



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

**“LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMETRICO PARA EL PROYECTO  
DEL LIBRAMIENTO  
SUR DE TULANCINGO, HIDALGO”**

**TESIS PROFESIONAL**

Para obtener el título de

**INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA**

Presenta:

**JOSÉ JUAN ÁLVAREZ MORALES**

Director de Tesis:

**ING. JOSÉ BENITO GÓMEZ DAZA**



2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# **“LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMETRICO PARA EL PROYECTO DEL LIBRAMIENTO SUR DE TULANCINGO, HIDALGO.”**

## **A 2 - INDICE:**

### **A 3.- INTRODUCCIÓN.**

### **A 4.- ALCANCES DEL PROYECTO Y METODOLOGÍA REQUERIDA.**

- 1.1 OBJETIVO.
- 1.2 PLAN DE VUELO.
- 1.3 ELABORACIÓN DEL FOTOINDICE.
- 1.4 ROTULADO DE ROLLOS.
- 1.5 APOYO TERRESTRE.
- 1.6 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL.

### **A 5.- FOTOGRAFÍA AÉREA.**

- 2.1 *TIPOS DE FOTOGRAFÍAS.*
- 2.2 *DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS CÁMARAS AÉREAS.*
- 2.3 *NAVES AÉREAS.*
- 2.4 *PLAN DE VUELO.*
- 2.5 OTRAS CONSIDERACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE VUELO.
- 2.6 CÁMARA Y EQUIPO ASOCIADO.
- 2.7 MÁS CONSIDERACIONES PARA LA COBERTURA FOTOGRÁFICA Y VUELO.
- 2.8 MATERIAL FOTOGRÁFICO.
- 2.9 CONDICIONES DE LAS COPIAS FOTOGRÁFICAS.
- 2.10 CALIDAD DE LA IMAGEN.

### **A 6.- CONTROL TERRESTRE.**

- 3.1 EQUIPO REQUERIDO PARA EL APOYO TERRESTRE.
- 3.2 APOYO FOTOGRAMÉTRICO.

3.3 METODOLOGÍA DEL APOYO TERRESTRE.

3.4 LEVANTAMIENTO DE POLIGONALES.

3.5 METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO.

3.6 CÁLCULO TOPOGRÁFICO.

## **A 7.- RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.**

4.1 GENERALIDADES.

4.2 CLASIFICACIÓN DE RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

4.3 INSTRUMENTOS ANALÓGICOS.

4.4 INSTRUMENTOS ANALÍTICOS.

4.5 ORIENTACIÓN INTERNA.

4.6 ORIENTACIÓN RELATIVA Y ABSOLUTA.

4.7 ORIENTACIÓN INTERNA PARA SISTEMAS DIGITALES.

## **A 8.- RESULTADOS.**

5.1 EDICIÓN Y ARMADO DE PLANOS.

5.2 *MATERIAL QUE ENTREGARA EL CONTRATISTA.*

## **A 9.- CONCLUSIONES.**

## **A 10.- BIBLIOGRAFÍA.**

## INTRODUCCIÓN.

### TULANCINGO DE BRAVO

#### NOMENCLATURA

DENOMINACIÓN

TULANCINGO DE BRAVO

TOPONIMIA

Su nombre se deriva de las raíces náhoas "Tule o Tular" y Tzintle, que significa "En el tular o detrás del tule".

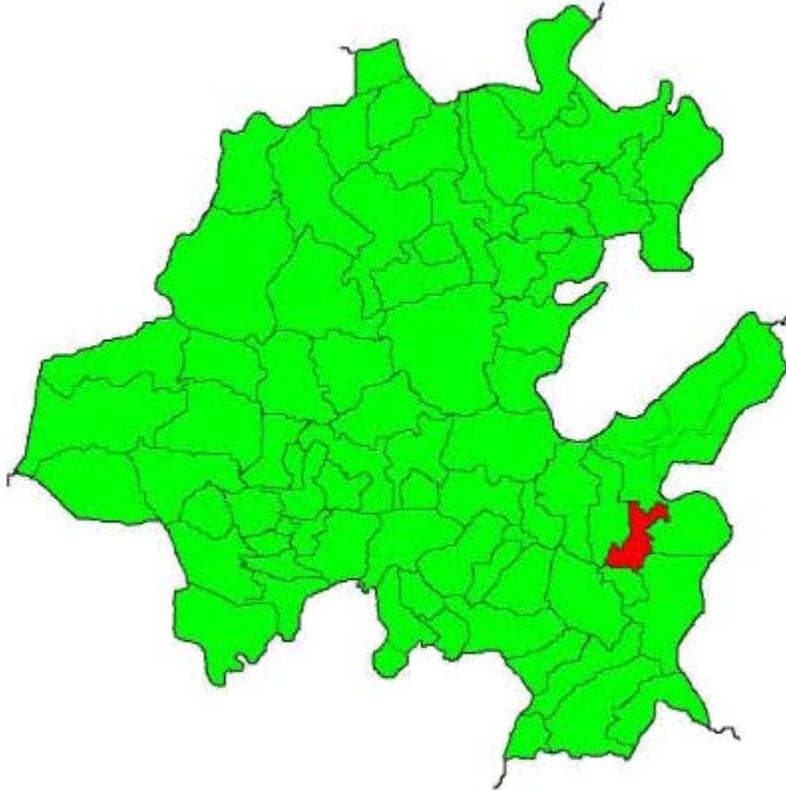
Tulancingo es una palabra derivada de su primitivo nombre Tullan - Tzingo, de acuerdo con su jeroglífico, que presenta un manajo de tules ocultando a un indio, se le han hecho las siguientes traducciones: "detrás del tules " ó "el fin de los tules o juncos". Según otros autores la palabra se deriva de Tollan - Tzingo cuya traducción es "el pequeño tollán".

#### CRONOLOGÍA DE HECHOS HISTÓRICOS

Año	Antecedentes
645 a.C.	Se constituyó una ciudad por los Toltecas formando parte del gran imperio de Tula
1116	La cultura Tolteca descendió notablemente la ciudad fue abandonada por los toltecas a principios del siglo XII cuando fue destruido el imperio de Tollán por la guerra.
1120	Se establecen vasallos y chichimecas en donde quedaban restos de familias toltecas y así fue poblado Tulancingo nuevamente. Constituyendo así en otro de los señoríos tributarios de Texcoco
1431	Iltzcóatl y Nezahualcóyotl reyes de Tenochtitlan y Acolhuacán respectivamente para regularizar sus territorios hicieron una nueva división y Tulancingo volvió a incorporarse al reino de Texcoco
1525	Fue sometida a dominio hispano
1527	Llegaron los religiosos franciscanos de la casa principal de Texcoco

1858	Se le da el nombre de Tulancingo de Bravo por decreto.
1915	Fueron sorprendidos los revolucionarios carrancistas por los villistas en la plaza Tulancingo en 1916 Venustiano Carranza visitó Tulancingo.
1916	Venustiano Carranza visitó Tulancingo.

## MEDIO FÍSICO

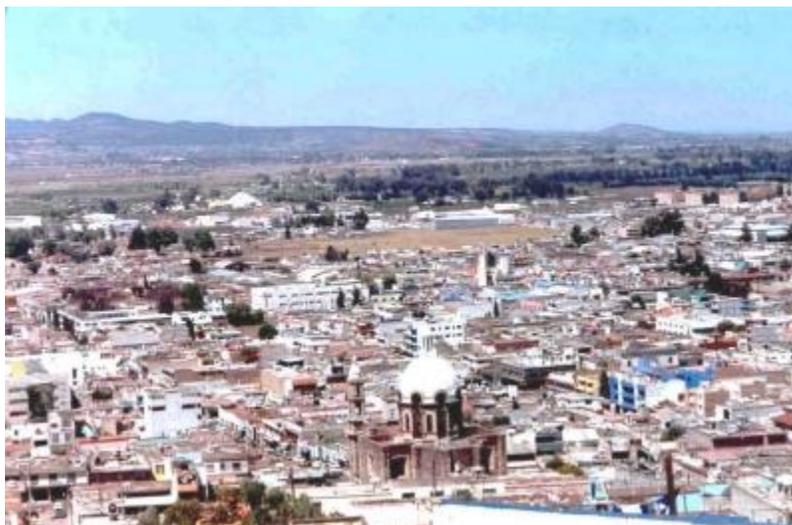


## LOCALIZACIÓN

Se ubica aproximadamente entre los 2200 y 2400 metros sobre el nivel del mar y lo localizamos geográficamente en las siguientes coordenadas; latitud norte 20° 04' 53'', longitud oeste 98° 22' 07' del Meridiano de Greenwich.

Colinda con los siguientes municipios; al norte con el municipio de Metepec, al este con Acaxochitlán y Cuauhtepac y al oeste con Acatlán y Singuilucan.

Se encuentra a 93 kilómetros de México, D.F. (vía corta Pirámides y a una distancia de Pachuca, capital del Estado de 46 km).



## EXTENSIÓN

Su superficie es de 290.4 kilómetros cuadrados, que representa el 1.4% del total de la superficie territorial del Estado de Hidalgo

### Orografía

Ubicado en el Eje Neovolcánico formado por llanuras principalmente, y por sierra en menor proporción.

Su topografía presenta una superficie semi-plana, cortada por cañadas, barrancas, cerros y volcanes.

Las cañadas que se localizan en el municipio son; la de los Ermitaños, consta de dos secciones que forman una "Y", la cual mide casi 1 Km de longitud, con anchura de 20 a 80 mts y paredes que van de 100 ó 150 mts. de elevación. Se encuentra a 2,580 metros sobre el nivel del mar.

En su relieve uno de los cerros más importantes es el del "Tezontle", quien debe su nombre a la piedra volcánica que lo forma, misma que se utiliza para recubrimiento de

carreteras, para la fabricación de block y si los componentes de la piedra la hacen muy fina esta se utiliza como sustituto de arena.

Otras de sus elevaciones son; el Cerro Viejo, Napateco y las Navajas, este último es el segundo en altura en todo el Estado con 3,212 mts sobre el nivel del mar, el cerro Napateco tiene una altitud de 2, 660 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Los cerros del valle con menor altitud, están formados por piedra pomex, la cual es conocida como espuma volcánica, así como de varios mantos de obsidiana o vidrio volcánico.

La peña del Yolo que tiene 20 mts de alto, es una elevación más de Tulancingo, el cual tiene una altura de 20 mts, por las faldas de este corre el río Tulancingo. El cerro la Esperanza con altitud de 2,480 msnm, el Cerro Xocotepec cuya altitud es de 2,440 msnm y el Cerro Jagüey Chico con 2,320 msnm.

## HIDROGRAFÍA

En lo que respecta a la hidrología uno de los ríos más importantes es el Metztlán que se origina en los límites del Estado de Puebla con escurrimientos del Cerro Tlachaloya que forman el Río Hiscongo y da origen al Río Chico de Tulancingo, que también es formado con los escurrimientos de Cuasesengo y La Paila, ambas forman el Río San Lorenzo que da origen al Río Grande de Tulancingo.

También existen regiones, cuencas y subcuencas hidrológicas, estas regiones son Pánuco y Tuxpan-Nautla, las cuencas son el Río Moctezuma y Río Cazonas, las subcuencas el Río Metztlán y Río San Marcos.

Además de lo anterior, Tulancingo cuenta con cuatro cuerpos de agua; que se denominan Los Alamos, Otontepec, San Alejo y La Ciénega.

**Clima**  
El clima de Tulancingo de Bravo es templado - frío, registra una temperatura media anual de 20°C y con una precipitación pluvial que oscila entre 500 y 553 mm por año, esto, sin contar la humedad que deja la niebla ocasional, lo cual permite la siembra de temporal a los lugares donde no alcanza llegar el riego como en Metepec y en los llanos de San Alejo.

## Principales Ecosistemas

### FLORA

La flora de este municipio tiene una vegetación compuesta por pino, ocote, oyamel, cedro, nogal y palo de zopilote.

### FAUNA

La fauna perteneciente a Tulancingo de Bravo, en su mayoría está compuesta por especies como conejos, ardillas, roedores, colibrí, gorrión, pájaro carpintero, víbora, lechuza, tejón, codorniz, palomas, tlacuache, zopilote, así como una gran variedad de insectos.

## Clasificación y Uso del Suelo

El suelo es de tipo semi - desértico, rico en materia orgánica y nutrientes. Los usos que se le dan al suelo son los siguientes; 60.8% es agrícola, que incluye pastos naturales, bosque, riego y temporal; le sigue el forestal y por último el de agostadero.

## PERFIL SOCIO DEMOGRÁFICO

### EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA

De acuerdo a los resultados que presento el II Censo de Población y Vivienda en el 2010, el municipio cuenta con un total de 151,584 habitantes.



## INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y DE COMUNICACIONES

### EDUCACIÓN

En el ámbito educativo existen los niveles de educación desde preescolar hasta educación superior.

El municipio cuenta con 68 planteles de preescolar, 29 de primaria y 30 de educación secundaria, estos planteles son atendidos por aproximadamente 1,225 maestros en los distintos niveles de educación.

Se cuenta con 10 planteles para bachillerato y seis instituciones de educación superior.

Tulancingo cuenta con 5 bibliotecas con capacidad para atender anualmente a 148,630 usuarios.

## SALUD

En Tulancingo se pueden encontrar las siguientes instituciones de salud; IMSS, ISSSTE, IMSS-SOL, S.S.A.H. y dos más son de la CRUZ ROJA MEXICANA.

En total existen 12 unidades médicas; una de estas pertenece al IMSS, otra al ISSSTE, otra al IMSS-SOL, siete pertenecen al S.S.A.H. y dos más son de la Cruz Roja Mexicana.

## DEPORTE

La mayor parte de la población se encuentra concentrada principalmente entre la población más joven de la comunidad, la cual oscila entre los 5 y los 24 años de edad, entre esta población el deporte que tiene más difusión y que es el más practicado por niños y jóvenes es el fútbol, por ello cuenta con un equipo profesional. Para que niños, jóvenes y adultos realicen actividades deportivas, se cuenta con instalaciones públicas y privadas, como son: el auditorio maestro Lic. Manuel Fernando Soto, una arena de lucha libre, instalaciones de la feria regional y campo deportivo, en estos lugares se practica; el basquetbol, el tenis, el voleibol, el frontón, el béisbol, la lucha libre y el box.

Entre otros se encuentra el deporte nacional que es la charrería, este deporte es practicado en las instalaciones del lienzo charro.

## VIVIENDA

De acuerdo a los resultados que presento el II Censo de Población y Vivienda en el 2010, en el municipio cuentan con un total de 45,812 viviendas de las cuales 26,589 son particulares. El material con el que están construidas las viviendas es así; los pisos con cemento o firme, madera, mosaico u otro tipo de material, un porcentaje muy bajo de las viviendas tienen pisos de tierra. Las paredes de las viviendas están construidas casi en su totalidad con tabique, ladrillo, block o piedra; la minoría de las viviendas construyen sus paredes de adobe. Los techos son de losa, concreto, tabique o ladrillo; muy pocas viviendas están techadas con lámina de asbesto o metal y con teja.

