entre dos puntos homólogos cualesquiera, medida sobre una sola vista.

Por una simple semejanza de triángulos tenemos:

$$h/b = f/p \quad \text{de donde}$$

$$p = bf/h$$

Diferenciando obtenemos:

$$dp/dh = bf/h^2 \quad \text{ó bien}$$

$$dh = h^2/bf \cdot dp \quad (1)$$

lo cual también puede ser escrito:

$$dh = h/bf \times h \cdot dp$$

$$dh = 1/p \times h \cdot dp \quad \text{luego}$$

$$dh/h = dp/p \quad (2)$$

representando dp el valor de la contracción de la película.

Vemos pues que esta contracción trae como consecuencia inmediata un cambio en la altura de trabajo h por un valor dh . Para eliminar esta discrepancia de dh se hace necesario un cambio de la base b en una cierta cantidad db . En efecto:

$$b = h \cdot p / f \quad \text{Diferenciando tenemos}$$

$$db = p/f \times dh \quad \text{eliminando } h \quad (3)$$

$$db/b = dh/h \quad (4)$$

Siendo db/b el factor de contracción.

En consecuencia si se encuentran diferencias de altura en el modelo plástico, pueden estas ser reducidas según el factor de contracción db/b .

Ejemplo numérico

Para comprobar la teoría que anteriormente he desarrollado, llevé a cabo algunos experimentos con negativos tomados -

con cámara Fairchild de 6" de distancia focal y un formato de 23 x 23 cm. Estos negativos debido a no haber estado nunca bajo un control de temperatura y humedad, presentan deformaciones que sobrepasan lo normal.

A fin de encontrar el valor de dp , escogí al azar 15 de ellos entre igual número de faias de vuelo, los cuales medí con regla de vidrio de precisión para encontrar las discrepancias en los dos sentidos (transversal y longitudinal) comparando estas medidas con las distancias principales de la cámara usada dadas por la casa fabricante. De esta manera y considerando que las deformaciones por contracción son proporcionales desde el centro de la vista hasta el borde de la misma, encontré un valor promedio de contracción de -0.6 mm. en el sentido longitudinal y a una distancia de 80 mm. del punto principal (el valor promedio de traslape longitudinal es de 65%).

Con los datos siguientes:

Escala de fotografía	1:40,000
Escala de restitución	1:20,000
Distancia focal (f)	152.06 mm.
Base aprox. del aparato (b)	160 mm.
Altura aprox. de trabajo (h)	300 mm.
Contracción a 80 mm. del centro (dp)	0.6 mm. y por

aplicación de la fórmula (1) hallamos:

$$dh = \frac{300}{160} \times \frac{300}{152} \times 0.6 = 2.3 \text{ mm.}$$

o sea que el error de altura causado por la constracción alcanza

un valor de 2.3 mm.

Ahora bien, por aplicación de la fórmula (3) tenemos:

$$db = \frac{80}{152} \times 2.3 = 1.2 \text{ mm.}$$

es decir, que la corrección de base necesaria para eliminar parcialmente el error de altura alcanza un valor de 1.2 mm.

Ahora podemos calcular el valor del factor de corrección, así:

$$db/b = 1.2/160 \% = \underline{0.75 \%}$$

Para comprobar este último valor fueron probados 10 modelos en un Autógrafo WILD A - 8 y los resultados obtenidos demostraron la veracidad del valor hallado. Una de estas pruebas está esquematizada en la Fig. 3, la cual presenta los valores promedio de los errores en planimetría hallados a ambos lados del modelo y un valor del factor de contracción de 0.7 % .

El valor promedio de los factores de contracción para los 10 modelos probados fué de 0.65 % .

Por todo lo anteriormente expuesto, y para el caso en consideración, escogeremos una cámara WILD RC7a. con distancia focal de 100 mm. formato de 14 x 14 cm. equipada con placas de vidrio; por juzgar que esta cámara ofrece las cualidades necesarias para alcanzar el objetivo que nos hemos propuesto.

Antes de proseguir con el proyecto de vuelo propiamente dicho, permítaseme hacer un ligero paréntesis para tratar sobre un punto que reviste especial interés en los levantamientos fotogramétricos; me refiero a la precisión tanto altimétrica como planimétrica que es posible alcanzar.

Numerosos países en el mundo, al igual que las varias Sociedades Fotogramétricas establecidas, tienen sus propios requisitos acerca de las precisiones que deberán llenar los diferentes trabajos fotogramétricos; requisitos que son indudablemente el resultado de numerosos años de trabajo y que difieren los unos de los otros solamente en el grado de exactitud exigida. Sin embargo si cualquiera de estas especificaciones se tomare para un trabajo particular, solamente será posible llenarla cuando haya una perfecta coordinación de los muchos factores que intervienen y se logre una eliminación, lo mas perfecta posible, de las diversas fuentes de error.

Estas fuentes de error pueden reducirse a tres bien definidas: errores sistemáticos; (cámaras aéreas, reductores, máquinas de restitución, etc.) errores accidentales (identificación dudosa de los puntos de control terrestre, ejecución y ajuste de las aerotriangulaciones, deformaciones de la base de la emulsión etc.); errores personales (visión estereoscópica del operador fotogramétrico, experiencia del mismo, etc.). El error final obtenido será pues la suma de pequeños errores provenientes de las diversas fuentes, que se acumulan a través del proceso.

Para ilustrar como se llega al conocimiento de la exactitud con que se ha efectuado un levantamiento fotogramétrico y comprobar si ha llenado satisfactoriamente las especificaciones previamente establecidas, analicemos el siguiente caso particular:

Control sobre el terreno de la altimetría y planimetría de una restitución fotogramétrica.

Zona controlada: Valle del Río Lempa.

Datos para la restitución fotogramétrica: Fotografía tomada con cámara Fairchild Cartográfica, objetivo gran angular Metrogón f - 151.72 mm. Altura de vuelo h - 1,800 metros sobre el nivel del mar. Aerotriangulaciones efectuadas con Autógrafo Wild A-5 (9 modelos por faja triangulada) . Restitución hecha con Autógrafo Wild A-5, sin placa de compensación. Intervalo de las curvas de nivel 5 metros. Escala de restitución 1 : 5,000

La comprobación se basa en una poligonal trazada en el terreno, fijada por dos puntos de triangulación de tercer orden, la cual fué proyectada de tal manera que sus segmentos cortaran las curvas de nivel lo mas perpendicularmente posible y se desarrollara a través de fajas de vuelo adyacentes. Sobre esta poligonal, se localizaron los puntos de intersección con las curvas de nivel y se tomaron las elevaciones de todos los detalles del terreno que intersectaba (ríos, quebradas, caminos, cercas, etc.) , además se localizaron puntos bien definidos próximos a la misma. (Ver Fig. 4).

La distribución de los errores altimétricos por orden de su magnitud fué la siguiente:

<u>Número de puntos</u>	<u>Error altimétrico</u>	<u>% del número total de puntos</u>
9	0 - 20 cm.	40%
8	20 - 40	35%
3	40 - 60	13%
1	60 - 80	4%
1	80 - 100	4%
0	100 - 120	0%
0	120 - 140	0%
0	140 - 160	0%

<u>Número de puntos</u>	<u>Error altimétrico</u>	<u>% del número total de puntos</u>
$\frac{1}{23}$	160 - 180	$\frac{4\%}{100\%}$

Los 23 puntos anteriores corresponden únicamente a las curvas de nivel. El error cuadrático medio fué de 0.16 m.

Si comparamos los resultados obtenidos con las especificaciones prescritas por el "Bureau of the Budget" que establece que el 90% de las curvas de nivel o elevaciones de puntos interpolados, deberán tener un error no mayor de medio intervalo. (2.5 m) nos encontramos que para nuestro caso el 90% de los puntos comprobados tienen un error menos de 0.80 m. ; lo cual es un resultado magnífico.

Si comparamos ahora con lo establecido por el Dr. M. Zeller en su "Traité de Photogrammétrie" en el cual manifiesta que para vistas verticales, el error medio altimétrico alcanza el valor de:

$$\underline{m_H = 0.25 \text{ 0/00 de } h}$$

Siendo h la altura de vuelo sobre el nivel del mar, en metros; tenemos para nuestro caso que:

$$m_H = 0.25 \times 1.8 = 0.45 \text{ m.}$$

lo cual demuestra igualmente que en nuestro caso hemos llegado a resultados altamente satisfactorios.

<u>Número de puntos</u>	<u>Error altimétrico</u>	<u>% del número total de puntos</u>
14	0 - 20 cm.	30 %
12	20 - 40	25 %
5	40 - 60	10 %
5	60 - 80	10 %
2	80 - 100	5 %
0	100 - 120	0 %
2	120 - 140	5 %
3	140 - 160	6 %
4	160 - 180	9 %
<u>47</u>		<u>100 %</u>

El error cuadrático medio alcanza en este caso un valor de 0.46 m. Si comparamos nuevamente con las especificaciones antes descritas, tendremos que para el primer caso el 90 % de los puntos comprobados tienen un error menor de 1.60 m. (el permitido es de 2.50 m.); mientras que para el segundo hemos llegado precisamente al límite permitido.

Debo hacer notar que en la segunda tabulación, las elevaciones de los detalles interceptados tomadas de la hoja de restitución fueron obtenidas mediante el proceso de interpolación gráfica; proceso que no es recomendable al tratarse de una comprobación rigurosa, pues el proceso en sí introduce un cierto error que en algunos casos toma proporciones de alguna consideración, además de permitir al comprobador ajustar los distintos valores al valor más conveniente.

Los perfiles mostrando las elevaciones, tanto de la poligonal como de la hoja de restitución, pueden verse en la Fig. 5 .

En cuanto a los errores planimétricos obtenidos, los resultados fueron los siguientes:

Error planimétrico en X

<u>Número de puntos</u>	<u>Error planimétrico</u>	<u>% del número total de puntos</u>
4	000 - 050 cm.	10 %
3	050 - 100	7 %
6	100 - 150	15 %
6	150 - 200	15 %
3	200 - 250	7 %
2	250 - 300	5 %
2	300 - 350	5 %
4	350 - 400	10 %
4	400 - 450	10 %
7	450 - 500	16 %
<u>41</u>		<u>100 %</u>

Error cuadrático medio : 2.97 metros.

Error planimétrico en Y

<u>Número de puntos</u>	<u>Error planimétrico</u>	<u>% del número total de puntos</u>
10	000 - 050 cm.	25 %
4	050 - 100	10 %
6	100 - 150	15 %
7	150 - 200	16 %
7	200 - 250	16 %
2	250 - 300	5 %
2	300 - 350	5 %
0	350 - 400	0 %
0	400 - 450	0 %
1	450 - 500	2 %
2	500 - 550	5 %
<u>41</u>		<u>100 %</u>

Error cuadrático medio : 2.03 metros.

Las especificaciones del "Bureau of the Budget" establecen que para mapas cuya escala de publicación sea de 1:20,000 ó mayor, el 90 % de los puntos comprobados, bien definidos, debe

rán tener un error no mayor de 1/50 de pulgada (0.5 mm.) .

De las tablas anteriores deducimos que para este caso particular solamente un 54 % de los puntos comprobados en la dirección de las X cumplen con la especificación; mientras en la dirección de las Y solamente un 82 % de los mismos puntos comprobados llenan la misma especificación.

El Dr. M. Zeller por otra parte, establece como error máximo medio el valor

$$m_L = \frac{0.16}{1000} h \quad \text{que para nuestro caso sería:}$$

$$m_L = 0.16 \times 1.8 = 0.29 \text{ m.}$$

valor del cual los resultados obtenidos están muy lejos de ser los exigidos.

Las causas de un error de tal naturaleza son muy variadas, como lo he dicho anteriormente; sin embargo, en este caso particular atribuyo la magnitud del error obtenido a dos causas principales: identificación dudosa de los puntos de control terrestre y deformación de la película causada por cambios de temperatura y humedad

Prosigamos ahora con el proyecto de vuelo.

Como datos generales he dejado establecidos, los siguientes :

Superficie total a fotografiar : 320 Kms.²

Altura máxima del terreno : 1000 m.

Altura mínima del terreno : 250 m.

Cámara aérea : Wild RC7a.

Distancia focal: 100 mm.

Formato : 14 x 14 cm.

Factor de cubrimiento (s/f)² : 1.96

Escala de trabajo : 1 : 5,000

Intervalo de curvas de nivel: 2 m. (auxiliar cada metro)

Máquina de restitución : Autógrafo Wild A5

Altura relativa de vuelo

Primeramente interesa conocer la altura relativa de vuelo h .

La precisión en la restitución fotogramétrica depende no solamente de la distancia principal del aparato empleado, sino también de la altura relativa de vuelo h desde la cual se han tomado las vistas. Por consiguiente, daré principio por el cálculo de las expresiones que establecen la precisión (planimétrica y altimétrica) para la cámara previamente escogida, cuya distancia focal es de 100 milímetros.

Partiendo de las ecuaciones :

$$m_H = \frac{m_r}{p^{cc}} h \sqrt{\left(\frac{h}{b \cdot \cos^2 \beta \cdot m} \right)^2 + 4 \cdot \text{tag}^2 \beta} \quad (1)$$

y

$$m_L = \frac{m_r}{p^{cc}} h \sqrt{\left(\frac{h}{b \cdot \cos^2 \beta \cdot m} \cdot \text{tag} \beta \right)^2 + 4} \quad (2)$$

en las cuales

m _H ^{máx.}	precisión altimétrica máxima.
m _L ^{máx.}	Precisión planimétrica máxima.
m ₁	Error angular medio de la visión estereoscópica.
p ^{cc}	Constante (636612.8 segundos centecimales)
h	Altura relativa de vuelo
b	Base aérea
∅m, β m, √m	Angulos según indica la Fig. 6

(Para el desarrollo e interpretación de estas ecuaciones, remito al lector al texto "Traité de Photogrammétrie" del Dr.M.Zeller, en sus párrafos titulados: " Théorie des erreurs de la stéréophotogrammétrie " y " La disposition de levers plongeants. ")

Por consiguiente teniendo que :

$$f = 100 \text{ mm.}$$

$$s = 140 \text{ mm.} \quad \text{y estableciendo que}$$

$$h = 1000 \text{ m.} \quad \text{tenemos :}$$

$$\text{Escala de fotografía} \quad : \quad E = \frac{h}{f} = \frac{1000}{0.1} = 10,000$$

$$\text{Lado del formato en metros:} \quad S = 140 \times 10 = 1,400 \text{ m.}$$

por lo tanto, suponiendo un traslape longitudinal de 60%, lo cual es el caso más corriente, se encuentra que: (Ver Fig. 6)

$$PP' = 0.6 \text{ s } \cdot \frac{1}{2} = \frac{0.6 \times 1400}{2} = 420 \text{ m.}$$

$$M'P' = \frac{1400}{2} = 700 \text{ m.}$$

$$M'P = \sqrt{420^2 + 700^2} = \sqrt{666,400} = 816.3 \text{ m.}$$

$$P'M = \sqrt{1000^2 + 700^2} = \sqrt{1,490,000} = 1225 \text{ m.}$$

Calculando seguidamente los ángulos, así :

$$\text{tag. } \phi \text{ m} = \frac{700}{1000} = 0.7000 \quad \phi \text{ m} = 34^\circ 59' 40''$$

$$\text{tag. } \beta \text{ m} = \frac{420}{1225} = 0.3429 \quad \beta \text{ m} = 18^\circ 55' 30''$$

$$\text{tag. } \gamma \text{ m} = \frac{816.3}{1000} = 0.8163 \quad \gamma \text{ m} = 39^\circ 13' 30''$$

Por consiguiente:

$$\cos^2 \phi \text{ m} = \cos^2 (34^\circ 59' 40'') = \underline{0.671}$$

$$\cos \beta \text{ m} = \cos (18^\circ 55' 30'') = \underline{0.946}$$

$$\text{tag. } \gamma \text{ m} = \text{tag} (39^\circ 13' 30'') = \underline{0.816}$$

$$\text{tag}^2 \gamma \text{ m} = \text{tag}^2 (39^\circ 13' 30'') = \underline{0.666}$$