## SERVICIOS BÁSICOS

El municipio cuenta con los servicios de agua potable, ésta abastece el 91% del municipio, el agua potable entubada llega principalmente a la vivienda y terreno, en todo el municipio se cuenta con tomas públicas instaladas en las localidades para el uso de la población que no cuenta con el servicio de agua potable entubada en toma domiciliaria, el sistema de agua potable cuenta con 7 sistemas que atiende las necesidades de 15 localidades, el drenaje se encuentra instalado en un 78% en todo el municipio, para cubrir esta necesidad existen 4 sistemas que proporcionan el servicios en 4 localidades, el drenaje se encuentra conectado ya sea a una red pública, fosa séptica.

La electricidad es uno de los servicios que se abastece casi la totalidad del municipio pues abarca el 97% del mismo, cubre las necesidades de la población en general a través de la electrificación en industrias, establecimientos comerciales, viviendas, alumbrado público, etc. Además cuenta con una serie de servicios, los cuales mantiene

comunicado al municipio, tales servicios son; telefónico, oficinas de telégrafos, transporte, oficinas postales, parques y áreas de recreación, unidad deportiva, seguridad pública y vial, mercados públicos, central de abastos, panteón y rastro municipal.

## VÍAS DE COMUNICACIÓN

La longitud de la red carretera con la que cuenta el municipio es de 42.4 kilómetros de los cuales 24.4 km. es troncal federal y 18 kilómetros de alimentadora estatal. Únicamente cuenta con 3 kilómetros de camino rural.

La circulación vehicular comprende automóviles, camiones de pasajeros y camiones de carga.

El municipio cuenta con un aeródromo, el cual tiene una longitud de pista de 1,000 metros.

## MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Se cuenta con líneas de transporte foráneas, urbanas y suburbanas que dan servicio a la población, estas líneas son:

Autobuses Blancos Coordinados S.A. de C.V.

Autobuses de Oriente

Líneas de Autobuses San Juan

Teotihuacán S.A. de C.V.

Autotransportes Huehuetla

Autobuses México Tuxpan, Tampico S.A. de C.V.

Estas líneas enlazan a la ciudad con Alamo, Huayacocotla, Honey, Huauchinango, Naranjos, México, Poza Rica, Tamiahua, Tampico, Tuxpan, Pachuca, Pahuatlán, San Bartolo Tututepec, Zacatlán y Huehuetla.

En lo que respecta a telecomunicaciones, el municipio cuenta con tres estaciones terrestres de comunicación vía satélite que desde el Valle de Tulancingo sirven para enlazar el Centro de México con el resto de la República, Estados Unidos, Europa, África y América Latina.

El enlace se realiza a través de circuitos telefónicos, y seis señales de televisión que se transmiten hacia el satélite Solidaridad.

En Tulancingo también hay tres estaciones de radio, la XENQ, XEQB y XHTNO.

El telégrafo, para el cual existen 48 oficinas postales, proporciona servicio nacional e internacional, al igual que el teléfono automático con servicio local, nacional e internacional.

## ACTIVIDAD ECONÓMICA

### PRINCIPALES SECTORES, PRODUCTOS Y SERVICIOS

#### AGRICULTURA

Los cultivos que se producen en este municipio son cíclicos y perennes, en relación con los productos cíclicos se produce: maíz, cebada en grano, frijol, trigo en grano y maíz forraje. El maíz a diferencia de los otros cultivos se produce tanto en tierras de riego como en tierras de temporal, las más productivas son las de riego, pues de estas se obtiene entre el 90% y el 100% de lo que se siembra, los productos restantes se cosechan y siembran únicamente en tierras de temporal obteniendo de ahí toda su producción.

En cuanto a cultivos perennes se encuentran el nopal tunero, la alfalfa verde y las praderas, a diferencia de los productos cíclicos, éstos se siembran y cosechan en tierras de riego, solamente el nopal tunero se cosecha en tierras de temporal, la mayor producción de cultivos perennes se obtiene de las praderas.

#### SILVICULTURA

El aprovechamiento forestal maderable se obtiene principalmente del pino, no es una zona dedicada a la explotación forestal, pero cabe señalar que en esta región existe una importante reforestación, otras especies de arboles que se encuentran en la zona son: el encino y el oyamel.

#### GANADERÍA

Otra de las actividades económicas que se llevan a cabo en Tulancingo es la ganadería. El tipo de ganado existente en el municipio es el siguiente; bovino, porcino, caprino, ovino, equino, así como aves, guajolotes y colmenas.

Destaca más en cuanto a mayor número de cabezas en la crianza el ganado ovino, bovino y el porcino. La ganadería en la región se encuentra en problemas en los que figuran la erosión del suelo que va minando poco a poco la existencia de los pastos naturales.

#### INDUSTRIA Y COMERCIO

Dentro de la industria manufacturera en el municipio de Tulancingo de Bravo existen unidades económicas dedicadas a la elaboración de productos alimenticios, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir e industria del cuero; la industria de la madera y productos de madera; productos del papel, imprentas y editoriales; sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico; productos minerales no metálicos excepto derivados del petróleo y del carbón y por último industrias metálicas básicas.

En los tres primeros tipos de industria mencionados es donde existen más unidades económicas, donde hay más gente empleada y donde se alcanza el más alto valor agregado.

En cuanto a la actividad comercial hace poco tiempo se contaban 281 establecimientos comerciales en el municipio en los que se empleaban a 3,404 personas.

En Tulancingo existen cinco tiendas Diconsa, cinco tianguis, dos mercados públicos, además se encuentra la Central de abastos.

Existe el tianguis permanente de “fayuca” así como la “Plaza de los Jueves”.



## TURISMO

Los recursos turísticos con que cuenta son:

La Catedral, que es una fundación franciscana que data de 1528, y que fue reconstruida en 1788, por J. Damián Ortiz de Castro. Es una obra en cantera, sobria y elegante de estilo neoclásico. En el interior destaca una pila de agua bendita, labrada en piedra y un púlpito de madera con decoración en relieve. Anexo al templo se encuentra el convento de San Francisco, el cual tiene una arquería de cinco arcos de medio punto y corredores cubiertos por techo de viguería.

Templo de la Merced. Se empezó a construir en 1892, por iniciativa del presbítero José Antonio Agüero, pero debido a que se derrumbó antes de ser concluido, tuvo que ser reedificado con posterioridad, quedando como actualmente se conoce.

Capilla de la Expiración. Data de 1526, año en que llegaron los franciscanos a Tulancingo, por lo que se considera la capilla más antigua de la región.

La iglesia de los Angeles, donde se encuentra la imagen de la virgen de los Angeles, es otro atractivo turístico ya que las fiestas tradicionales son en su honor.

Al norte de la ciudad se encuentran la zona arqueológica de Huapalcalco a una distancia de 3 km. del centro de Tulancingo, en ella se puede contemplar la pirámide y las pinturas rupestres de esta zona.

Para la distracción y el recreo los turistas pueden acudir al Jardín de la Floresta, formado por dos secciones la plaza de la constitución y el parque Juárez.

El Jardín del Arte y el centro de la recreación Nicolás Bravo, son los lugares que Tulancingo ofrece y son dignos de visitarlos.

La capacidad hotelera se compone de 11 hoteles clasificados según su categoría la cual va de cuatro a una estrella; la mayoría de ellos se localizan en el centro de la ciudad o en las vías carreteras más transitadas, la principal es la carretera México – Tuxpan, la cual atraviesa toda la ciudad. Los nombres de los Hoteles son; Hotel La Joya, Hotel Señorial, Hotel Colonial, Hotel Los Angeles, Hotel Palacio Juárez, Hotel Posada, Hotel Restaurante Americano, Hotel Restaurante La Verbena, Auto Hotel El Bosque, Auto Hotel El Pardo, Hotel VM Juárez.

Cuenta con 2 agencias de viajes; Agencia de Viajes Uva Tur S.A. de C.V. y Cherry y Tours S.A. de C.V.

Población Económicamente Activa por Sector

## ATRATIVOS CULTURALES Y TURÍSTICOS

### MONUMENTOS HISTÓRICOS

La Catedral de Tulancingo; imponente por su sencillez, su conjunto y sus detalles, principalmente sus dos enormes columnas de estilo jónico romano de 17 metros de altura, construida en el Siglo XIX.

La Iglesia de los Angeles; en ella se venera a la imagen de la Virgen de los Ángeles, las fiestas de agosto se hacen en su honor con una importante feria anual.

Entre otros templos parroquistas encontramos el Templo de San José, la parroquia de La Merced, la Iglesia de la Villita y la Capilla de La Expiración.

La Zona Arqueológica de Huapalcalco; situada al norte de la ciudad, con una distancia aproximada de tres kilómetros en donde podemos observar una pirámide de cinco cuerpos emplazada. Esta zona es considerada como el primer asiento tolteca en el Estado.

En el rubro de arquitectura civil, podemos encontrar “La Casa de los Emperadores”. En esta casa encontraron alojamiento Agustín de Iturbide y posteriormente Maximiliano de Habsburgo.



## FIESTAS, DANZAS Y TRADICIONES

La Feria Anual de Tulancingo, es la principal fiesta del municipio la cual se lleva a cabo del 26 de julio al 6 de agosto; se trata de una feria eminentemente comercial, agrícola, ganadera e industrial.

En Semana Santa se celebra el segundo viernes de Cuaresma, quinto viernes de Cuaresma, Domingo de Ramos, Jueves Santo, Sábado de Gloria y Domingo de Resurrección.

Podemos observar procesiones que van desde la Iglesia de los Angeles a la Catedral, con participación de los creyentes.

Ocasionalmente los domingos en el Jardín La Floresta se realizan verbenas y kermesses populares en donde se exponen antojitos mexicanos.

Las artesanías que podemos encontrar en Tulancingo son artículos elaborados con barro.

El barro utilizado es de dos tipos; engretado y con chapopote, entre los artículos elaborados con el primer tipo de barro podemos encontrar jarros, ollas, cazuelas, vasijas y macetas, entre los del segundo tenemos comales, ollas y cazuelas.

Otro tipo de artesanías con que se cuenta en el municipio de Tulancingo son de talabartería como huaraches, chaparreras, guantes, fuetes, sillas de montar, fundas y cinturones. También encontramos artículos de lana pura como jorongos, cobijas, sarapes, cortinas, ceñidores y rebozos. En gastronomía; la fama alcanzada por los quesos y lácteos producidos en la región ha llegado a nivel nacional, se puede encontrar queso oaxaca, enchilado, doble crema, requesón, manchego, crema, etc.

Es tradicional que los domingos la población de Tulancingo consuma tamales, barbacoa y consomé de borrego, pancita en mole rojo y una salsa de chinicuiles.

## MUSEOS

### MUSEO DEL FERROCARRIL:

Esta localizado en la antigua estación y cuenta con fotografías de la construcción, así como objetos de oficina y contabilidad que se utilizaban en esa época.



Siendo Tulancingo una de las ciudades importantes del estado de Hidalgo, que genera una gran movilización de vehículos de todo tipo por ser una ciudad de gran dimensión y ciudad de paso hacia el Golfo de México y la zona petrolera del estado de Veracruz; tiene la necesidad de construir el Libramiento (Libramiento Sur de Tulancingo) para tener una mejor vialidad.

Este proyecto generará beneficios al Estado de Hidalgo y principalmente en empleos, comercios y traslados se acortan en tiempo, para los residentes y los viajeros al evitar el cruce de la ciudad.

El Libramiento Sur de Tulancingo inicia en el km. 97 de la autopista México – Tulancingo num. 132, hasta la carretera federal Cuautepéc – A Laguna de Tecocomulco.

En este Libramiento los poblados mas importantes son: Paxtepec, Los Romeros, Santiago Tulantepec, Almoloya y Cuautepéc de Hinojosa como se ilustran en la fig. A

Este proyecto fue realizado por *Consultores BH y Asociados S. A. de C. V.* para la *Secretaría de Obras Públicas, del Gobierno del Estado de Hidalgo*, con la participación de la *Dirección General de Carreteras Federales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes*, que realizó el vuelo Aerofotogrametrico para la obtención de la Fotografía Aérea, que cubre la zona de estudio, las diapositivas, índices de vuelo y planos del proyecto con el eje marcado para la realización del apoyo terrestre y restitución fotogramétrica.

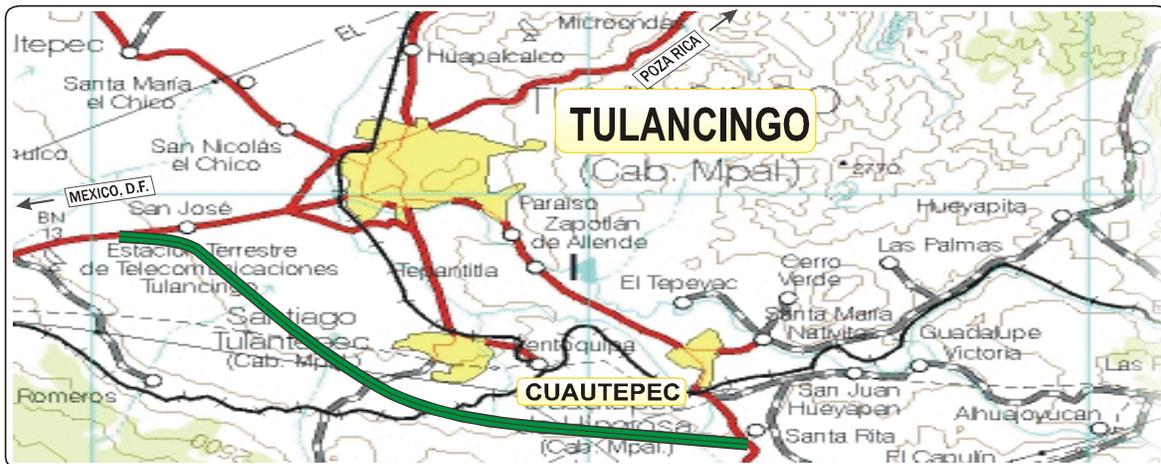


Fig. A

El Libramiento tiene una longitud de 18 km. y su ubicación esta entre las coordenadas geográficas  $\phi = 20^{\circ} 01'00''$  y su  $\lambda = 98^{\circ} 22'00''$  aproximadamente.

# **1.-ALCANCES DEL PROYECTO Y METODOLOGÍA REQUERIDA.**

## **1.1 OBJETIVO**

Para realizar el plan de vuelo, la toma de fotografía aérea, el proceso de revelado, fotocopiado, elaborar índice fotográfico y rotulado de los negativos del rollo. Elaborar planos topográficos escala 1:2,000 con curvas de nivel @ 2m en los que se estudiarán las alternativas de proyecto del Libramiento en estudio son las siguientes:

## **1.2 PLAN DE VUELO**

Tomando como base el “larguillo” con ruta del anteproyecto, elaborará dos “larguillos”, en original (a color) con cartas Esc. 1:50,000 que produce el INEGI, en donde contenga la línea del anteproyecto. Con estos larguillos, se realizará el PLAN DE VUELO. Esto es; se trazarán las líneas de vuelo sobre el anteproyecto, que considerando el área que cubre lateralmente la escala de fotos por tomar, cubra ampliamente la línea del anteproyecto.