Calculemos ahora la base aérea b , la cual en el caso de un - -
60% de traslape longitudinal queda representada por el valor de:

$$b = 40 \% \text{ de } s$$

$$b = 0.4 \text{ s} = 0.4 \times 1400 = 560 \text{ m.}$$

puediendo establecer la relación:

$$\frac{h}{b} = \frac{1000}{560} = \underline{1.79}$$

Nos queda ahora por encontrar el valor de m ; el cual aplicando la ecuación

$$m = \frac{m_a}{f} \times \rho^{cc}$$

en la cual m representa el error medio en la medida del paralaje y ha sido encontrado experimentalmente a tener un valor de ± 0.01 mm., tenemos:

$$m = \frac{0.01}{100} \times 636619.8$$

$$m = \underline{0.0001 \times 636619.8}$$

Con los valores ahora encontrados y reemplazando en la ecuación (1) hallamos:

$$m_H = \frac{0.0001 \times 636619.8}{636619.8} \times h \sqrt{\left(\frac{1.79}{0.671 \times 0.946}\right)^2 + 2.664} \times 0.666$$

$$m_H = 0.0001 \times h \sqrt{\left(\frac{1.79}{0.635}\right)^2 + 2.664}$$

$$m_H = 0.0001 \times h \sqrt{7.95 + 2.664} = 0.0001 \times h \sqrt{10.61}$$

$$m_H = 0.0001 \times h \times 3.26$$

$$\frac{m_H}{m_{\text{ár}}} = 0.33\% \text{ } h \quad (3)$$

Reemplazando en (2)

$$m_L = 0.0001 \times h \sqrt{\left(\frac{1.79}{0.671 \times 0.946} \times 0.816\right)^2 + 4}$$

$$m_L = 0.0001 \times h \sqrt{2.82^2 \times 0.816^2 + 4}$$

$$m_L = 0.0001 \times h \sqrt{5.29 + 4} = 0.0001 \times h \sqrt{9.29}$$

$$m_L = 0.0001 \times h \times 3.05$$

$$\underline{m_L^{\text{máx}} = 0.30 \text{ } \text{‰} \text{ h}} \quad (4)$$

Los valores mínimos pueden ser hallados con las mismas ecuaciones escogiendo el punto central del modelo M', en cuyo caso:

$$\phi_m = \beta_m = \nu_m = 0 \quad \text{Obteniendo}$$

$$m_H^{\text{mín}} = 0.18 \text{ } \text{‰} \text{ h} \quad (5)$$

$$m_L^{\text{mín}} = 0.20 \text{ } \text{‰} \text{ h} \quad (6)$$

Los valores medios serán por consiguiente:

$$\boxed{m_H = 0.25 \text{ } \text{‰} \text{ h}} \quad (7)$$

$$\boxed{m_L = 0.25 \text{ } \text{‰} \text{ h}} \quad (8)$$

Si consideramos aceptable un error altimétrico m_H de - 0.5 m. para la restitución, aplicando la ecuación (7) obtenemos:

$$0.50 = 0.25 \times \frac{h}{1000} \quad \text{de donde}$$

$$h = \frac{500}{0.25}$$

$$\underline{h = 2000 \text{ m.}} \quad (\text{Altura relativa})$$

Escala de fotografía y Superficie cubierta por cada una

Hallemos ahora la escala de fotografía, así:

$$E = \frac{h}{f} = \frac{2000}{0.1} = 20,000$$

Calculando a continuación la superficie cubierta por - cada una de las vistas.

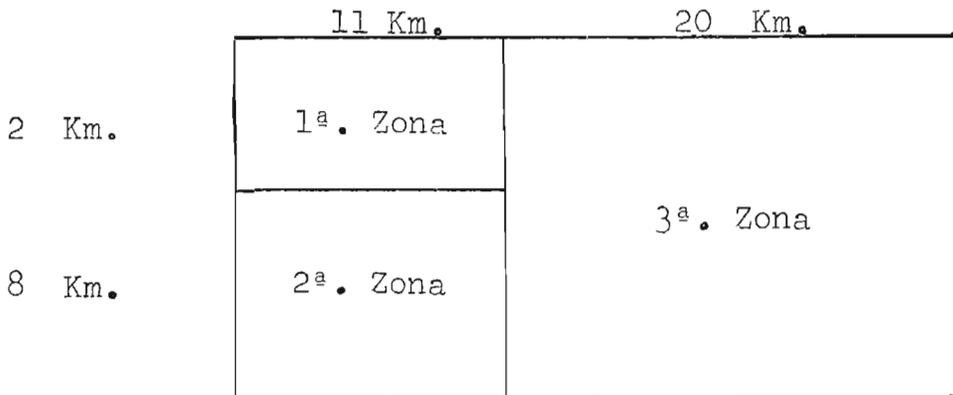
$$S = (20,000 \times 0.14)^2 = (2800)^2 = 7.84 \text{ Kms.}^2$$

o bien usando el factor de cubrimiento:

$$S = \left(\frac{s}{f} \right)^2 \times h^2 = 1.96 \times 4.0 = 7.84 \text{ Kms.}^2$$

Consideraciones sobre el área a fotografiar.

Siendo la variación de las elevaciones del terreno des de 250 a 1000 metros y con el fin de evitar deformaciones exage radas causadas por grandes diferencias de nivel o bien que re - sultaren posteriormente áreas no cubiertas estereoscópicamente, dividiré el área total en tres zonas, como lo muestra la gráfi- ca siguiente:



Velocidad de vuelo.

Los objetivos usados actualmente para la toma de fotografías aéreas, permiten tiempos de exposición desde 1/100 a 1/300 de segundo.

Durante este intervalo de tiempo tan corto, en el cual se supone que el diafragma permanece totalmente abierto mientras el avión sigue su movimiento, se produce un desplazamiento de la imagen fotográfica.

Aceptando que tal desplazamiento no debe sobrepasar un valor de 0.05 mm. y desde la Fig. 7, en la cual, P representa un punto cualquiera del terreno; h la altura relativa de vuelo; OO' la distancia recorrida por el avión durante el tiempo de exposición; pp ó l el desplazamiento lineal de la imagen causado por el desplazamiento OO' y f la distancia focal del objetivo usado, tenemos:

$$h = OO' \times f/l \quad (9)$$

Siendo $\underline{l} = 0.05$ mm., encontramos que

$$f/l = 100/0.05 = 2000$$

Ahora bien, si llamamos \underline{t} al tiempo de exposición en segundos y \underline{v} a la velocidad del avión dada en metros por segundo, tenemos:

$$00' = v \times t \quad \text{reemplazando este valor en (9)}$$

$$h = v \times t \times f/l \quad \text{de donde}$$

$$v = h/t \times l/f$$

Suponiendo que $\underline{t} = 1/150$ y reemplazando por los valores conocidos,

$$v = 2000 \times 150 \times \frac{1}{2000} = 150 \text{ m./segundo.}$$

lo cual equivale a una velocidad de 540 kilómetros por hora:

Esto quiere decir, que la velocidad máxima permitida para la altura de vuelo y el tiempo de exposición establecido será de 540 kilómetros por hora, para no sobrepasar el valor de 0.05 mm. en el desplazamiento de la imagen fotográfica.

Por lo tanto, para nuestro caso establezco que:

$$v = 180 \text{ Km/hora; } v = \underline{50 \text{ m./segundo}}$$

velocidad muy aceptable, quedando por lo tanto el desplazamiento de la imagen prácticamente nulo.

Dirección de las líneas de vuelo.

Por razones económicas y atendiendo a la forma del área a fotografiar, escojo como dirección de las líneas de - Este a Oeste y viceversa, alternativamente.

Deriva

La deriva interviene si la dirección del viento no coincide con la de las líneas de vuelo; el avión es desplazado de su trayectoria. En este caso, se hace necesario girar el eje del avión un cierto ángulo contra el viento a fin de mantener la dirección de vuelo prescrita.

Para nuestro caso, y no contando con un valor conocido de la velocidad y dirección del viento en la zona considerada, tomaré el dato por el Observatorio Nacional Meteorológico de San Salvador para el Valle de San Salvador.

Velocidad promedio del viento para el mes de Noviembre : 4.5 m./segundo

Dirección predominante: Norte

Con el dato anterior y conocida la velocidad del avión, lo mismo que la dirección de las líneas por volar, puede encontrarse fácilmente que el ángulo de rotación que es necesario imprimir al avión para contrarrestar el impulso del viento es aproximadamente de 5 grados.