Las Líneas así trazadas se numerarán en forma progresiva, iniciando con la línea 1 con la que este más próxima al D.F. en forma radial y así con la 2,3 etc. hacia Norte, Sur, Este etc.

Para el cálculo de la altura a la que deberá volar el avión, se obtendrá la elevación promedio del terreno en cada línea y se le sumara la (H) altura de vuelo.

Con estos datos, se formulará un formato tamaño carta en donde contenga encabezados como: número de línea, escala media, altura de vuelo en pies sobre el nivel medio mar (SNM) longitud de la línea en km., hora de toma, sobreposición longitudinal, número de fotos y datos de la cámara, filtro y película a usar. Este formato, se anexará a las carpetas del plan de vuelo.

### **TOMA DE FOTOGRAFÍA AÉREA.**

Es conveniente mencionar que tanto la tripulación, el avión y permisos, deberán sujetarse a lo estipulado en la ley de vías generales de comunicación y que la aeronave deberá de contar con un sistema eficiente de navegación.

### **LA CÁMARA.**

Esta deberá contar con datos recientes (menos de dos años) de calibración, con la finalidad de dar validez a su calidad dimensional, al igual que la película aérea, esta deberá de tener una base dimensionalmente estable y no haber llegado a la fecha de vencimiento.

## ESPECIFICACIONES DE TOMA.

Las líneas de vuelo deberán extenderse lo suficiente, más allá del área de proyecto, a fin de garantizar un cubrimiento estereoscópico suficiente.

## NUBOSIDAD.

El área total de una fotografía no debe estar cubierta con más de un 7% por nubes o sombras y ninguna nube o sombra deberá cubrir la zona del proyecto. Esto obligaría a volver a volar sin nubes.

## DERIVA, GIRO, VERTICALIDAD.

Todas las líneas de vuelo deberán estar dentro de 4° de la dirección especificada en el plan de vuelo.

Durante el vuelo se deberá compensar el giro alrededor del eje vertical y mantenerlo por debajo de 3°.

La verticalidad del eje de la cámara, deberá mantenerse, dentro de los 3°

## SOBREPOSICIONES.

Para fines del proyecto, la sobreposición longitudinal no podrá ser menor al 60% y la sobreposición lateral cuando así se requiera será del 30 al 20% dependiendo del tipo de terreno (20% en caso de extremo relieve.)

Para el revelado de la película aérea, es muy importante considerar el grado de sensibilidad de la emulsión, esto es el "ASA", las condiciones atmosféricas que reporta la tripulación del vuelo y la escala del mismo.

Durante el proceso de revelado habrá que tener mucho cuidado con la RADIOMETRIA (los tonos y contraste) de igual forma con las marcas fiduciales, estas que alcancen la mayor nitidez posible. La calidad del revelado debe ser tal que los negativos deberán ser claros y con detalles bien definidos, de un rango de densidad uniforme y tener el grado adecuado de contraste para todos los detalles, para mostrar con claridad, las áreas sombreadas, como las iluminadas.

## CUIDANDO TAMBIÉN EL FIJADO Y LAVADO ADECUADO DEL ROLLO

Para el secado del rollo, si no se cuenta con secadora automática habrá que cuidar que cuando se esponga la película al aire, esta no se "pegue" un tramo con otro, para evitar que la emulsión se dañe. Habrá que asegurarse, que el rollo este bien seco antes de enrollarlo en su carrete y bote respectivo.

## FOTOCOPIADO

1.- En el proceso de fotocopiado, hay que tener mucho cuidado con los tonos y CONTRASTES (radiometría), para lograr que todas las fotos del vuelo, sean uniformes, asegurando con ello, que los detalles altos de una montaña, las partes bajas o valles y marcas fiduciales, se vean con nitidez.

.2.- Cabe hacer notar que a manera de control de fotos, antes de iniciar el fotocopiado habrá que hacer, en una porción de cinta transparente (DIUREX) y por el lado del pegamento, un letrero que indique el Número de rollo y la fecha de vuelo, que se colocará en la posición superior izquierda de la foto (lado izq. del contador de la cámara) de tal manera que quede fijo en el vidrio de la prensa, para que cada impresión de foto, tenga ese letrero.

### **1.3 ELABORACIÓN DEL FOTOINDICE.**

1.- La elaboración del FOTOINDICE, se inicia con el armado de las líneas de vuelo, que como es sabido, se forman observando el número consecutivo del contador, que nos indica el inicio y terminación de cada línea. Teniendo las líneas armadas, se busca la liga entre ellas tomando como base el plan de vuelo, en donde se indica el número y sentido que le corresponde a cada línea.

2.- Para la numeración que le corresponde a cada foto de una línea, tomando como base el sentido creciente entre líneas, así la foto 1 de la línea uno, le corresponde a la primera foto inferior en el sentido de la línea 1 hacia la línea 2 y se continua la numeración en forma sucesiva hasta la ultima foto, agregándole una F de final, Ejemplo: 1-1, 2-1, 3-1 etc. 12-1F que nos indica el primer número, el número de foto y el segundo a que línea corresponde. Esta numeración se coloca en la esquina superior derecha de cada foto, en una línea, lo que obliga al armado de líneas en ese sentido, haciendo notar que si las fotos se arman en sentido inverso, no se podrán numerar como se indica

3.- Cuando Las líneas se cruzan o sobreponen, se colocará arriba la de mas baja numeración y abajo la siguiente, como ejemplo, la línea 1 arriba, la dos abajo, la tres debajo de la dos etc. Colocando la numeración de fotos en la línea de arriba en su posición correspondiente, ya que si se numera en la esquina superior derecha de la foto, esta quedaría oculta.

4.- Tomando como base las poblaciones mas significativas, que aparecen en el plan de vuelo, estas se identifican en el índice armado y se coloca el letrero indicativo del nombre de la población al igual que el destino de los caminos principales indicando su dirección, Ejemplo:

← A LAS PIRÁMIDES

A HUAUCHINANGO →

Finalmente, como identificación del trabajo, se colocara un letrero, de letra mediana con mayúsculas, al principio y al final del índice con la siguiente leyenda como ejemplo;

SCT 1456 LIB. SUR DE TULANCINGO, HGO.
FV 1:10.000 <span style="float: right;">FV 11-09-03</span>

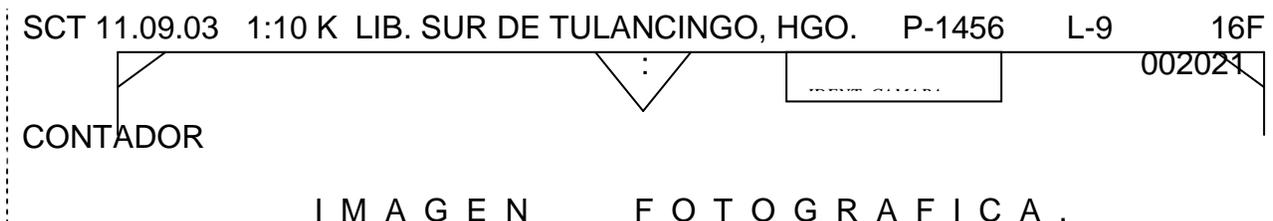
que en forma explicativa es: SCT es invariable, 1456 corresponde al número de proyecto, este lo indicará "LA DEPENDENCIA", la indicación que sigue después del No. de proyecto, corresponde a la zona volada que viene indicada en el plan de vuelo correspondiente la fecha de vuelo, esta indicada en el rollo que entrega la tripulación después de realizada la misión.

5.- Respecto a la EF (Escala de foto) ésta se determina midiendo entre dos detalles característicos, que estén contenidos en el índice fotográfico y en el plan de vuelo; por ejemplo la "T" o la "Y" de dos carreteras y un buen detalle de alguna población o la curva de un río etc.

El calculo se realiza midiendo primero, la distancia gráfica que resulte entre los detalles extremos de la carta del plan de vuelo a la escala correspondiente y dividiéndola entre los centímetros y milímetros de los mismos detalles en el índice fotográfico, redondeado al mil mas próximo Ejemplo: distancia en centímetros entre detalles de la carta del plan de vuelo = 0.343 que multiplicada por la escala del plano, seria  $0.343 \times 50000 = 17150.00$  m., la distancia entre los mismos detalles, en el índice fotográfico es de 1.456, la escala es  $17150 \div 1.456 = 11778.85$  que redondeada, quedaría: EF 1:12000.

#### 1.4 ROTULADO DE ROLLOS

1.- Para identificar todas las fotografías de un rollo, se requiere que cada foto, contenga una identidad adecuada. La metodología que para este fin se sigue en la "Dependencia" y a manera de ejemplo es la siguiente.



La explicación es muy lógica, solo como aclaración, es conveniente decir que la fecha del vuelo, será invariablemente: día, mes, año, que la escala de vuelo, se simplifica con la K, que se sobreentiende como mil, la P, corresponde al número de proyecto, ya explicado, la "L" corresponde al número de línea y después del pequeño espacio se anota el número de foto y la F, indica que es el final de la línea y que no hay otra foto mas.

Este rotulado puede hacerse con leroy. Habrá que considerar que conviene utilizar tinta de buena calidad, indeleble y de secado rápido, como la de los cartuchos RAPIDOPLOT ó similar.

## **1.5 APOYO TERRESTRE.**

### **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. La señalización consiste en la construcción de una cruz de cuatro brazos en los vértices de la poligonal y de tres brazos (pata de gallo) en los puntos de control lateral.

Monumentación.- En los vértices de la poligonal se construyen en el sitio mojoneras y en los puntos de apoyo lateral conviene dejar un testigo.

Una vez terminado el preseñalamiento se obliga a informar oportunamente a la SCT para que ésta realice el vuelo fotográfico Esc. 1:10,000.

### **2 Medición de poligonales.**

Equipo a utilizar:

Por sus características teóricas, las mediciones del control terrestre están comprendidas en el campo de la geodesia del orden 2-II o la topografía de precisión.

Los ángulos horizontales y verticales se obtendrán con teodolitos o estación total y distanciómetro electrónico. Se usarán también equipos de poligonación atrás y adelante, para hacer puntería; la nivelación será trigonométrica.

El inicio del trabajo debera ligarse a un trabajo existente, la SCT indicará a que vértices deberá ligarse el control terrestre para su propagación. En caso contrario autorizará el establecimiento de una base con dos puntos GPS o bien determinar los orígenes de las coordenadas X, Y, Z mediante un punto perfectamente identificable tanto en las fotografías aéreas como en la cartografía INEGI de donde se tomará las coordenadas de origen, para su propagación se deberá realizar una orientación astronómica entre los dos primeros vértices de la poligonal de referencia.

## **1.6 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL.**

La Restitución Fotogramétrica Digital, deberá realizarse en instrumentos fotogramétricos analógicos, analíticos o digitales.

Previamente al trazo de los detalles planimétricos y altimétricos, se realizará la orientación interior, orientación relativa y orientación absoluta, con lo que se obtendrá el modelo estereoscópico a escala con apoyo de los puntos de control terrestre.

### **1- Edición de planos.**

La Restitución Fotogramétrica deberá ser editada en archivos Autocad 2006 ó Autocad 2011 con extensión DWG, por cada modelo restituido.

### **2- Graficado de planos.**

Una vez editados los modelos, deberán ser graficados en papel bond para su revisión. posteriormente que se haya obtenido el Vo.Bo. serán graficados en película polyester y grabados en un CD que será entregado a la SCT.

## **2.-FOTOGRAFÍA AÉREA.**

La fotografía aérea forma parte de la Fotogrametría que es la Ciencia que por medio de la cual es posible conocer métricamente la forma, dimensiones y ubicación de los objetos fotografiados.

La fotogrametría empezó a desarrollarse alrededor de 1850 (Laussedat) cuando se utilizó por primera vez para fines de medición, en un principio la mayor parte del trabajo correspondió a la fotogrametría terrestre, sin embargo de 1858, en que se obtuvieron las primeras fotografías desde el aire, esta se desarrolla rápidamente.

La fotogrametría requieren de la participación de otras materias como la Química, Óptica, Mecánica, Geodesia, Cartografía, Aeronáutica, etc. Un sinnúmero de disciplinas que quizá le brindan ese aspecto tan interesante.

Algunas aplicaciones específicas de la fotografía aérea, además de la elaboración de planos topográficos, con fines cartográficos son los siguientes y de investigación:

- Proyectos de carreteras, vialidades y aeropuertos.
- Proyectos de distritos de riego.
- Proyectos de presas y control de ríos.
- Proyectos batimétricos y de zonas costeras.
- Proyectos de líneas de energía, ductos y derechos de vía.
- Proyectos de agua potable y alcantarillado.
- Proyectos de catastro rural y urbano.
- Proyectos de desarrollos turísticos.
- Proyectos mineros.

### **2.1 TIPOS DE FOTOGRAFÍAS.**

Las fotografías del terreno pueden ser tomadas con el eje óptico de los lentes vertical, inclinado y horizontal.

Esto clasifica a las fotografías como:

- a) Verticales
- b) Oblicuas

c) Horizontales o Terrestres

a) Fotografías Verticales.- Pertenecen a la fotografía aérea que son las que en el momento de su exposición se toma con el eje de la cámara sosteniendo hasta donde sea posible en posición vertical.

b) Fotografías Oblicuas.- Son las fotografías aéreas tomadas con el eje de la cámara intencionalmente inclinado con la vertical. Si el ángulo entre el eje de la cámara y la línea vertical es suficientemente grande para que la fotografía muestre el horizonte aparente, o sea la línea que nos marca el lugar donde la tierra y el cielo parecen juntarse, la foto se llama alta oblicua. Si no muestra el horizonte aparente se llama baja oblicua.

c) Fotografías horizontales.- Son tomadas en estaciones sobre el terreno con un Fototeodolito.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS CÁMARAS AÉREAS.**

Una cámara aérea es similar en principio a una ordinaria cámara de mano pensando en que trabaja totalmente automática y es adaptado un rollo de película especial. Hay muchas marcas, cada una de las cuales produce un rango de diferentes tipos. Las más comunes son la Wild de fabricación Suiza y la Zeiss de fabricación Alemana.

Los tipos de cámaras varían principalmente por su distancia focal y ángulo de cobertura del terreno; así tenemos desde, distancia focal de 30 a 40 cms. con ángulo menor de 45 hasta de 6 a 8 cms. de distancia focal con ángulo supergran angular de 120.

Las primeras son usadas para mapas planimétricos que requieren alta precisión, principalmente cuando se trata de Zonas urbanas.

Las segundas son adecuadas para mapas planimétricos de escalas chicas de zonas de terreno plano.