La aplicación de esta rotación sería Sur-Oeste para las fajas voladas de Este a Oeste y Sur-Este para las voladas de Oeste a Este.

Base Aérea

El trayecto en línea recta recorrido por el avión en-

tre dos estaciones de toma consecutivas se denomina "base" .

Para calcularla, se considera que los puntos principales de las vistas se encuentran en exacta coincidencia con las estaciones de toma; por consiguiente la base estará representada por la distancia entre los puntos principales de dos vistas consecutivas.

Ahora bien, si suponemos, como es lógico, que la superposición longitudinal entre dos vistas sucesivas es de un 60% del lado del formato, obtendremos que la base quedará representada por un 40% .

En consecuencia, para nuestro caso:

$$B = 0.14 \times 40\% = 0.056 \text{ m.}$$

$$B = 0.056 \times 20,000 = 1120 \text{ metros aproximadamente.}$$

Sin embargo, el operador de la cámara necesita conocer el tiempo que transcurre entre toma y toma o dicho en otras palabras, la base en segundos (intervalo de exposición) ; por consiguiente:

$$B = 1120/50 = 22 \text{ segundos aproximadamente.}$$

Recubrimiento lateral.

La superposición entre fajas de vuelo adyacentes, por razones de economía deberá de mantenerse pequeña. La experiencia recomienda un valor de 15% a 30% según la clase de terreno a fotografiar. Sin embargo, cuando interviene la deriva, como es nues

tro caso, deberá revisarse el porcentaje escogido cuidadosamente a fin de evitar que aparezcan áreas no cubiertas estereoscópicamente.

Si examinamos la Fig. 8 la cual representa la posición de las vistas cuando el avión hace la corrección de la deriva, veremos que éstas sufren un desplazamiento transversal el cual -- disminuye la zona cubierta estereoscópicamente, desplazamiento que tiene por valor :

$$d = B \times \text{sen } a$$

siendo B la base y a el ángulo de deriva, (5 grados).

por consiguiente:

$$d = 1120 \times 0.087 = 97.44 \text{ m. aproximadamente.}$$

por otra parte :

$$\cos a = \frac{2800/2 - d}{m} \quad \text{de donde}$$

$$m = \frac{2800/2 - d}{\cos a}$$

$$m = \frac{2800/2 \times 97.44}{0.996} = \frac{1302.56}{0.996} = 1307.79 \text{ m.}$$

El ancho de la faja realmente útil (entre AA y BB) será por consiguiente:

$$2m = 2 \times 1307.79 = 2615.58 \text{ m.}$$

lo cual representa un 93.4 % del cubrimiento transversal total de la fotografía sin corrección de deriva por parte del camarógrafo.



En consecuencia, podemos establecer sin ningún peligro y por tratarse de vistas gran angulares un traslape lateral efectivo del 15% para todas las zonas.

Espaciamiento entre fajas de vuelo y número de ellas en cada zona

Habiendo quedado establecido el traslape lateral entre fajas de vuelo adyacentes con un 15% de recubrimiento, se obtiene para la separación entre los ejes de las líneas de vuelo un 85% de s

Por consiguiente, llamando W a esta separación, obtenemos que:

$$W = 0.85 s = 0.85 \times 2800 = 2380 \text{ m.}$$

Para calcular el número de fajas por tomar en cada zona considerada, bastará dividir el ancho del terreno a fotografiar en cada una de ellas por la distancia comprendida entre los ejes de dos fajas contiguas.

Para el caso en consideración será:

$$1^{\text{a}}. \text{ Zona: } \frac{2000}{2380} = 0.84 \quad 1 \text{ faja}$$

$$2^{\text{a}}. \text{ Zona: } \frac{8000}{2380} = 3.36 \quad 4 \text{ fajas}$$

$$3^{\text{a}}. \text{ Zona: } \frac{10,000}{2380} = 4.20 \quad 5 \text{ fajas}$$

La posición de los ejes dentro de cada zona ha sido establecida de tal manera, que por lo menos un 25% del cubrimiento

total de las fajas extremas salga del límite del área por fotografiar. La distribución de las fajas puede verse en el plano de vuelo adjunto.

Número de vistas por faja de vuelo

El número de vistas necesarias para cubrir cada faja de vuelo se obtendrá dividiendo la longitud de cada faja por la base aérea aumentando a tal número, dos vistas más, para asegurar el cubrimiento estereoscópico de los límites del área total.

Por lo tanto, las fajas cuya extensión es de 11 Kms. tendrán:

$$\frac{11,000}{1120} = 9.82 \quad 10 + 2 = 12 \text{ vistas}$$

Las fajas cuya extensión es de 20 Kms. tendrán:

$$\frac{20,000}{1120} = 17.86 \quad 18 + 2 = 20 \text{ vistas}$$

El número de vistas por zona será:

1ª. Zona	12	vistas
2ª. Zona	48	vistas
3ª. Zona	100	vistas
Total	<u>160</u>	vistas

Aprovisionamiento de material fotográfico

Por la capacidad de carga del chasis de la cámara empleada y el número total de vistas que se requieran para cubrir el área del proyecto, se deducirá el número de veces que se hará

necesario cargar un nuevo chasis o el número de estos que habrá que llevar en el vuelo.

Altura absoluta de vuelo

Finalmente, y para terminar el proyecto de vuelo, en lo que a su parte técnica corresponde, será necesario conocer - la altura absoluta de vuelo (sobre el nivel del mar) para cada una de las zonas que se hayan considerado. Con este objeto, - se deducirá primeramente la elevación del plano medio del terreno sobre el nivel del mar, para cada zona considerada, agregándole luego la altura relativa de vuelo, previamente calculada.

En nuestro caso, obtendremos lo siguiente:

<u>Zona</u>	<u>Elevación del plano medio sobre nivel del mar</u>	<u>Altura relativa h</u>	<u>Altura absoluta H</u>
1ª	670 metros	2,000 metros	2,670 metros
2ª	545 metros	2,000 metros	2,545 metros
3ª	350 metros	2,000 metros	2,350 metros

CAPITULO III

LA TRIANGULACION AEREA ESPACIAL

Con el nombre de Triangulación Aérea Espacial o simplemente Triangulación Aérea, se designa el proceso mediante el cual y el uso adecuado de un aparato de restitución, se establecen nuevos puntos de referencia, llamados generalmente -- Puntos de Paso, en aquellas zonas que carecen de ellos. Con es te fin, se unen por medio de una faja de fotografías, dos re - giones en las cuales se han fijado previamente algunos puntos topográficos que sirven de base y control a la Triangulación - Aérea.

Aunque el proceso en sí, es relativamente sencillo - en su teoría, presenta sin embargo algunas dificultades en su aplicación; dificultades provenientes de los errores propios - de la orientación relativa, de las deformaciones de las placas o películas, de los errores instrumentales, etc., los cuales - tienen limitado su empleo a la restitución a pequeñas escalas.

No obstante, en más de algún caso se le ha aplicado ya con buenos resultados en restituciones a gran escala, no es tando lejano el día en que eliminadas aquellas dificultades, se haga su empleo más general.

1) Ejecución del proceso

Para hacer una Triangulación Aérea, es indispensable tener por lo menos cuatro puntos de referencia en el primer par

o modelo estereoscópico; dos en el par central de la faja y dos en el par final o de cierre, tal como lo muestra la Fig. 9a

El proceso es como sigue: una vez efectuada la -- orientación relativa y absoluta del primer par o modelo de - partida, se escogen dos o tres puntos en el modelo, en la parte que este tiene triple superposición, obteniéndose de esta - manera los primeros Puntos de Paso, los que se fijan convenientemente en el papel anotando la elevación correspondiente y picándolos en la fotografía. Luego se desmonta la primera placa y se sustituye por la tercera, invirtiendo el efecto óptico - del aparato. La segunda placa conserva la orientación que se le había dado, mientras que la tercera se orienta adaptándola a la segunda, haciendo uso para este efecto, solamente de los elementos que rigen los movimientos de la tercera placa.

Una vez orientada relativamente la nueva placa, se pone a escala el nuevo modelo estereoscópico utilizando los Puntos en la zona correspondiente de este nuevo par y se desmonta la segunda placa, colocando en su lugar una cuarta, repitiendo el proceso hasta alcanzar el último par de placas y por consiguiente los Puntos Topográficos que sirven de control de cierre de la Triangulación Aérea.

Generalmente existirá un pequeño error en la posición y cotas de estos últimos puntos al compararlos con sus posiciones y cotas correctas.

Una vez conocido pues el error de cierre, se compensa toda la Triangulación Aérea, obteniendo de este modo las posiciones y elevaciones más probables de todos los Puntos de Paso establecidos, pudiéndose por consiguiente proceder a la restitución de los modelos individuales.

La compensación del error de cierre puede hacerse en dos maneras: analíticamente o gráficamente. La compensación analítica se usa muy rara vez, debido a ser su proceso excesivamente largo y por consiguiente engorroso, siendo por lo tanto el método gráfico el más utilizado y sus resultados lo suficientemente precisos.

Con objeto de demostrar la bondad de la Triangulación Aérea y la forma de proceder en la compensación gráfica de la misma, presento a continuación un ejemplo típico.

2) Ejemplo de Triangulación Aérea y su compensación

Trátase de una faja de vuelo, compuesta de 25 fotografías, tomadas con una cámara Wild RC5a, lente aviogón, de 115.04 milímetros de distancia focal. Los originales sobre placas de vidrio, tienen un formato de imagen de 18 x 18 cms. La altura relativa de vuelo fué de 6,400 metros, obteniéndose una escala de fotografía de 1 : 40,000 aproximadamente.

El control topográfico de la faja consistió de 15 puntos repartidos en grupos de 5 puntos cada uno, para el mode

lo inicial el modelo intermedio al centro de la faja y el modelo de cierre o final.

La Triangulación Aérea se efectuó en un Autógrafo - Wild A5 de la Dirección General de Cartografía y la compensación de la misma se llevó a cabo gráficamente.

Los errores residuales, tanto en altimetría como en planimetría, del modelo inicial, después de la orientación relativa y absoluta fueron los siguientes:

Errores residuales de la orientación.

<u>Nº. del punto</u>	<u>dh</u>	<u>dx</u>	<u>dy</u>
1001 a	- 0.10 m.	0.0 mm.	† 0.1 mm.
1002	- 0.20	- 0.1	- 0.1
1003	† 0.10	0.0	0.0
1004	† 0.30	0.0	0.0
590	- 0.40	0.0	- 0.2

Después de terminada la Triangulación Aérea, los resultados obtenidos en cuanto a las elevaciones de los puntos leídos se refiere, pueden verse tabulados en orden de sucesión en la tabla de Compensación Altimétrica por curvatura terrestre. En esta tabla, las columnas primera y cuarta muestran los números de los modelos en el mismo orden en que fueron orientados durante la Triangulación Aérea; las columnas segunda y quinta muestran las elevaciones de los puntos leídos para los dos modelos estereoscópicos en que aparecieron; la tercera columna muestra el número con que se designó cada uno de los puntos y la

columna sexta el valor promedio de las columnas segunda y quinta.

El error altimétrico de cierre se obtiene estableciendo la diferencia entre las elevaciones de los Puntos Topográficos de cierre y las elevaciones de los mismos, leídas en la máquina. Tales errores de cierre fueron los siguientes:

Nº. del punto	Elevación del terreno Ht	Elevación en la máquina Ha	Diferencia
1010	419.20 m.	- 274.00 m.	693.20 m.
1011	844.50	147.50	679.00
1012	411.10	- 320.45	731.55
1013 a	541.60	- 238.00	779.60
1013 b	512.60	- 268.50	781.10
1014	411.60	- 382.00	793.60

Estos errores finales, antes de la compensación, se componen del error debido a la convergencia y del error por curvatura terrestre. El primer error, proveniente de la determinación de la rotación longitudinal parcial de cada modelo, puede ser reducido mediante una determinación minuciosa de cada orientación relativa durante la Triangulación; pero el error residual no puede de ninguna manera ser completamente eliminado. Por el contrario, el error por curvatura terrestre es un error sistemático susceptible de compensación total.

El Dr. W.K. Bachman, en su publicación titulada - "Etudes Sur la Photogrammétrie Aérienne", trata sobre la influencia de la curvatura terrestre en las Triangulaciones Aéreas; llegando en su teoría a establecer que:

$$H_c = H_a + 1/2 \cdot s^2/R$$

Fórmula en la cual,

H_c Altura de cualquier punto en metros, después de ser corregido por curvatura terrestre.

H_a Altura del mismo punto obtenida en la máquina.

s Distancia en metros del punto considerado, a partir de un origen establecido.

R Radio terrestre.

Por consiguiente, siendo $R = 6,400$ Kms., podemos calcular el valor $1/2R$, al cual llamaré c , entonces:

$$c = \frac{1}{2 \times 6,400 \times 1,000} = \frac{1}{12,800,000} = 0.000078$$

Por otra parte, el origen desde el cual tomaré las distancias s de los diversos puntos, lo dejaré establecido como la coordenada Y promedio de los Puntos Topográficos del modelo inicial, cuyo valor resulta ser:

$$Y_i = 700,333.22 \text{ metros}$$

(las abcisas X del aparato corresponden a las ordenadas Y del terreno).

Con una escala milimétrica de vidrio, se midieron las distancias s de todos los puntos, teniendo como origen Y_i . Los valores de s se hallan en la columna séptima de la tabla de compensación altimétrica por curvatura terrestre.

Se calcularon luego los cuadrados de estas distancias (S^2), multiplicándolas por la constante C para obtener los valores de $\frac{1}{2} \frac{S^2}{R}$, los cuales se hallan en la octava columna, y finalmente se agregaron estos valores a los de la columna sexta para obtener los de la novena columna (H_c), o sea las elevaciones corregidas por curvatura terrestre

El mismo Dr. Bachman, indica la corrección de las abscisas obtenidas en el aparato por influencia de la curvatura terrestre, dando la fórmula:

$$X_a = s + \frac{H_c}{R} \cdot s$$

sin embargo tal corrección es tan pequeña, que no vale la pena tomarla en cuenta. En efecto, si escogemos un punto de máxima s (60,836.80 metros), nos encontramos con que la corrección de la abscisa para este punto será:

$$\frac{141.19}{6,400.000} \times 60,836.80 = \underline{1.34 \text{ metros}}$$

Los errores altimétricos y planimétricos residuales que servirán para el trazado de las curvas de corrección, pueden verse tabulados en la tabla adjunta.

Proceso de la Compensación Gráfica.

Antiguas y numerosas investigaciones realizadas en diversos Institutos Fotogramétricos de varios países de Europa y América, han demostrado que la propagación de los errores en las

coordenadas X, Y y Z de los puntos considerados en las Triangulaciones Aéreas, sigue muy aproximadamente una ley parabólica, y las ecuaciones de las curvas representativas de esos errores toman para las coordenadas X e Y la forma de una ecuación de segundo grado, siendo de tercer grado para Z, siempre que no se utilicen datos de estatoscopio.

Como en la construcción gráfica de esas curvas se utilizan como abscisas las abscisas de los puntos dados por la máquina y como ordenadas los valores respectivos de los errores residuales de esos mismos puntos, en dada una de las coordenadas X, Y y Z, encuentro más conveniente dar principio por la corrección de las mismas abscisas. Dado ésto por sentado, paso a desarrollar el proceso con un ejemplo sencillo para la mejor comprensión del mismo.

La figura 9ª. representa una faja de triangulación Aérea, en la cual los pequeños triángulos muestran la distribución de los puntos topográficos que sirven de base a la misma. Uniendo mediante líneas rectas los puntos topográficos 1, 2, 6 y 9; 3, 7 y 10 y 4, 5, 8 y 11 como lo muestra la figura, obtengo tres perfiles independientes que llamo I, II y III respectivamente.

Después de efectuada la Triangulación Aérea, estamos en capacidad de conocer los errores residuales E_x , E_y y E_h correspondientes a cada uno de los puntos topográficos considerados, por consiguiente podemos efectuar el trazo de las curvas -

parabólicas de error. Para ello, proyectamos sobre el plano XZ las abscisas correspondientes a los puntos 2, 6 y 9 que llamare X_{a2} , X_{a6} , X_{a9} respectivamente, levantando sobre estas abscisas y como ordenadas los valores de los errores residuales correspondientes Ex_2 , Ex_6 y Ex_9 .