Los dos principales objetivos de la fotografía aérea son la fotogrametría y la fotointerpretación. Para la fotointerpretación, el principal requerimiento es una alta calidad del detalle de reproducción; la definición de la imagen y la resolución de la óptica son las principales exigencias. Una geometría exacta, esto es libre de distorsiones, es menos importante en la fotointerpretación. Para fotogrametría, sin embargo, la geometría es lo más importante como calidad de la imagen. Las cámaras aéreas **métricas** son por lo tanto las generalmente empleadas. El requerimiento de una geometría exacta fuerza al uso de un obturador central tanto que la orientación interna y externa sean válidas para la fotografía. Las fotografías tomadas con una cámara mediante un obturador focal plano que no tiene esta propiedad, no toman fotografías con cámaras de franja continua, en las cuales la película es movida por el paso de un

corte fijo. De manera similar, los escáneres, en los cuales los detalles de la superficie terrestre son registrados línea por línea perpendicular a la dirección de vuelo, primero en cinta magnética y posteriormente transferido a material fotográfico, no posee la propiedad requerida en la fotogrametría normal. Las cámaras **multiespectrales** poseen normalmente de cuatro a seis cámaras individuales, montadas juntas con ejes paralelos en un único ángulo, cada cámara está ajustada para un rango particular de longitud de onda.

El suceso más remarcable de la fotogrametría en los últimos años es debido en gran parte al progreso que se ha hecho en el desarrollo de la precisión de las cámaras. Quizás el desarrollo más reciente de las cámaras está en la construcción de lentes casi perfectas que resuelven los problemas del poder de resolución de las lentes y consiguen distorsiones casi despreciables.

Las cámaras aéreas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por el tipo: Enmarcada, panorámica, tira, multibanda.
- Por al campo angular: Angulo normal de 75°, gran-angular de 75° a 100°, super-gran-angular superior a 100°.
- Por la distancia focal: menor a 6 pulgadas, de 6 a 12 pulgadas, mayor a 12 pulgadas.
- Por el uso: Cartografía, reconocimiento.
- .-Por uso de sensores, cámara digital.

### 2.2.1 ANALÓGICA BLANCO Y NEGRO

Se muestra una foto de una cámara analógica blanco y negro (PTW20 LEICA)



### 2.2.2 CÁMARAS DIGITALES.

Las cámaras fotográficas digitales han entrado con fuerza en los últimos años en todas las áreas donde fuera necesario el registro de imágenes (desde los hogares a la astronomía pasando por la fotogrametría). Se describen las características fundamentales de los sensores digitales comparándolos con los analógicos, destacando sus ventajas. Se abordan los dos tipos de cámaras, de línea y matriciales detallando sus componentes principales y realizando un estudio comparativo, para terminar haciendo un repaso a las aplicaciones de los sensores digitales y describiendo su posible utilización en el catastro urbano.

Sin duda alguna vivimos en la sociedad de la información, contar con cuanta más información se disponga, asegura buenos resultados en la gestión de cualquier empresa, ya sea comercial, industrial, etc.. y por tanto se cumple la máxima de que información es poder.

En múltiples campos es necesario saber dónde se producen determinados fenómenos, se necesita ubicarlos geográficamente, por tanto es fundamental contar con información geográfica georreferenciada. Esta se utiliza abundantemente en la ordenación del territorio para planificación territorial y urbanística, ingeniería civil, agronómica, forestal. También en servicios para la gestión de recursos (telefonía, electricidad, gas).

La fotografía aérea digital es de directa aplicación sobre todo en la cartografía topográfica y ortofotos, pero también, a veces de forma indirecta en la cartografía de consumo, como puede ser en *internet map servers* que suministran mapas en Internet, callejeros, rutas, parques naturales, así como en la elaboración de mapas para navegadores, atlas multimedia, telecomunicaciones y modelos de ciudades en 3d.

En el ámbito cartográfico, del mismo modo, elimina el paso necesario hasta ahora que era la transformación del formato analógico al digital (escaneo de negativos) para poder utilizar los modernos aparatos digitales de restitución. Este proceso ralentizaba el sistema de trabajo y era una fuente de pérdida de precisión. Por tanto ahora el proceso fotogramétrico es mucho más ágil ya que los soportes con toda la información salen del avión y entran sin paso intermedio en los sistemas de obtención de cartografía, cuando no se envían por medios telemáticos desde la aeronave a las oficinas técnicas para obtener rápidamente el producto cartográfico.

Definición de cámara digital.- Cámara fotográfica o de vídeo de estado sólido que suministran señales de salida digital. Es una cámara óptico-electrónica que convierte en su interior la señal analógica a digital. (J.L.Lerma 2000)

Las cámaras analógicas y digitales son muy diferentes entre si, pero tienen cuatro componentes básicos que las caracterizan y son la óptica, el sensor, el procesador y el soporte de salida. Las diferencias fundamentales están en el sensor y el procesador como vemos en la tabla 1.

Componentes	Cámaras analógicas	Cámaras digitales
<b>OPTICA</b>	Lentes y/o espejos	Lentes y/o espejos
<b>SENSOR</b>	Emulsión fotográfica	Detectores de estado sólido (CCD,CMOS..)
<b>PROCESADOR</b>	Químico(revelado, fijado, lavado secado).	Ordenador (cálculo matemático)
<b>SOPORTE</b>	Película	Disco óptico y/o magnético.

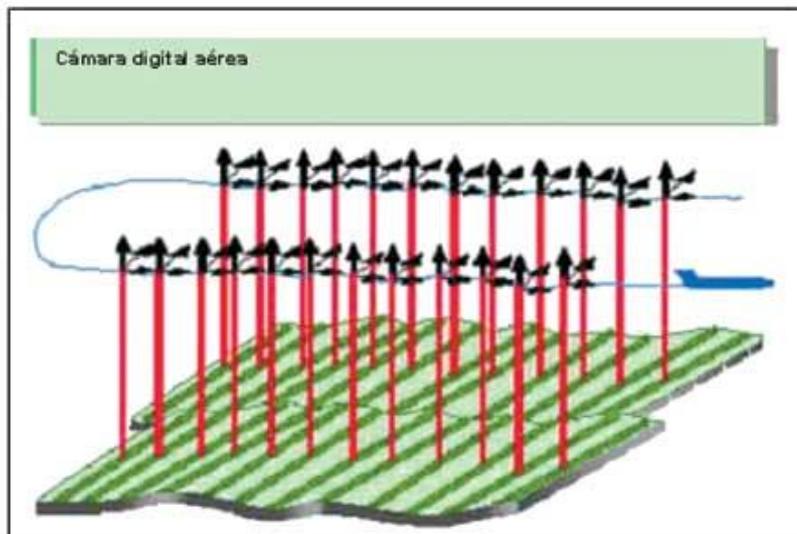
*Tabla 1*

Las cámaras aéreas digitales, han reemplazado ya a las cámaras aéreas de película tradicional debido fundamentalmente a las mejoras en calidad geométrica y radiométrica así como por la posibilidad de apreciar detalles (resolver) en zonas de sombras oscuras, para registrar simultáneamente pancromático, verdadero color y falso color infrarrojo o para incrementar el recubrimiento sin costes extras de película pero sobre todo por el ahorro del proceso de escaneo. Los hechos presentes hacen que la comunidad técnica esté convencida de que con tales cámaras se puede considerar una nueva estrategia como fuente de adquisición de imágenes.

La fotogrametría aérea ha usado desde siempre el 60% de recubrimiento longitudinal y el 20% de transversal (parte común entre dos pasadas o dos fotos consecutivas con el fin de obtener relieve) para la restitución (obtención de cartografía), producción de Modelos Digitales del Terreno y de ortofotos. Las cámaras digitales se pueden usar para superar esas convenciones estándar de forma que el grano de la película nunca más sea un problema, debido a la alta resolución radiométrica situada en 12 bits y nunca volverá a ser un problema que el número de imágenes sea el principal parámetro de un proyecto. Por tanto, el aumentar la redundancia y los recubrimientos aumenta el nivel de precisión.

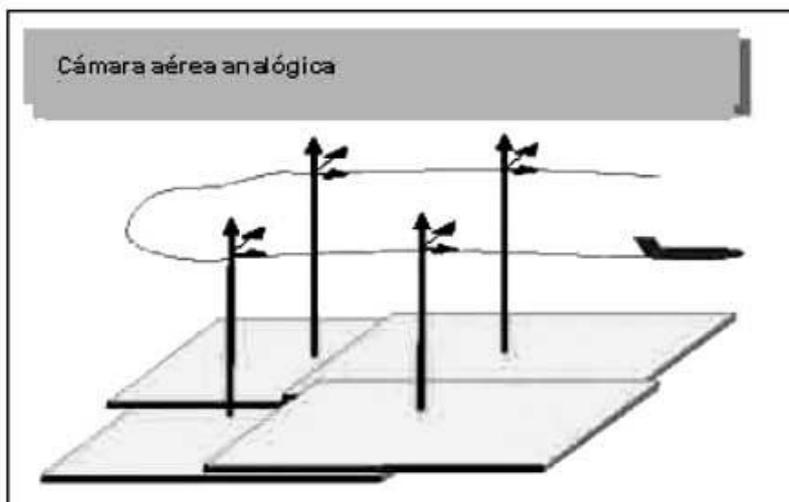
En el sistema digital, sólo es necesario volar una vez sobre la zona, ya que las imágenes se registran en los sensores de forma simultánea (Blanco y Negro, Color ó Infrarrojo). Se almacenan en forma digital en enormes Discos Duros y tras un breve postproceso se puede trabajar con ellas en una DPW (Digital Photogrammetric Workstation) de forma directa e imprimirlas si fuera necesario.

En este punto las imágenes se pueden emplear para alimentar un SIG, realizar ortofotos (tradicionales ó true-ortho si contamos con datos LIDAR), realizar clasificaciones, etc...



*Figura 5*

En cuanto a la orientación exterior – que es el sistema de georreferenciación del vuelo - en el caso de las cámaras digitales es continua, ya sea de barrido de línea o matricial, ya que los sistemas GPS/INS suministran coordenadas muy abundantes de la trayectoria (figura 5). El sistema GPS aporta coordenadas de ciertos puntos y el sistema IMU ofrece las coordenadas de los puntos interpoladas entre dos ofrecidas por el sistema GPS. Por el contrario en la figura 6 se aprecia que la cantidad de coordenadas es mucho menor y se refieren sólo a los puntos de toma de cada fotografía



*Figura 6*

## **A.- VENTAJAS DE LAS CÁMARAS DIGITALES**

### **a.- CALIDAD**

- 1.- Al tener mayor rango dinámico ofrece una elevada resolución radiométrica. puede diferenciar en las zonas de sombras.
- 2.- El sensor tiene una gran precisión geométrica y permite el control de calidad de las imágenes en vuelo.
- 3.- Mejora la relación señal/ruido.
- 3.- La geometría de la imagen digital es muy estable, no se deforma por ningún factor externo, por tanto tiene una gran precisión espacial.
- 4.- Al no existir procesos químicos de revelado, reproduce muy fielmente el color, no se degrada la calidad por el escaneo al no introducir esos ruidos por no existir ese proceso

### **b.- PRECISIÓN**

- 1.- Tamaños de píxel terreno pequeños (desde 5cm), con precisión menores que 0.1 píxel.
- 2.- Compensación FMC electrónica sin limitaciones mecánicas. Como vimos este dispositivo permite eliminar movimiento en las tomas, antes era mecánico, ahora electrónico.

3.- Mejor aptitud para procesos de correlación automática: 2.5 veces mejor que fotografía escaneado. La correlación es el sistema que permite identificar puntos homólogos y por tanto cuando esté perfeccionado restituir ciertos elementos sin intervención humana.

4.- Mejor visión en tres dimensiones en sistemas estereoscópicos.

5.- Conexión directa al receptor GPS mediante sistema de navegación "Trackair" junto con sistema inercial "Aplanix" que suministran X,Y,Z del punto de disparo así como los 3 giros para la orientación ( $\kappa$ ,  $\phi$  y  $\omega$ ).

#### **c.- VERSATILIDAD**

1.- Posibilidad de obtener múltiples productos en un mismo vuelo:

#### **d.- AHORRO DE TIEMPO**

1.- Al no necesitar procesos de revelado, fijado, secado y copiado, el tiempo de proceso es muy pequeño y el flujo de trabajo puede ser continuo. 2.- Rápida adquisición de imágenes de gran formato y visionado "on-line". 3.- Control de calidad en tiempo casi-real en vuelo. 5.- Las imágenes están disponibles en minutos.

#### **e.- COSTOS**

1.- Desaparecen los costos del material fotográfico (película+revelado) 2.- Eliminación de gastos por escaneo (paso de formato analógico a digital, ahora todo es digital) 3. Por el contrario los costos del sistema de adquisición de datos (cámara+software+periféricos) son mucho más altos, ya que aumenta el número de horas/día de vuelo.

## **B.- TIPOS DE CÁMARAS AÉREAS DIGITALES**

Las actuales cámaras aéreas digitales ofrecen dos diferentes soluciones, la matricial y la lineal, posteriormente se describen ambas.

a.-Las cámaras de línea barren el terreno de forma simultánea al avance del avión con 3 líneas pancromáticas. Tienen una única lente y un plano focal. Exponente de estas cámaras es la ADS-40 de Leica.

b.-Las cámaras matriciales toman imágenes al modo de las cámaras convencionales, tienen varios objetivos que disparan simultáneamente, unos en pancromático (rojo, verde y azul) y otros en infrarrojo. Cuentan con varios planos focales y funden las imágenes en una única.

### **2.3 NAVES AÉREAS.**

La misión aérea se efectúa en aviones que han sido adaptados para la toma de fotografía aérea. Pueden ser mono o bimotores de ala alta. (que proporcionan mayor estabilidad a la nave), o también de ala baja. Entre los mas conocidos y usados están los Cessna Piper y Riley estos de fabricación americana, La velocidad de crucero es entre 200 y 400 Km / hora: y su techo de servicio de 30. 000 pies. No se puede dejar de mencionar también el uso comercial de jets para fotografía aérea como el Lear Jet 24D con techo de servicio de 50 000 pies y velocidad de crucero de 700 a 900 *Km / hora*.



#### **2.4. PLAN DE VUELO.**

La planeación de un vuelo fotográfico se efectúa de tal forma que las líneas de vuelo y los traslapes longitudinales entre fotografías (60%) y laterales (30%) permitan formar los modelos estereoscópicos. Las alturas de vuelo son proyectadas de acuerdo con una sencilla fórmula  $H = Exf$ ; donde  $E$ =escala de fotografía y  $f$ =distancia focal de la cámara usada.

La navegación se efectúa con la ayuda de un telescopio de navegación con dos personas como tripulación: Piloto y Camarógrafo- Navegante

Con el avance de la tecnología, hoy en día la aeronavegación se puede realizar de manera automática con equipo especial auxiliado con GPS.

La importancia de la fotografía aérea se ha demostrado por su gran ventaja de aplicaciones en proyectos topográficos para diferentes estudios, además es mas rápida, abarca grandes dimensiones y sus precisiones son muy satisfactorias.

La toma de la fotografía aérea se realiza por líneas de vuelo en una dirección fija, cuando se trata de caminos, líneas de conducción o energía eléctrica; o también en líneas de vuelo paralelas entre si para áreas de uso agrícola, minera, urbanas, etc. el traslape longitudinal de fotografía a fotografía es del 60% para que haya estereoscopia y en el caso cuando es un bloque de fotografías, el traslape entre línea y línea es del 30%.

Es importante resaltar desde un principio que la planificación y ejecución del vuelo, es de tal importancia, que es inútil pretender un buen resultado con un vuelo, defectuoso.



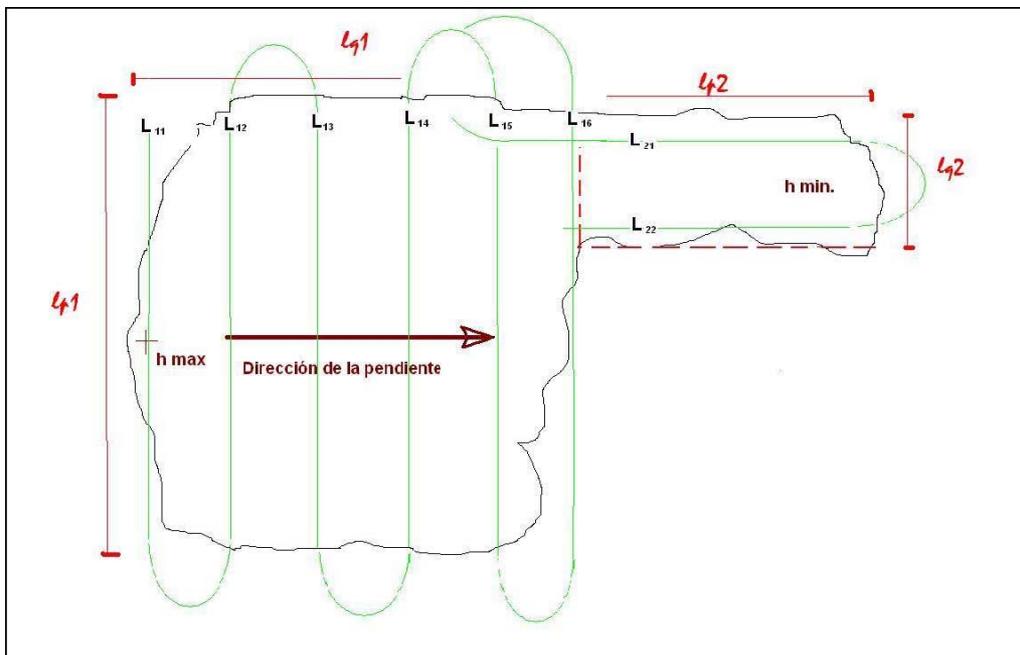
En todo proyecto de vuelo hay que considerar una serie de aspectos no sólo geométricos, sino también relativos a las características fotográficas.

El objetivo de un proyecto fotogramétrico generalmente es el confeccionar un plano como proyección ortogonal de un área de gran dimensión, no existe un limite cuantitativo para discriminar cuando esta área es o no de gran dimensión, solo las consideraciones generales que da el tener en cuenta los siguientes factores para enfrentar el proyecto: Urgencia de la información, Limitaciones presupuestarias, Nivel de actualización de la información, Escala de resolución cartográfica del plano y Precisión de la información requerida. Tomar

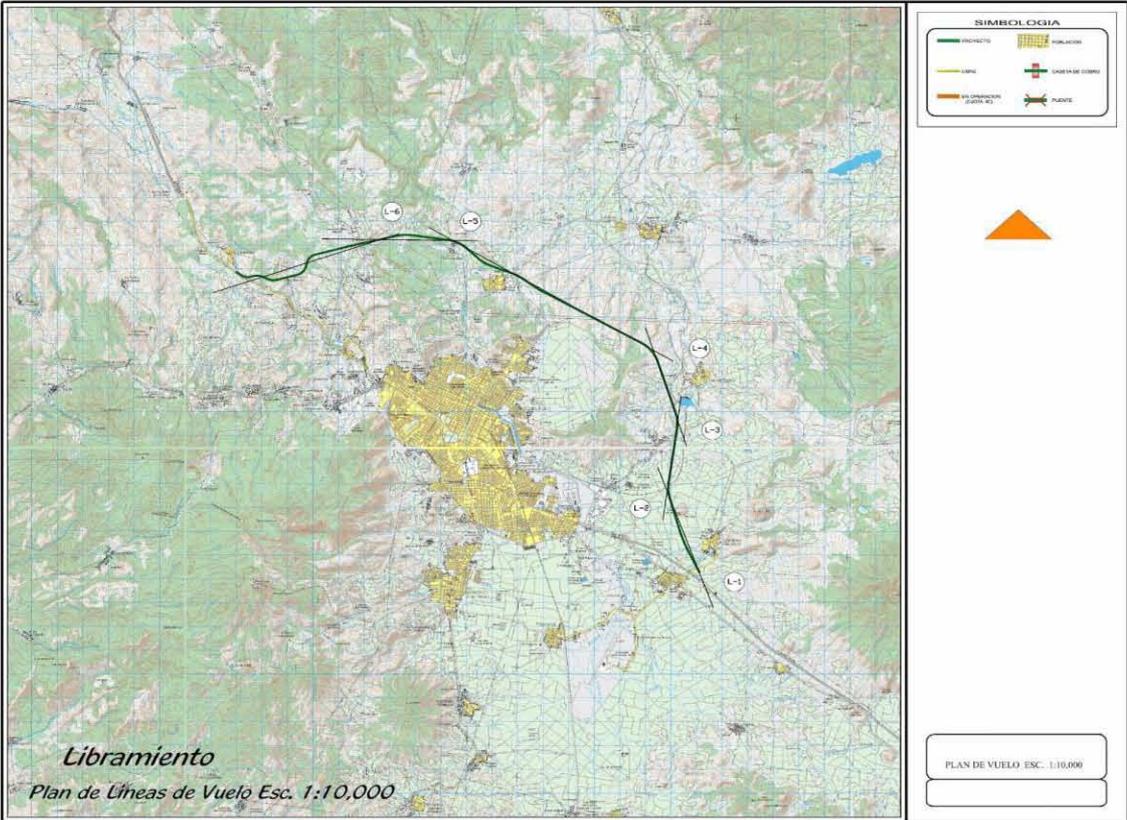
en cuenta todas y/o cada una de ellas para hacer un modelo de planificación de un proyecto se hace poco práctico, es por ello que se plantearán relaciones que sean aplicables a cualquier caso y solución.

Bajo el supuesto de que en el sector de estudio no existe ninguna información más que la carta nacional 1/50,000, por lo tanto se hace la imperiosa necesidad de hacer un vuelo fotogramétrico para obtener las fotografías. La primera condición es saber que área esta involucrada en el proyecto, su forma o silueta de contorno, su topografía, su ubicación geográfica e infraestructura disponible para hacer el proyecto (Instrumentos Semianálogos o Sistemas Digitales), con esta información podemos determinar los siguientes parámetros:

Una vez determinados los Parámetros del vuelo se deben graficar sobre un plano que al menos indique el contorno del terreno en estudio, asimilándola a una figura geométrica rectangular y si esta es muy irregular deben configurarse varias figuras que se trataran como proyectos separados para el efecto del cálculo, por último la tendencia debe es que cada línea de vuelo sea perpendicular a la pendiente salvo consideraciones que ameriten otra situación y que no alteren la escala original planificada (ver Figura siguiente).



Ejemplo de un plan de vuelo para carreteras esc. 1:10,000, en un larguillo hecho de cartas de INEGI.







Coordenadas de inicio y final de las líneas de vuelo.

## COORDENADAS DE LINEAS DE VUELO ESC. 1:10 K

### *LINEA 1*

INICIO X=537998.0352 Y=1850023.0847

FINAL X=549336.4477 Y=1839891.0746

### *LINEA 2*

INICIO X=548644.5918 Y=1840912.2427

FINAL X=553199.5733 Y=1831676.8199

### *LINEA 3*

INICIO X=537998.0352 Y=1850023.0847

FINAL X=549336.4477 Y=1839891.0746

### *LINEA 4*

INICIO X=548644.5918 Y=1840912.2427

FINAL X=553199.5733 Y=1831676.8199

### *LINEA 5*

INICIO X=537998.0352 Y=1850023.0847

FINAL X=549336.4477 Y=1839891.0746

### *LINEA 6*

INICIO X=548644.5918 Y=1840912.2427

FINAL X=553199.5733 Y=1831676.8199

## 2.5. OTRAS CONSIDERACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DE VUELO

### 1. CLIMA

El clima es factor importante en la planeación ya que se debe estar consultando constantemente por internet para que se pueda realizar el vuelo.



### 2. NITIDEZ

Para que la nitidez sea adecuada, el desplazamiento de imagen o corrimiento no debe ser superior a 0,05 mm.

Este dato fija el tiempo de obturación o exposición de la película, en función de la velocidad del avión o viceversa.

### 3. TRASLADOS

Corresponde a ida y vuelta del avión al lugar donde se debe hacer el vuelo, tiempo que debe agregarse al tiempo de demora en las pasadas de las líneas de vuelo.

#### 4. PRESUPUESTO APROXIMADO

Sabiendo la duración del vuelo, y por lo tanto el gasto de avión, así como el número de fotografías, podremos efectuar un presupuesto ajustado del vuelo, ya que los precios de revelado y material fotográfico serán conocidos.

Los organismos de la administración que usualmente necesitan cartografía para el desarrollo de los trabajos de su competencia, tienen normado los modelos de sus planos para contratar trabajos fotogramétricos. En ellas están contenidas las exigencias, no sólo de ejecución del vuelo, sino también de su restitución

Además de la documentación prevista en los Contratos estas normativas deben estar incluidas en las especificaciones técnicas de que el licitante dispone para la realización del trabajo, acompañada de la documentación acreditativa de la propiedad y estado de estos medios.

##### 1. ZONAS Y SUPERFICIE

Las áreas a fotografiar serán delimitadas en el Mapa Topográfico nacional a escala 1:50.000, 1:200.000, 1:25000 u otro de parecidas características, donde se plasmará el área objeto del trabajo.

##### 2. DE LA FOTOGRAFÍA

###### - Escala aproximada.

En ningún caso la escala aproximada de las fotografías que se obtengan será inferior al diez por ciento (10%) de la escala especificada para el trabajo concreto.

###### - Verticalidad.

La distancia nadiral de cada fotografía será inferior a  $\pm 2$

###### - Formato e información complementaria.

El formato de las fotografías será de 23 x 23 cm.

Cada fotografía, además de tener claramente señalados todos los puntos y marcas de referencia marginales, incluirá, en uno de sus bordes, la siguiente información:

- referencia del trabajo
- número del fotografía
- día y hora en que tomó la fotografía
- altura de vuelo
- distancia nadiral aproximada
- número de fabricación de la cámara
- distancia focal de la cámara

## 2.6. CÁMARA Y EQUIPO ASOCIADO

### 1. CONDICIONES DEL AVIÓN FOTOGRAMÉTRICO

El avión a utilizar estará equipado y acondicionado para la ejecución de los trabajos encomendados.

Las vibraciones de los motores, convenientemente sincronizados, serán mínimas y los tubos de escape estarán dispuestos de manera que no empañen la óptica de la cámara, el desplazamiento del avión debe ser estable con la finalidad que se minimicen los movimientos del avión en el instante de toma.

### 2. CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA

Las fotografías se obtendrán mediante una cámara fotogramétrica calibrada, cuyas condiciones generales de una cámara métrica que debe estar explicitada en el respectivo certificado de calibración de la misma emitido por una organización debidamente acreditada.

La cámara métrica usada habrá sido calibrada sin ningún filtro, y certificado su buen uso por el fabricante u otro centro autorizado por él. Este certificado (que es uno de los documentos que el adjudicatario ha de proporcionar), será considerado como válido durante un periodo de dieciocho meses.

El certificado de calibración contendrá los siguientes datos:

- el nombre del centro de calibración y la fecha de esta operación
- el número de fábrica del objetivo
- la distancia focal calibrada
- la distorsión radial en micras ( $\mu$ ) referida al eje óptico de simetría
- las longitudes de los lados y diagonales del cuadrilátero limitado por las marcas fiduciales. expresado en Coordenadas.

### 3. CALIDAD DEL OBJETIVO

La máxima distorsión lineal en el negativo será de  $\pm 0,002$  milímetros. El poder resolutivo del objetivo será, como mínimo, de 50 líneas por milímetro en el centro del fotografía y un valor especificado, en sus bordes.

La pérdida de luminosidad en el plano de la imagen, medida por la pérdida de los bordes respecto de la del centro, será inferior al 20%. Para emulsiones infrarrojo y color, los objetivos serán del tipo Universal (Normal, Gran Angular, Super gran angular).

#### 4. OBTURADOR

El obturador de la cámara permitirá, como mínimo, un tiempo de exposición adecuado para el trabajo coneciente con la sensibilidad de la película y la resolución que de ella se espera.

#### 5. CORRECCIÓN DE LA DERIVA

La cámara irá provista de los mecanismos necesarios para la corrección continua de la deriva.

#### 6. FILTROS

Solamente se podrán utilizar filtros construidos por la casa fabricante de la cámara.

#### 7. VENTANAS PARA LA CÁMARA

Si las condiciones del vuelo exigieran el uso de ventanas practicadas en el fuselaje del avión, deberán haber sido comprobadas anteriormente a la toma de vistas, para asegurar que no afectan al poder separador y distorsión de la cámara y que su material es homogéneo y esta libre de irregularidades.

El montaje de la ventana se hará con material amortiguador de vibraciones.

### **2.7. MAS CONSIDERACIONES PARA LA COBERTURA FOTOGRÁFICA Y VUELO**

Las áreas a fotografiar serán cubiertas por una o varias pasadas paralelas, entendiendo por tales, aquellas cuyos ejes presenten desviaciones relativas inferiores a  $\pm 5$  g.

Cada una de dichas pasadas fotográficas estará compuesta única y exclusivamente de tramos rectos, en los cuales se verificará que el ángulo en el punto principal de cada fotografía subtendido entre los homólogos de los puntos principales de las fotografías de los puntos precedente y siguiente. Las líneas de vuelo se proyectarán de forma

que quede asegurada la cobertura estereoscópica del total de la zona objeto del contrato. Todas las pasadas fotográficas corresponderán a vuelos ininterrumpidos.

Los recubrimientos longitudinales entre fotografías sucesivos en cada banda estarán comprendidos entre el 55% y el 65% del formato.

Los recubrimientos transversales entre bandas sucesivas estarán comprendidos entre el 20% y el 25%.

No serán aceptados un tanto por ciento especificado por la Administración, de las fotografías con recubrimiento longitudinal fuera de tolerancia. El recubrimiento transversal se considera insuficiente si es inferior a un porcentaje determinado del tamaño de la fotografía, debidamente explicitado en el contrato.

Cuando las altitudes del terreno dentro de los recubrimientos presenten variaciones mayores del 10% de la altura del vuelo se permitirán discrepancias razonables en los recubrimientos especificados, cuidando siempre que el longitudinal no baje del 55% y los laterales no bajen del 10% ni excedan del 40%. En este caso, el proyecto de vuelo será previamente analizado y comprobado por el organismo competente de la administración.