Siendo el punto topográfico 2 integrante del modelo inicial, el error residual del mismo será generalmente cero, es decir $Ex_2 = 0$. Por los puntos así establecidos, podemos trazar ahora la curva representativa del error Ex correspondiente al perfil I, tal como lo muestra la Fig. 9b.

Procediendo en igual forma se trazarán las curvas parabólicas de error correspondientes a los perfiles II y III.

Si se requiere mayor precisión en el trazo de estas curvas, pueden fácilmente interpolarse otros puntos, calculando el error correspondiente mediante el uso de la conocida ecuación de Newton:

$$Y = Y_0 + \frac{x - x_0}{1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{2} \frac{\Delta Y^2}{\Delta X^2}$$

en la cual Y representará el error que se trate de determinar.

Tal sería el caso, por ejemplo, del punto P en el perfil I.

Ahora bien, si consideramos estas tres curvas como formando una superficie, la cual llamo superficie paraboloides de error, Fig. 9c, veremos que las aristas de esta superficie

proyectadas verticalmente, corresponden a los perfiles I, y III previamente establecidos; mientras que las proyecciones de las mismas sobre el plano YZ, toman la forma indicada por la Fig.9d.

El dibujo de esta proyección sobre el plano YZ, se efectuará llevando como abscisas las Y_a correspondientes a cada punto y como ordenadas los errores residuales Ex .

Para conocer el error más probable de cualquier punto de paso considerado en la Triangulación Aérea, como el punto A por ejemplo, bastará llevar su abscisa X_{aA} en el diagrama de las parábolas de error, figura 9b, leyendo los errores correspondientes a las parábolas I, II y III .

Conocidos estos errores, los llevamos luego sobre la línea OZ en el dibujo de la proyección de las parábolas sobre el plano YZ, (Fig. 9d) y trazando paralelas por estos puntos encontramos las intersecciones con las proyecciones de las parábolas I, II, III, puntos que llamaré m, n, p, respectivamente.

La curva p, n, m, representará por consiguiente la proyección sobre el plano YZ de la intersección entre la superficie paraboloides de error y un plano vertical que contenga el punto A, llevando por lo tanto sobre la línea OY el valor de Y_{aA} correspondiente al punto A y levantando una perpendicular hasta cortar la curva p n m, encontramos el punto \underline{l} ; la distancia \underline{Al} medida sobre la línea OZ nos dará entonces el error más probable buscado,

De igual manera se procederá con los errores residuales E_y y E_h .

Mediante la adecuada aplicación de este método, he llevado a cabo la compensación de las tres coordenadas en el ejemplo considerado, cuyos resultados pueden verse tabulados en las correspondientes tablas de compensación altimétrica y compensación planimétrica.

En cada una de ellas, solamente aparecen los valores de aquellos puntos de los cuales me fué posible obtener el valor correcto, desde las cartas restituidas y publicadas en Suiza, haciendo notar que en lo referente a la compensación planimétrica, los valores que me han servido de comparación los obtuve mediante lectura directa con la escala sobre la carta, habiendo tenido cuidado en escoger solamente aquellos puntos cuya identificación era precisa.

Por otra parte, en cuanto a la altimetría se refiere, añadiré que el error cuadrático medio alcanzó un valor de ± 1.36 metros siendo el error probable de ± 0.92 metros, por lo demás, el lector podrá mediante la observación de las tablas, obtener sus propias conclusiones acerca de la exactitud del método.

TABLA DE COMPENSACION ALTIMETRICA POR CURVATURA TERRESTRE

MODELO	H _a	PUNTO	MODELO	H _a	PROMEDIO	s	c.s ²	H _c
534/535	686.0	1003	535/536	686.5	686.25	1571.30	0.19	686.44
	550.5	1004		550.0	550.25	1740.20	0.24	550.49
536/537	670.5	536x		670.8	670.65	3729.78	1.08	671.73
	663.5	536y ₁		664.0	663.75	3746.30	1.09	664.84
	659.5	536y ₂		659.5	659.50	3543.30	0.98	660.48
	741.0	536z ₁		741.3	741.15	4355.80	1.48	742.63
	683.5	536z		682.0	682.75	3537.80	0.98	683.73
	558.0	537x ₁	537/538	558.7	558.35	5837.80	2.66	561.01
	567.5	537x ₂		568.2	567.85	6079.80	2.83	570.73
	592.3	537y ₁		594.0	593.15	6589.80	3.39	596.54
	596.8	537y ₂		597.6	597.20	6767.80	3.57	600.77
	607.0	537z ₁		606.2	606.60	6815.80	3.62	610.22
538/539	617.0	537z ₂		616.0	616.50	6691.80	3.49	619.99
	797.5	538x ₁		800.5	799.00	8856.80	6.12	805.12
	623.5	538x ₂		629.6	626.55	8868.80	6.14	632.18
	597.5	538x ₃		602.2	599.85	8463.80	5.59	605.44
	809.0	538G		810.5	809.75	10,146.80	8.03	817.78
	640.5	538y ₂		644.3	642.40	10,219.80	8.15	650.55
	633.0	538y ₁		635.5	634.25	9,788.80	7.47	641.72
	832.5	538B		833.7	833.10	9,626.30	7.23	840.33
	880.5	538A		877.0	878.75	10,409.30	8.45	887.20
	884.0	538C		882.7	883.35	9,787.30	7.47	890.82
	856.0	538D		852.6	854.30	9,570.80	7.14	861.44
	859.0	539A	539/540	859.5	859.25	12,787.80	12.76	872.01
	828.0	539G		827.2	827.60	11,930.30	11.10	838.70
	822.0	539H		820.0	821.00	11,771.80	10.81	831.81
	769.0	539C		769.0	769.00	12,421.80	12.04	781.03
	746.0	539x ₂		747.0	746.50	12,585.80	12.36	758.85
	725.0	539B		725.0	725.00	12,786.80	12.75	737.75
540/541	654.0	539x ₁		654.3	654.15	12,873.80	12.93	667.08
	564.0	540x ₁		564.8	564.40	14,817.80	17.13	581.53
	576.0	540x ₂		578.0	577.00	15,155.80	17.88	591.53

MODELO	H _a	PUNTO	MODELO	H _a	PROMEDIO	s	c.s ²	H _c
	738.5	540A		736.5	737.50	15,662.80	19.14	756.63
	598.3	540y1		599.0	598.65	15,210.80	18.05	616.70
	609.0	540y2		611.0	610.00	15,433.80	18.58	628.58
	682.0	540B		682.7	682.35	15,691.80	19.21	701.56
	779.0	540z1		779.0	779.00	14,773.80	17.02	796.02
	709.8	540z3		708.0	708.90	15,613.80	19.02	727.92
	726.8	540z2		724.0	725.40	15,783.80	19.43	744.83
	792.2	541B	541/542	789.2	790.70	17,594.80	24.15	814.85
	720.0	541z2		718.6	719.30	17,808.80	24.74	744.04
	807.0	541z1		807.0	807.00	17,390.80	23.59	830.59
	697.0	541y4		698.0	697.50	17,725.80	24.51	722.01
	677.0	541y3		679.5	678.25	18,176.80	25.77	704.02
	812.3	541y2		814.5	813.40	17,990.80	25.25	838.65
	719.5	541y1		720.5	720.00	17,276.80	23.28	743.28
	728.7	541A		728.0	728.35	16,602.80	21.50	749.85
	659.0	541x2		660.0	659.50	16,478.80	21.18	680.68
	597.0	541x1		598.5	597.75	16,815.80	22.06	619.81
542/543	670.0	542		672.0	671.00	20,579.80	33.04	704.03
	643.4	542y1		645.0	644.20	21,016.80	34.45	678.65
	654.0	542C		657.0	655.50	21,312.80	35.43	690.93
	730.0	542G		730.8	730.40	20,481.80	32.72	763.12
	673.5	542y2		674.2	673.85	20,549.80	32.94	706.79
	620.0	542z1		621.0	620.50	20,674.80	33.34	653.84
	615.0	542F		617.0	616.00	21,119.80	34.79	650.79
	750.5	542E		749.2	749.85	19,709.80	30.30	780.15
	728.3	542E _k		727.3	727.80	20,353.80	32.31	760.11
	723.0	542D		721.5	722.25	20,155.80	31.69	753.94
	512.5	543x1	543/544	515.5	514.00	22,718.80	40.26	554.26
	516.5	543x2		517.8	517.15	22,978.80	41.16	558.31
	556.0	543A		557.6	556.80	22,406.80	39.16	595.96
	489.3	543B		489.3	489.30	22,706.80	40.22	529.52
	497.3	543y1		497.0	497.15	22,703.80	40.21	537.36
	538.5	543C		536.0	537.25	22,908.80	40.94	578.18
	562.0	543D		560.0	561.00	22,641.80	39.99	600.99
	512.0	543E		510.0	511.00	23,036.80	41.39	552.39