Cuando una banda cruce una línea de costa (o zona cubierta por agua de extensión muy importante respecto al formato) perpendicular u oblicuamente a ella, el recubrimiento longitudinal debe incrementarse al máximo posible que permitirán las características de la cámara.

Las bandas de trazado aproximadamente paralelo a una línea de costa, deben desplazarse a otra posición que reduzca la superficie cubierta por el agua al 10% de la anchura de la banda. En este caso, el recubrimiento transversal con la banda contigua podrá ser mayor del expresado anteriormente.

## 1. CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Los vuelos deberán realizarse cuando el cielo esté despejado y puedan obtenerse imágenes bien definidas.

Solamente se tomarán fotografías durante la parte del día en que el ángulo solar sea inferior a 60° medidos a partir del mediodía solar verdadero, o superior a 30° de altitud respecto al horizonte, siendo la época del año adecuada.

No se obtendrán fotografías cuando el terreno aparezca oscurecido por niebla, bruma, humo o polvo, o cuando las nubes o sus sombras puedan ocupar el 5% de la superficie de la fotografía.

## 2. VELOCIDAD DEL VUELO Y DERIVA

La velocidad del avión deberá ser tal que, combinada con el tiempo de exposición, asegure un error de arrastre en la imagen, inferior a 0,05 milímetros.

La máxima deriva aceptable será inferior a  $\pm 3^\circ$  se rechazaran las tiras de negativos en las que la deriva media exceda este valor en la fotografía.

## 3. ALTURA DEL VUELO

Las alturas de vuelo serán las adecuadas deducidas de la escala de imagen de la distancia focal de la cámara empleada.

## 4. INTERRUPCIÓN DE PASADAS

En los casos que excepcionalmente haya sido necesario interrumpir una pasada, la conexión longitudinal entre los dos tramos de la misma, deberá hacerse de manera que se superponga dos pares estereoscópicos de cada uno.

## 5. CONDICIONES FOTOGRÁFICAS E INFORME DEL VUELO

Ningún negativo tendrá su punto principal ni las imágenes de este mismo punto pertenecientes a fotos adyacentes cubiertos por nubes, sombras de nubes o humos. No se admitirá ningún negativo que tenga más de un 5% de superficie cubierta por nubes, sombras de nubes o humos. En todo caso, la totalidad del terreno deberá aparecer claramente al menos en un par estereoscópico.

El consultor presentará un informe completo de los vuelos realizados, en el que, además de las observaciones que estime pertinentes incluir, se reseñarán los siguientes extremos:

- Datos de calibración del altímetro.
- Condiciones meteorológicas.
- Fecha de los vuelos.
- Situación de los vuelos.
- Altura de vuelo.

- Horas de comienzo y término de la toma de fotografías.
- Modelo y referencia de las cámaras empleadas.
- Formato y número de las fotografías obtenidos

## **2.8. MATERIAL FOTOGRÁFICO**

### **1. PELICULA**

El soporte de la emulsión será del tipo poliéster o celuloide (Copia Diascópica) y poseerá una gran estabilidad dimensional.

El espesor del soporte no será menor de 0,1 mm. y su estabilidad dimensional tal que las distancias entre marcas fiduciales no difieran en más del 0,3 % de las proporcionadas por el certificado de calibración.

La emulsión de la película será de grano fino. Su graduación, contrastada sin ser dura. Su poder de resolución será como mínimo, de 50 líneas por milímetro, para emulsiones en blanco y negro y de 60 líneas por milímetro para emulsiones en color.

Ningún negativo tendrá manchas, decoloraciones o partes quebradizas atribuibles a envejecimiento; tampoco habrá marcas de ningún tipo, arañazos, perforaciones, rayas etc.

La película proporcionará imágenes de 23 \* 23 cm. por cada exposición, con un reborde de 6 milímetros a cada lado de la zona ocupada por la imagen.

### **2. REVELADO, PROCESADO Y SECADO**

El revelado, fijación, lavado y secado de la película expuesta, se realizará de forma que los negativos obtenidos estén exentos de manchas, huellas digitales o cualquier otro defecto, ofreciendo tonos de color uniforme con densidad aproximada de uno.

La película, en principio, se revelará de la forma y con el tipo de revelado que aconsejen sus fabricantes, adjuntándose la temperatura de secado y haciendo expresa referencia de ella en el informe pertinente.

### **3. ROTULACIÓN DE LOS NEGATIVOS**

Cada negativo se rotulará claramente, con caracteres de 5 mm. de altura aproximadamente, señalando el número de rollo de la película y

el que corresponde al negativo, comenzando con la primera exposición y continuando, en serie ininterrumpida, hasta la última.

La numeración figurará en la parte superior de cada negativo, a la derecha para las líneas de vuelo Norte-Sur, y a la izquierda, para las líneas Este-Oeste.

## **2.9. CONDICIONES DE LAS COPIAS FOTOGRÁFICAS**

### **1. ESPECIFICACIONES GENERALES**

Las copias fotográficas se obtendrán de los correspondientes negativos por contacto.

El proceso empleado en su consecución dará como resultado copias de densidad uniforme y de tal tono de color y grado de contraste que se muestren claramente todos los detalles de los negativos.

Todas las copias serán claras y limpias y estarán exentas de manchas, defectos, ralladuras, arrugas o cualquier otro defecto que pueda disminuir su utilización.

### **2. COPIAS SOBRE PAPEL FOTOGRÁFICO**

Las copias sobre papel fotográfico (Copia epidascópica) tendrán como soporte papel semimate, de peso doble y grano fino, cuya contrastación diferencial será inferior al 2%.

### **3. CONDICIONES DE LOS ÍNDICES FOTOGRÁFICO**

Los índices se confeccionarán en papel reproducible indeformable, a igual formato que las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, u otra que represente una visión esquemática de la red de fotos de proyecto.

En dichos índices deberán aparecer los puntos principales de cada fotografía, en la representación de aquellos cuya situación coincida con múltiplo de 10, se marcará el primero que corresponda a su negativo. Análogamente, en la representación de las fotografías que definan el principio y final de cada línea de vuelo, se señalarán el número de rollo de la película y el del negativo correspondiente.

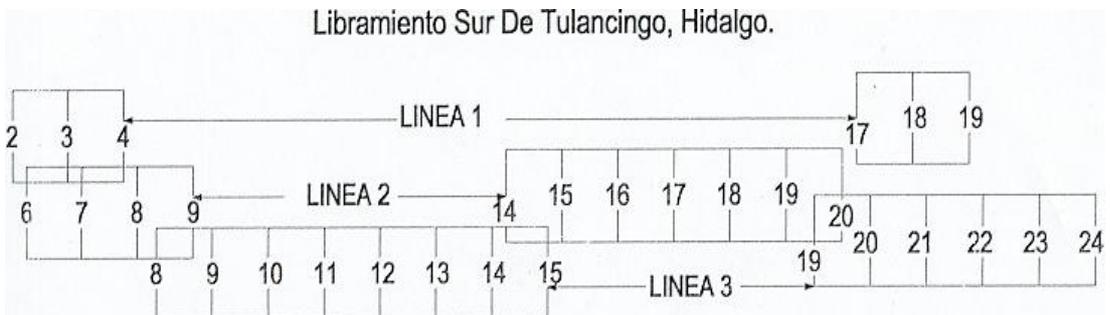
Los índices incluirán, asimismo, la designación del proyecto, la escala, la altura media de vuelo y la situación del Norte geográfico.

La situación de los puntos principales reseñados no presentarán desplazamientos en el mapa, superiores a 1 mm., marcándose éstos por medio de una cruz cuyo centro corresponda con el punto principal.

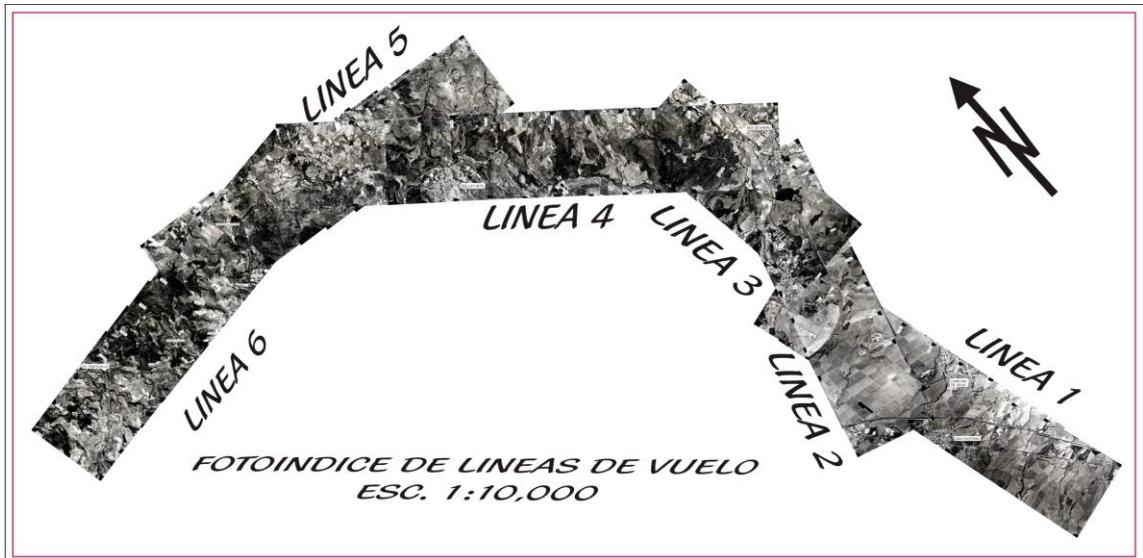
Las líneas de vuelo serán tan largas como sean las distancias de terreno a fotografiar, para un bloque serán tantas líneas paralelas entre si según sea el ancho del área de estudio, cuyos elementos dependen de la altura de vuelo debido a que a mayor altura mayor captación fotográfica y viceversa.

En el proyecto que nos ocupa, la fotografía aérea fue tomada por el equipo de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, que cuenta con un avión aerocomanderturbo 640F y una cámara aérea wild RC20. el área de estudio fue cubierto con tres líneas de vuelo escala 1:10,000 de acuerdo a la siguiente relación:

Línea	Fotos
1	2,3,4,17,18 y 19
2	6,7,8,9,14,15,16,17,18,19, y 20
3	8,9,10,11,12,13,14,15,19,20,21,22,23, y 24



Las fotografías aéreas fueron proporcionadas con el eje del proyecto marcado, para hacer el levantamiento de las poligonales de referencia y la restitución fotogramétrica de una franja de 600 metros de ancho (300 mts a cada lado del eje), por 18 Km de longitud.



Se muestra un ejemplo de un fotoíndice esc. 10,000

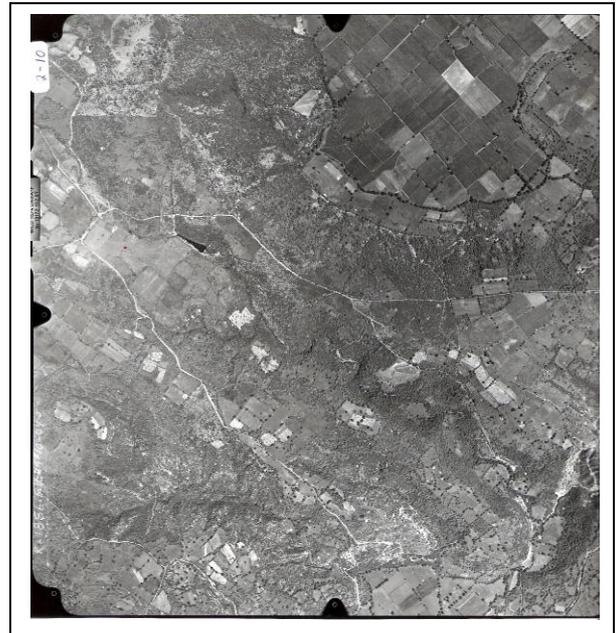
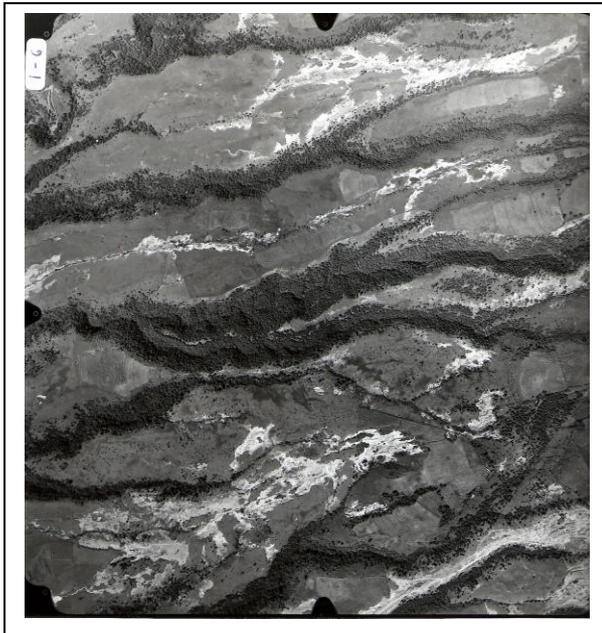
## 2.10. CALIDAD DE LA IMAGEN.

Todas las lentes de las cámaras están diseñadas para unas determinadas tareas según los criterios de calidad. La mayoría de las actuales cámaras de 35 mm. son competitivas en precios y calidad, respecto a la calidad estas cámaras pueden conseguir resoluciones de 300 líneas por milímetro, por ejemplo el objetivo de una cámara aérea consigue resoluciones de 80 líneas por milímetro. Esta diferencia es principalmente causada por la diferencia entre una lente de focal 50 mm. y formato de película de 24 x 36 mm. y la lente de cámara aérea con una distancia focal de 150 mm. y película de 230 x 230 mm.. Otra diferencia fundamental entre cámaras de 35 mm. y las aéreas es que esta última debe tener grandes precisiones métricas, de forma que las relaciones entre las diferentes partes de la imagen deben ser precisas y la imagen libre de distorsiones. Por ello se emiten certificados de calibración, y una precisión métrica normal está alrededor de las 3

micras de distorsión desde las posiciones verdaderas a través de todo el formato.

Hay diferentes valores o características que muestran la calidad de una imagen o fotografía.

### Ejemplos de fotografía aérea esc. 1:25,000 y 1:10,000



### 3.- CONTROL TERRESTRE.

Antes de la adaptación de la fotografía aérea a los levantamientos topográficos y geodésicos, todos los planos y mapas eran producto del trabajo recorrido de reconocimiento, mediciones y observaciones hechas directamente en campo, el trabajo de oficina consistía en cálculo y dibujo.

Cuando se utilizó la fotografía aérea para fines de levantamientos topográficos, el ingeniero de campo tuvo una gran herramienta ya que por medio de estereoscopia pudo hacer el reconocimiento de grandes áreas sin moverse de su oficina pudiendo inspeccionar el terreno en sus partes muy accidentadas e inaccesibles.

De la inspección estereoscópica el ingeniero escoge el método y equipo que más se adapte a las necesidades del terreno y suministra por medición en campo el control básico horizontal y vertical necesario para determinar la escala, el azimut y el dato de origen del levantamiento.

El ingeniero de campo también suministra la información que no puede ser obtenida en gabinete como la clasificación de caminos, edificios públicos, accidentes del terreno ocultos entre árboles o sombras, nomenclatura, etc.

Los proyectos viales que implican trabajos fotogramétricos, generalmente requieren de fajas de terreno relativamente angostas, que se cubren con una sola línea de vuelo a una altura conveniente. *El Control Terrestre* se proyecta para dar apoyo suficiente a pares estereoscópicos o modelos "toponimia".

La experiencia ha enseñado a reducir costos y agilizar los proyectos, así por ejemplo en la década de los 60, se hacía en campo Control Terrestre para fotos Esc. 1:25,000 y con ellas se restituía Esc. 1:5,000/5 (planos fotogramétricos Esc 1: 5,000 con curvas de nivel a cada 5 m), para la primera etapa del proyecto ó selección de ruta, para la segunda y tercera etapa, se hacía Control para fotos Esc. 1:5,000, en lo que fue el método Fotogramétrico-Electrónico.

En la actualidad, derivado de la experiencia, la selección de ruta, se obtiene del análisis, técnico-objetivo sobre la cartografía de la zona, Esc 1:50,000 que produce el INEGI, en donde al determinar la línea de anteproyecto más probable, ésta se vuela a Esc. 1: 10,000 y se restituye a Esc. 1:2,000/2.

Para definir el eje del proyecto, ahora se vuela a Esc. 1:10,000 para obtener planos fotogramétricos a Esc, 1:2,000/2 que rigurosamente requiere de un "Control Terrestre".

### 3.1 EQUIPO REQUERIDO PARA EL APOYO TERRESTRE.

Para obtener el trabajo planimétrico de este proyecto fue necesario utilizar equipo electrónico, éste equipo nos ayudó en gran manera a poder realizar el trabajo de apoyo terrestre.

El equipo con el que desarrollamos el trabajo fue el siguiente:

- Teodolito electrónico T1600
- Distanciómetro DI 1600
- Módulo REC
- Baterías
- Prismas
- Bastones
- Tripiés
- Bases nivelantes
- Bípodes
- Flexómetros
- Libretas de Tránsito
- Materiales de apoyo (Pintura en aerosol, Clavos para concreto, Marro, Machete, etc.).

T1600 (Fig II.1) es un teodolito electrónico de alta precisión. El anteojo que posee es coaxial, por lo que una sola puntería es suficiente para la medición de ángulo al segundo. El distanciómetro en condiciones atmosféricas medias y utilizando 11 prismas tiene un alcance de 4 Km. La precisión en una medida de distancia es  $3\text{mm} + 2\text{ppm}$ .



Fig II.1 Teodolito Electrónico T1600

Cuenta con un teclado (figura II.2) codificado en color con bloque de entrada numérico, posibilidad de entrada alfanumérica y programas de cálculo integrados, una pantalla para arrojar los datos medidos que en este caso son ángulos horizontal y vertical, las distancias medidas con el distanciómetro cuando se cuenta con él, así como los comandos integrados que sirven para tener diferentes opciones de medición y configuración el equipo.



Fig II.2 Teclado del Teodolito T1600

Antes de comenzar a describir cómo se debe configurar el equipo y cómo se utilizan todos los comandos y la finalidad de cada uno de ellos, es necesario mencionar que el teodolito trabaja mediante energía proporcionada por baterías, cuyas características son las siguientes:

- ◆ Una batería de Niquel-Cadmio GEB77.
- ◆ Dos baterías externas GEB70 y GEB71.

Si el teodolito está conectado a una de estas baterías externas, la batería de Niquel-Cadmio se desconecta automáticamente y no es posible que se cargue ésta con la batería externa. Para el funcionamiento con el teodolito, unidad de registro y el distanciómetro se necesita corriente continua de 12 volts.

Existen tres tipos baterías disponibles. También puede realizarse la conexión a cualquier fuente de corriente continua de 12 volts. Se puede suministrar un cable de conexión para batería de automóvil de 12 volts.

Los datos de duración que a continuación se presentan se refieren a baterías nuevas y a temperaturas ambiente de +20° C. Si se trata de baterías antiguas o si las temperaturas son más bajas la duración es menor.

#### Duración de las Baterías.

Módulo de Batería GEB77	Batería GEB70	Batería GEB71
Aprox. 9 horas	Aprox. 35 horas	Aprox. 120 horas

Distanciómetro DI 1600 (Fig II.3) .

Dentro del equipo electrónico empleado en el apoyo horizontal, este teodolito trabaja simultáneamente con el distanciómetro DI 1600 el cual se puede utilizar para levantamientos topográficos y geodésicos.

Este dispositivo (distanciómetro DI 1600) determina la distancia mediante la medición indirecta del tiempo que le toma a la energía electromagnética de velocidad conocida, viajar de un extremo a otro de la línea y regresar. El esquema de medición indirecta del tiempo consiste en determinar cuántos ciclos de energía electromagnética son necesarios para recorrer el doble de la distancia a medir.

La frecuencia (tiempo necesario por ciclo) es controlada por el distanciómetro y de esta forma el tiempo total de recorrido es conocido. Al multiplicar el tiempo total por la velocidad y al dividir el resultado por 2, se obtiene la distancia requerida.

Este distanciómetro cuenta con un contrapeso que le permite permanecer equilibrado en cualquier posición. También cuenta con un teclado para poder operarlo y realizar los ajustes necesarios para obtener las distancias correctas.

En condiciones atmosféricas medias y utilizando 11 prismas se tiene un alcance de 4 km. La precisión en una medición es de  $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Este distanciómetro puede arrojar resultados muy exactos, con una resolución entre 1 y 6 partes por millón (error relativo). Así, por ejemplo, un error de 5 partes por millón representa 5 mm de error por cada kilómetro medido.



Fig II.3 Distanciómetro DI 1600

### 3.2 APOYO FOTOGRAMÉTRICO.

En palabras sencillas, el Control Terrestre, es necesario para dar escala y orientación a los pares de fotografías que forman el modelo estereoscópico y así obtener planos fotogramétricos a una escala conveniente.

El modelo así formado, guarda semejanza con la realidad, pero se desconoce el factor de semejanza (Escala) y la orientación espacial (Nivelado o referido al plano de comparación).

El modelo puede ser escalado y nivelado, si se conoce la distancia real entre puntos del modelo y su elevación. Determinar los parámetros de estas relaciones, dimensional y rotacional, es lo que comúnmente se conoce como control terrestre,



El control terrestre para proyecto de carreteras tiene características especiales, que obedecen a la metodología establecida y su relación con la construcción, su uso es múltiple, sirve para "dimensionar" el modelo estereoscópico, en primera instancia, para replantear el eje del proyecto en campo, para conservar sus dimensiones durante la construcción y comprobaciones posteriores a ella.

De acuerdo con la metodología que la Dirección de proyecto de la SCT ha establecido, el Control Terrestre para modelos independientes, y escala 1:10,000, tiene las siguientes características:

### 3.3 METODOLOGÍA DEL APOYO TERRESTRE.

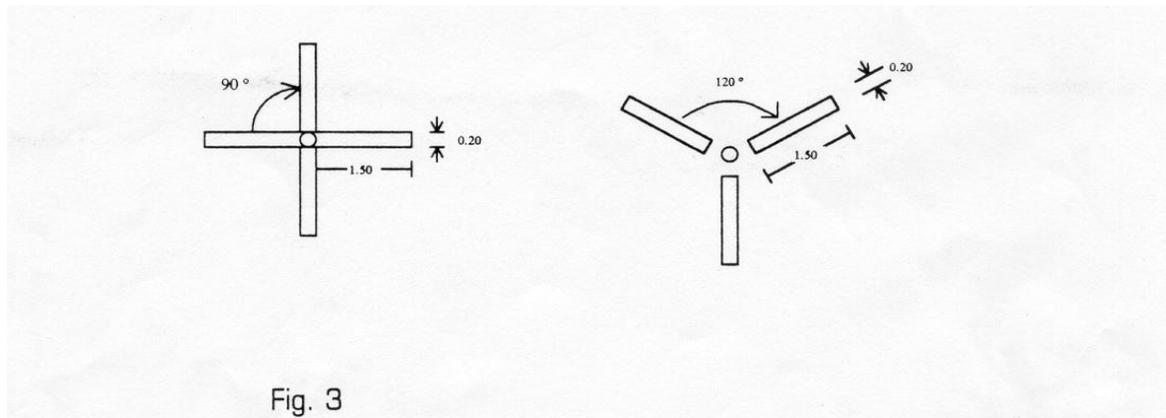
#### 1 PRESEÑALAMIENTO

*El preseñalamiento consiste en la ubicación, amojonamiento y señalización de puntos de la poligonal de referencia y de los puntos de control lateral. Los primeros 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 segundos 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 no queden cubiertos por árboles o sombras.*

*La señalización consiste en la construcción de una cruz de cuatro brazos en los vértices de la poligonal y de tres brazos (pata de gallo) en los puntos de control lateral. Cada brazo deberá medir 1.50 m de largo por 0.20 m de ancho y son formados con materiales de la región como piedras, troncos, pencas de maguey, nopales, etc. que son resaltados con pintura vinílica o mezcla de cal con suficiente sal para que la lluvia no lave la pintura, se deberá tener cuidado que al pintar estas señales haya contraste bien definido entre el terreno circundante para que se distinga la señal en las fotografías aéreas.*

En las zonas donde no hay detalles que faciliten la identificación aceptable de los puntos de control, se hace el PRESEÑALAMIENTO antes del vuelo. Para distinguir los vértices de la poligonal de referencia, de los puntos del control lateral, se numeran de 1 a 499 los vértices de la poligonal y de 501 en adelante los de control lateral.

Como se muestra a continuación:



## 2 MONUMENTACIÓN.

*En los vértices de la poligonal se construyen en el sitio mojoneras de 30 cm de profundidad, como mínimo y 20 cm de diámetro superior, colocando un tornillo de cruz de tres 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 será identificado por su 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, los puntos del apoyo lateral, se marcaran en color azul con un círculo no mayor a 5 mm.*

*Una vez terminado el preseñalamiento se obliga a informar oportunamente a la SCT para que ésta realice el vuelo fotográfico Esc. 1:10,000.*

A continuación se ilustra mas detalladamente y con ilustraciones lo que es el preseñalamiento y la documentación. También algunas sugerencias importantes.

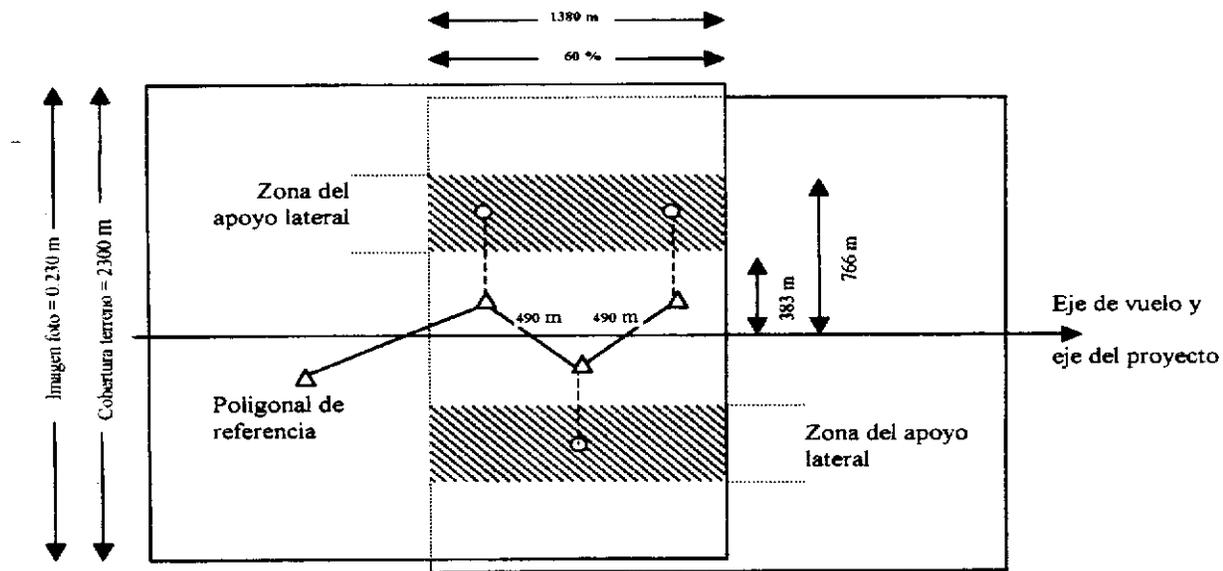


Fig. 1

En la figura 1 se observa que para "asegurar" que queden en el modelo tres vértices de la poligonal de referencia, debemos calcular su longitud. En este caso se procura que los vértices queden a no menos de 2 cm de cada orilla de la fotografía, por razones de distorsión, por lo tanto si el 60 % que cubre el modelo estereoscópico, es igual a 1380 m del terreno menos 200 m en cada orilla, matemáticamente quedaría así;  $1380 - 400 = 980 / 2 = 490$  m que es la longitud de los lados de la poligonal de referencia.

El apoyo o control lateral, se debe alojar en la zona del tercio medio de cada lado. De acuerdo con la figura que explica que se puede situar desde los 383 m hasta los 766 m, (idealmente al centro del tercio) en forma alterna. Esto es, en el primer vértice a la izquierda y al siguiente vértice a la derecha, en el que sigue a la izquierda y así se continúa.

Para conseguir que su uso sea múltiple, se localizan los vértices de la poligonal de referencia, de tal manera que tenga visibilidad hacia el eje del proyecto para su replanteo, y tan lejos de las terracerías que los movimientos propios de la construcción no vayan a destruirlos y que no queden cubiertos por árboles. Todo se facilita zigzagueando el eje del proyecto, como en la figura. 1

Cuando por razones de urgencia del proyecto se debe realizar el control para fotos ya tomadas, se proyecta el Control para cada modelo estereoscópico, pero cuidando que los puntos de las orillas queden en el TRIPLE traslape, para ahorrar trabajo de campo y aprovechar este apoyo en los modelos contiguos como lo explica la figura 2.