MODELO	H _a	PUNTO	MODELO	H _a	PROMEDIO	s	c.s ²	Hc		
544/545	527.5	543z	545/546	524.5	526.00	22,601.80	39.84	565.84		
	507.2	544A		510.0	508.60	26,781.80	55.95	564.55		
	505.0	544E		505.0	505.00	25,751.80	51.73	556.73		
	686.5	544D		686.5	686.50	25,477.80	50.63	737.13		
	719.5	544		721.0	720.25	26,443.80	54.54	774.79		
	527.0	544y		526.0	526.50	26,393.80	54.34	580.84		
	559.0	544x ₁		556.0	557.50	26,417.80	54.44	611.94		
	701.0	545B ¹		697.0	699.00	28,351.80	62.70	761.70		
	620.0	545z		617.7	618.85	28,377.80	62.81	681.66		
	720.0	545y ₂		718.0	719.00	28,215.80	62.10	781.10		
	684.0	545A ²		683.0	683.50	27,728.80	59.97	743.47		
	514.7	545x ₂		517.0	515.85	27,817.80	60.36	576.21		
	533.5	545x ₁		535.5	534.50	27,560.80	59.25	593.75		
546/547	446.0	1005a ¹	547/548	446.0	446.00	31,001.80	74.97	520.97		
	693.8	1006		608.5	609.00	32,236.80	81.06	774.86		
	609.5	1008				33,026.80	85.08	694.08		
	438.2	1007				32,783.80	83.83	522.03		
	405.0	1009a				34,680.80	93.81	498.81		
	423.5	548x ₁				421.5	422.50	36,362.80	103.14	525.64
548/549	475.3	549x ₁	474.0			474.65	39,116.80	119.35	594.00	
	456.0	549x ₂	454.5	455.25	39,227.80	120.03	575.28			
	471.5	549y ₁	473.0	472.25	39,279.80	120.35	592.60			
	581.5	549z	584.0	582.75	39,696.80	122.91	705.66			
	632.5	549A	631.0	631.75	40,361.80	127.07	758.82			
	437.0	550z ₁	436.0	436.50	41,872.80	136.76	573.26			
549/550	328.0	550y ₁	550/551	327.0	327.50	41,822.80	136.43	463.93		
	352.0	551z		352.0	352.00	44,103.80	151.72	503.72		
	493.5	551B		494.5	494.00	45,083.80	158.54	652.54		
	521.0	551.A		523.0	522.00	44,518.80	154.59	676.59		
	332.5	551y ₁		330.0	331.25	44,567.80	154.93	486.18		
	493.0	552y ₂		492.0	492.50	47,628.80	176.94	669.44		
	399.2	552y ₁		397.5	398.35	47,699.80	177.47	575.82		
	427.0	552z ₁		429.0	428.00	47,252.80	174.16	602.16		
	438.5	552z ₂		441.0	439.75	47,061.80	172.75	612.50		
	551/552	352.0		551z	552/553	352.0	352.00	44,103.80	151.72	503.72

MODELO	H _a	PUNTO	MODELO	H _a	PROMEDIO	s	c.s ²	H _c
553/554	567.5	553z ₁	554/555	569.0	568.25	50,109.80	195.85	764.10
	448.0	553y ₂		446.5	447.25	49,927.80	194.43	641.68
	479.5	553y ₁		477.3	478.40	52,376.80	213.97	692.37
549.5	554z ₁	549.5		549.50	52,397.80	214.15	763.65	
555/556	245.7	555z ₁		245.3	245.50	56,437.80	248.44	493.94
	515.5	555z ₂		415.5	415.50	56,067.80	245.20	660.70
	444.2	555A		443.0	443.60	56,144.80	245.61	689.21
	361.0	555y ₁		358.6	359.80	56,373.80	247.88	607.68
	491.3	555B		491.0	491.15	56,048.80	245.03	736.18
	413.0	556y ₁		556/557	413.5	413.25	58,801.90	569.70
	302.0	556y ₂	301.5		301.75	58,945.80	271.02	572.77
	-236.5	556z ₃	-235.0		-235.75	59,469.80	275.86	40.11
	-196.0	556z ₁	-194.0		-195.00	58,625.80	268.08	73.08
	557/558	-274.5	1010		-273.5	-274.00	60,313.80	283.74
147.0		1011	148.0	147.50	60,836.80	288.69	141.19	
-319.6		1012	-321.3	-320.45	62,131.80	301.11	-19.34	
-268.5		1013B			64,146.80	320.96	52.46	
-382.0		1014			64,282.80	322.32	-59.68	
-238.0		1013a			64,082.80	320.32	82.32	

ERRORES ALTIMETRICOS Y PLANIMETRICOS RESIDUALES
PARA EL TRAZO DE LAS CURVAS DE CORRECCIÓN.-

Error residual altimétrico.					Error residual planimétrico.				
Punto	H _t	H _c	E _h	X _t	Y _a	E _x	Y _t	X _a	E _y
1003	685.9	686.44	+ 0.64	253,698.6					
1005a	602.8	520.97	-81.83	255,530.1	255,547.0	+ 16.9	731,305.2	731,335.0	+ 29.8
1009a	607.1	498.81	-108.29	255,145.6	255,170.0	+ 24.4	734,974.9	735,014.0	+ 39.1
1011	844.5	141.19	-703.31	255,108.7	255,180.0	+ 71.3	761,131.6	761,170.0	+ 38.4
1013a	544.6	82.32	-462.28	255,976.2	256,055.0	+ 78.8	764,392.0	764,416.0	+ 24.0
1013b	512.6	52.46	-460.14	255,805.2	255,885.0	+ 78.8	764,456.9	764,480.0	+ 23.1
<hr/>									
1007	614.70	522.03	- 92.67	252,560.7	252,579.0	+ 18.3	733,078.1	733,117.0	+ 38.9
1012	411.1	-19.34	-430.44	252,201.4	252,278.0	+ 76.6	762,432.9	762,465.0	+ 32.1
<hr/>									
1004	550.7	550.49	- 0.21	246,591.7					
1006	856.8	774.86	- 81.94	248,960.3	248,959.0	- 1.3	732,526.9	732,570.0	+ 43.1
1008	803.4	694.08	-109.32	248,956.6	248,957.0	+ 0.4	734,306.9	734,360.0	+ 53.1
1010	419.2	9.74	-409.46	249,245.3	249,320.0	+ 74.7	760,600.9	760,647.0	+ 46.1
1014	411.6	-59.68	-471.28	249,008.7	249,100.0	+ 91.3	764,531.9	764,616.0	+ 34.1

H_t Altura del terreno.
H_c Altura de máquina corregida por curvatura terrestre.
E_h Error de cierre en altura
X_t Abcisa del terreno.
Y_a Abcisa correspondiente a X_t en la máquina.

E_x Error de abcisas.
Y_t Ordenada en el terreno.
X_a Ordenada correspondiente a Y_t en la máquina.
E_y Error de ordenadas.

TABLA DE COMPENSACION ALTIMETRICA

PUNTO	H_c		h	H	H_t	E_h
544D	737.13	†	51.80	788.93	788.80	† 0.13
544	747.79	†	56.00	830.79	836.10	† 5.31
545B	761.70	†	71.20	832.90	828.90	† 4.00
545y ₂	781.10	†	66.00	847.10	846.00	† 1.10
545A ²	743.47	†	61.90	805.37	806.10	† 0.63
545x ₂	576.21	†	63.50	639.71	640.00	† 0.29
545x ₁	593.75	†	62.50	656.25	656.00	† 0.25
549x ₁	594.00	†	143.50	737.50	738.00	† 0.50
549x ₂	575.28	†	144.10	719.38	720.00	† 0.72
549y ₁	592.60	†	146.50	739.10	740.00	† 0.90
549z	705.66	†	162.00	867.66	867.00	† 0.66
549A	758.82	†	157.50	916.32	910.50	† 5.82
550.z ₂	575.25	†	177.50	752.75	746.00	† 6.75
550z ₁	573.26	†	171.80	745.06	743.00	† 2.06
550y ₁	463.93	†	168.30	632.23	630.00	† 2.23
551z	503.72	†	197.00	700.72	699.00	† 1.72
551B	652.54	†	204.00	856.54	854.20	† 2.34
551A	676.59	†	196.10	872.69	872.70	† 0.01
551y ₁	486.18	†	197.00	683.18	683.00	† 0.18
552y ₂	669.44	†	231.70	901.14	896.10	† 5.04
552y ₁	575.82	†	223.70	809.52	803.00	† 6.52
552z ₁	602.16	†	234.00	836.16	829.00	† 7.16
552z ₂	602.50	†	231.60	844.10	838.00	† 6.10
553z ₁	764.10	†	267.80	1,031.90	1,026.00	† 5.90
553y ₂	641.68	†	261.50	903.18	897.00	† 6.18
554x ₂	853.11	†	297.00	1,150.11	1,146.00	† 4.11
555A	689.21	†	344.50	1,033.71	1,030.50	† 3.21
555y ₁	607.68	†	348.50	956.18	952.00	† 4.18
555B	736.18	†	344.50	1,080.68	1,075.30	† 5.38
555z ₁	493.94	†	352.00	845.94	843.00	† 2.94
555z ₂	660.70	†	345.30	1,006.00	1,003.00	† 3.00
556y ₁	682.95	†	383.50	1,066.45	1,061.00	† 5.45
556y ₂	572.77	†	385.70	958.47	949.00	† 9.47
556z ₃	40.11	†	395.70	435.81	433.00	† 2.81

- H_c Altura corregida por curvatura terrestre.
- h Error de altura, tomado de la correspondiente parábola.
- H Altura final despues de la compensación.
- H_t Altura del terreno.
- E_h Error final.-

TABLA DE COMPENSACION PLANIMETRICA (X)

PUNTO	X_a	x	X	X_t	E_x
544D	250,244	- 2.50	250,241.50	250,240.00	† 1.50
545B	248,731	† 3.90	248,734.90	248,745.00	- 10.10
545x ₂	253,579	- 14.40	253,564.60	253,570.00	- 5.40
545x ₁	253,859	- 14.20	253,844.80	253,855.00	- 10.20
549x ₁	253,677	- 28.20	253,648.80	253,658.00	- 9.20
549y ₁	251,542	- 22.70	251,519.30	251,520.00	- 0.70
549A	249,911	- 16.60	249,894.40	249,898.00	≈ 3.60
550z ₁	251,131	- 26.60	251,104.40	251,095.00	† 8.60
550y ₁	253,345	- 32.40	253,312.60	253,315.00	- 2.40
551z ₁	250,408	- 26.40	250,381.60	250,382.00	- 0.40
551A	252,627	- 36.70	252,590.30	252,595.00	- 4.70
551y ₁	254,081	- 37.80	254,043.20	254,042.00	† 0.80
552y ₁	253,412	- 43.40	253,368.60	253,370.00	- 1.40
552z ₁	250,322	- 34.10	250,287.90	250,280.00	- 7.90
553z ₁	250,570	- 42.60	250,527.40	250,524.00	- 3.40
553y ₂	253,824	- 48.00	253,776.00	253,775.00	≈ 1.00
555y ₁	253,417	- 62.30	253,354.70	253,355.00	† 0.30
555z ₁	250,946	- 61.80	250,884.20	250,885.00	† 0.80
555z ₂	251,535	- 62.20	251,472.80	251,468.00	≈ 4.80
556y ₁	253,485	- 68.00	253,417.00	253,422.00	† 5.00
556y ₂	253,981	≈ 67.90	253,913.10	253,910.00	- 3.10
556z ₃	250,704	- 70.95	250,633.05	250,628.00	- 5.05

X_a Coordenada X dada por la máquina.

x Error, tomado de la correspondiente parábola.

X Coordenada X despues de la compensación.

X_t Coordenada X del terreno.

E_x Error final.-

TABLA DE COMPENSACION PLANIMETRICA (Y)

PUNTO	Y_a		y	Y	Y_t	E_y
544D	725,811	-	19.15	725,791.85	725,790.00	† 1.85
545B	728,685	-	26.60	728,658.40	728,660.00	- 1.60
545x ₂	728,151	-	48.80	728,102.20	728,120.00	- 17.20
545x ₁	727,894	-	48.60	727,845.40	727,860.00	- 14.60
549x ₁	739,450	-	52.80	739,397.20	739,400.00	- 2.80
549y ₁	739,616	-	59.50	739,553.50	739,552.00	† 1.50
549A ¹	740,295	-	65.40	740,229.60	740,234.00	† 4.40
550z ₁	742,206	-	64.20	742,141.80	742,158.00	- 16.20
550y ₁	742,156	-	57.70	742,098.30	742,102.00	- 3.70
551z ¹	744,437	-	67.60	744,369.40	744,374.00	- 4.60
551A	744,852	-	62.00	744,790.00	744,790.00	- 0.00
551y ₁	744,901	-	58.40	744,842.60	744,840.00	† 2.60
552y ₂	747,962	-	60.00	747,902.00	747,900.00	† 2.00
552z ₁	747,586	-	67.70	747,518.30	747,512.00	† 6.30
553z ₁	750,443	-	65.30	750,377.70	750,365.00	† 12.70
553y ₂	750,261	-	59.80	750,201.20	750,210.00	† 8.80
555y ₁	756,707	-	52.30	756,654.70	756,655.00	= 0.30
555z ₁	756,771	-	54.40	756,716.60	756,715.00	† 1.60
555z ₂	756,401	-	54.70	756,346.30	756,342.00	† 4.30
556y ₁	759,135	-	46.30	759,088.70	759,100.00	- 11.30
556y ₂	759,279	-	45.60	759,233.40	759,240.00	- 6.60
556z ₃	759,803	-	47.00	759,756.00	759,760.00	- 4.00

- Y_a Coordenada Y dada por la máquina.
- y Error, tomado de la correspondiente parábola.
- Y Coordenada Y despues de la compensación.
- Y_t Coordenada Y del terreno.
- E_y Error final.-

B I B L I O G R A F I A

- Manual of Photogrammetry.- American Society of Photogrammetry.
Topographic Manual Part II- Chapter III. - G. C. Tewinkel.
Highway Research abstracts, Volume 23 - Number 5 .
Aplicaciones Prácticas del Método Aerofotogramétrico.- Ing. Alfredo Weil .
Grundriss der Photogrammetrie. - K. Schwidefsky .
Traité de Photogrammetrie. - M. Zeller .
Etudes sur la Photogrammétrie Aérienne. - Dr. W. K. Bachmann.
Recherches sur la déformation d 'émulsions photographiques sur des films et des plaques en verre. - H. Kasper et J. M. Zarzycki.
La Photogrammétrie Aérienne dans la mensuration cadastrale - Officielle de Calonic. - Ing. Arturo Pastorelli .
Latest news on photogrammetric Instruments in Germany. - K. Schwidefsky .
Large and intermediate scale mapping of extensive areas with application of spatial aerial triangulation.- T. Blachut .
Innovations dans les chambres aériennes de la firme Wild . - H. Kasner .
Recherches concernant l 'objectif Wild Aviogon. - R. David .
Notes on the Wild Aviogon. R. David.
Sur l'influence et l 'élimination de la distorsion résiduelle des objectifs photogrammétriques. - H. C. Kasper .
Controle sur terrain de l'altrimétrie des restitutions photogrammétriques .- A. Gluck .