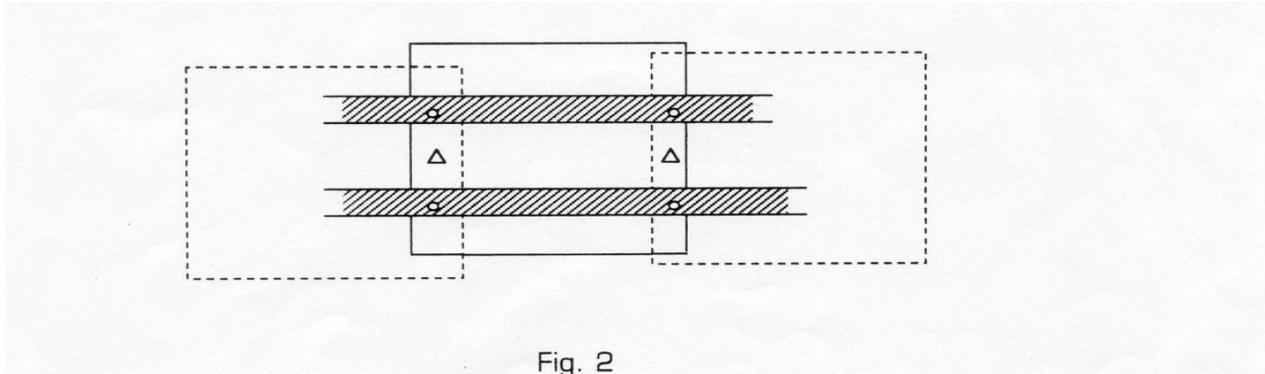


Fig. 2

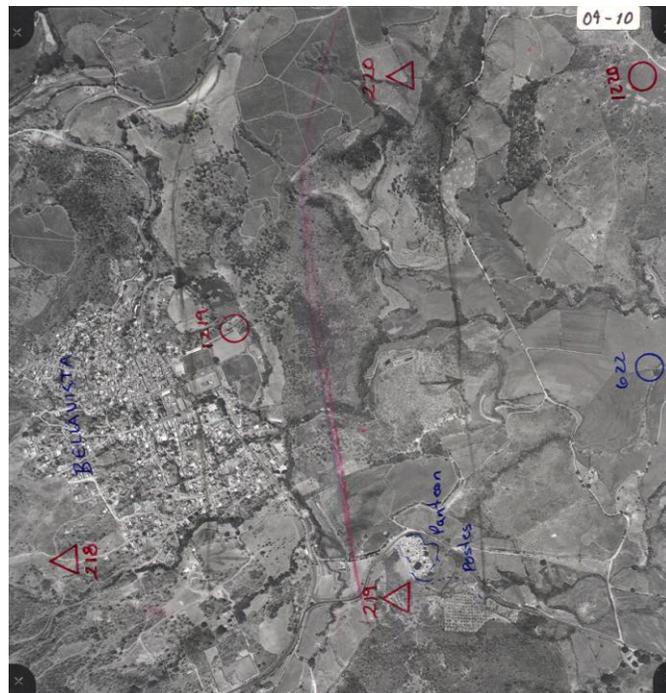
El control proyectado requiere de una identificación a un detalle singular en cada vértice, se determinará la posición y elevación "precisa" pues nada ganamos que la poligonal tenga una muy buena resolución y la identificación del control una precisión muy por abajo de los valores X Y Z.

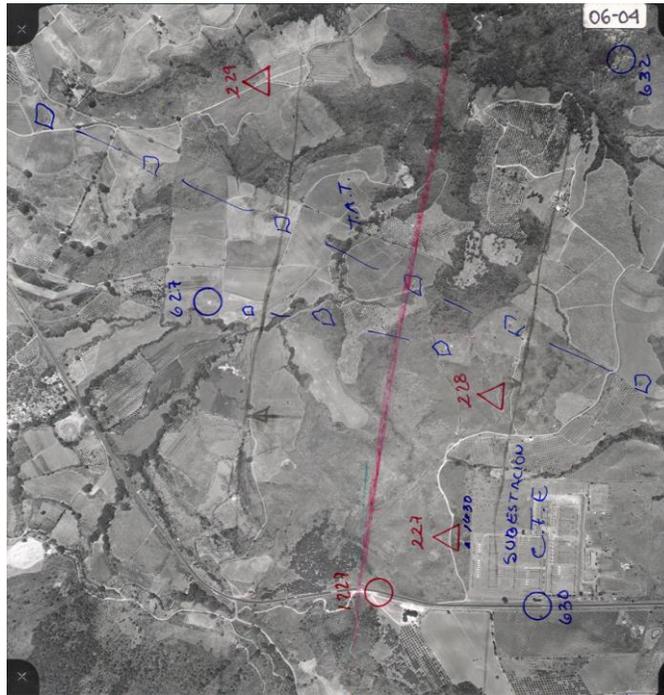
La identificación será legible y confiable, por ejemplo: buscar "buenos" detalles, siempre preferir el cruce de veredas a un arbusto, la esquina de una casa a un poste, sin embargo, el poste será preferible a un arbusto. La experiencia nos indica que para buscar rasgos característicos, hay que caminar un poco más que la zona que vemos desde el vértice, comparar los detalles de campo, con la foto que llevamos, siempre con una lupa para ver con claridad los detalles y hacer correctamente la comparación campo-piquete fino en foto y croquis descriptivo.

Estos son ejemplos de mojoneras del control terrestre que se utilizan en los proyectos de carreteras.



En las fotografías aéreas se pone un triángulo de color rojo para los puntos de la poligonal de referencia y un círculo azul para los puntos de las radiaciones, así como se muestra en estos ejemplos:





### 3.4 LEVANTAMIENTO DE POLIGONALES.

Por sus características teóricas, las mediciones del control terrestre están comprendidas en el campo de la geodesia del orden 2-II o la topografía de precisión.

Los ángulos horizontales y verticales se obtendrán con teodolitos o estación total de un segundo de lectura directa y tolerancia en el error de cierre angular de  $T=10''\sqrt{N}$ , siendo N el número de ángulos medidos y distanciómetro electrónico de infrarrojos con aproximación de 3 mm + 2 ppm mínimo.



EST	PV.	0	0	Dis.	A.
14	15	000 00 00	269 52 43	334. 160	1. 630
A. 5.490	510	97 26 19	274 13 35	669. 016	1.300
	15	2 18 22	269 52 46	334. 160	97 26 19
	510	97 44 42	274 13 38	669. 016	97 26 20
					97 26 19
	15	4 27 06	269 52 50	334. 160	P 97 26 19
	510	101 53 25	274 13 40	669. 017	
DOBLE ALTURA					
14	510	—	274 17 55	669. 086	2.150
5.490	510	—	274 17 57	669. 087	
	510	—	274 18 00	669. 085	

EST	PV.	0	0	Dis.	A.
9003	9002	000 00 00	269 02 38	1.300	
1.430	9004	177 39 18	270 40 49	4119. 865	1.315
	9002	2 18 33	269 02 32		177 39 18
	9004	179 57 54	270 40 41	4119. 867	177 39 21
					179 39 24
	9002	4 31 03	269 02 32		P 177 39 21
	9004	182 10 27	270 40 45	4119. 867	
	9004	000 00 00	269 16 59	1.320	
A. 1.424	9005	62 36 51	271 40 15	1607. 255	2.275
	9003	2 08 45	269 17 04		62 36 51
	9005	64 45 39	271 40 09	1607. 256	62 36 54
					62 36 48
	9003	4 41 10	269 17 07		P 62 36 51
	9005	67 17 58	271 40 12	1607. 255	

EST.	P.V.	+	+	+	+	+	+	105.	A.
9005	9004	000	00	00	268	18	46	1607.267	1.295
1.360	1	197	30	05	271	21	52	274.557	1.300
	9004	2	20	45	268	18	45	1607.267	197 30 05
	1	199	50	47	271	21	49	274.557	197 30 02
	9004	4	44	33	268	18	48	1607.267	197 29 57
	1	202	14	30	271	21	50	274.557	P 197 30 01
1	9005	000	00	00	268	33	35	274.562	2.215
1.527	2	108	00	56	270	23	39	434.304	1.300
	9005	2	47	14	268	33	28	272.562	108 00 56
	2	110	48	13	270	23	36	434.304	108 00 57
	9005	5	22	38	268	33	30	274.563	108 00 54
	2	113	23	32	270	23	34	434.304	P 108 00 56

### 3.5. METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO.

La tolerancia en el cierre planimétrico es de  $0.07 \sqrt{L}$ , después de su compensación angular, siendo L= Desarrollo de la poligonal cerrada en kilómetros.

Se usarán también equipos de poligonación atrás y adelante, para hacer puntería, consistentes en un juego de bases con plomada óptica, juego de miras y prismas reflectores.

La medición de ángulos y distancias se llevará a cabo realizando tres series de lecturas en modo directo, las diferencias entre serie, será menor a 10 segundos.

Las poligonales de referencia deberán ser cerradas a cada 20 lados como máximo, con puntos denominados de "poligonal maestra" para su comprobación, que tendrá un cierre lineal no menor de 1:50,000, y angular de  $10'' \sqrt{N}$ , donde N= Número de ángulos medidos.

De los vértices de la poligonal de referencia se radiarán los puntos laterales, alternados a la derecha e izquierda del eje de la poligonal, que servirán como puntos de control fotogramétrico.

Nivelación.- La nivelación será trigonométrica, realizando tres series de lecturas en modo directo y tres en modo inverso en forma simultanea. La precisión que tendrá cada circuito será de 1:40,000.

Orígenes.- Cuando la restitución a elaborar deba ligarse a un trabajo existente, La SCT indicará a que vértices deberá ligarse el control terrestre para su propagación. En caso contrario autorizará el establecimiento de una base con dos puntos GPS o bien determinar los orígenes de las coordenadas X, Y, Z mediante un punto perfectamente identificable tanto en las fotografías aéreas como en la cartografía INEGI de donde se

tomará las coordenadas de origen, para su propagación se deberá realizar una orientación astronómica entre los dos primeros vértices de la poligonal de referencia.

Utilización de equipo GPS.- Para la orientación azimutal del lado y coordenadas de arranque de la poligonal de referencia, se posicionarán los dos primeros puntos con equipo GPS, haciendo una medición por el método estático ligada a dos estaciones como mínimo de la Red Activa del INEGI, el resultado de las coordenadas obtenidas en WGS84, se transformarán a U.T.M., además de realizar su transformación a coordenadas topográficas (ortogonales) y de esta forma calcular el Azimut de partida.

Será necesario realizar posicionamiento con equipos GPS formando figuras geométricas (triángulos o cuadriláteros) para derivar control Azimutal a lados de la poligonal a cada 5 ó 7 km aproximadamente, y así tener la comprobación de la precisión del posicionamiento efectuado.

Se utilizarán equipos GPS de doble frecuencia, con alcance de hasta 300 km.

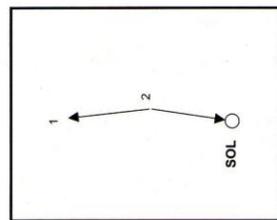
El período de medición en cada punto GPS será de aproximadamente 2.5 hrs. dependiendo de la longitud del vector, y la recomendación del fabricante, para el método estático, con un PDOP no mayor de 5, un mínimo de 4 satélites y una elevación de mascarilla con respecto al horizonte mayor a 15° (grados) con intervalo de medición a cada 15 segundos. Con equipo GPS en tiempo real, los tiempos se reducen considerablemente.

### 3.6 CALCULO TOPOGRÁFICO.

El cálculo hasta ahora se inicia con la determinación de la meridiana de primer lado de la poligonal cerrada a partir de la observación astronómico de diferentes alturas del sol a intervalos más o menos iguales de tiempo (cercano al minuto) y a partir de un ángulo al sol mayor que 16° sobre el horizonte si esta observación se hace en la mañana y no menor a los 16° si se realiza en la tarde.

#### ORIENTACION ASTRONOMICA

	1 SERIE		2 SERIE		3 SERIE		4 SERIE		5 SERIE	
	o	"	o	"	o	"	o	"	o	"
HORA DEL CENTRO	DIR	10 31 5	10 35 22	10 39 20	10 45 35	10 49 31				
	INV	10 32 23	10 36 32	10 43 30	10 46 49	10 52 3				
CIRC. HORIZT.	DIR	194 25	199 36	202 44	206 11	209 11				
	INV	14 43 49	19 55 24	23 32 7	26 29 38	29 50 25				
CIRC. VERT.	DIR	180 0	184 11	186 20	188 13	190 12				
	INV	308 2	308 36	309 6	309 53	310 22				
PROM		51 53 14.5	51 19 22.5	50 41 38.5	50 1 43	49 28 46.5				



#### C R O Q U I S

FECHA: 28 DE DICIEMBRE DEL 2001  
LUGAR: LIBRAMIENTO TULANCINGO, HGO.

HORA DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO 90	o	"
VARIACION HORARIA ( de la declinacion del sol )	12	44.00
DECLINACION DEL SOL AL PASO POR EL MERIDIANO 90	0	7.85
	23	34.00

LATTITUD	λ	20	3	40.00
	10	31	44.00	

PROMEDIO DE LA HORA DE OBSERVACION	10 31 44.00	10 35 57.00	10 41 25.00	10 46 12.00	10 50 47.00
DECLINACION DEL SOL (a la hora de la observacion )	-23 15 11.35	-23 15 10.80	-23 15 10.08	-23 15 9.46	-23 15 8.86
DISTANCIA ZENITAL APARANTE	51 53 14.50	51 19 22.50	50 41 38.50	50 1 43.00	49 28 46.50
DISTANCIA ZENITAL	51 54 28.73	51 20 35.24	50 42 49.62	50 2 52.46	49 29 54.63
AZIMUT ASTRONOMICO DEL SOL	145 6 48.74	148 7 58.39	147 19 36.16	148 40 1.62	150 50 25.52
ANGULO SOL - SENAL	194 34 42.00	195 34 31.50	196 47 56.00	198 6 50.00	199 18 11.50
AZIMUT DE LA LINEA ORIENTADA	310 32 7	310 33 25	310 31 40	310 33 12	310 32 14
AZIMUT PROM. DE LA LINEA ORIENTADA 2 - 1	310	32	0		

El azimut así obtenido (la meridiana del primer lado) se propaga vía los valores de los ángulos horizontales leídos en campo, por toda la poligonal siendo el azimut de cierre el mismo del arranque. Si la diferencia queda dentro de la tolerancia ya descrita, se compensa angularmente y se ve si planimétricamente está en los valores que indica la tolerancia y también se compensa. Con los valores X Y Z, ya compensados, se calcula el control lateral, teniendo con ello un listado final de valores coordenadas X Y Z obtenidos por trigonometría plana, que servirán para el proceso de restitución.

Como se muestra en el ejemplo siguiente:





Nombre del trabajo : TULANCI

Error angular = - 0° 0' 35'' Longitud = 20,896.074

Error en X = -0.026 Error en Y = 0.471 Precisión = 1 : 44,333.7

Error en Z = 0.132 Precisión = 1 : 158,308.5

Poligonal Cerrada

Compensada angularmente

Compensada Linealmente X , Y

Compensada en Z

Est	Pv	Azimut			Distancia	Dx	Dy	Dz
		o	'	''	Horiz.			
2	3	110	24	17.0	710.530	665.945	-247.710	-21.439
3	4	130	25	6.0	481.300	366.428	-312.046	0.715
4	5	169	24	60.0	661.892	121.566	-650.617	41.555
5	6	178	7	17.0	389.741	12.776	-389.523	11.083
6	7	267	50	57.0	359.931	-359.678	-13.500	19.435
7	8	187	23	20.0	933.129	-120.005	-925.360	57.078
8	9	70	19	5.0	778.918	733.410	262.356	-75.813
9	10	142	27	52.0	783.327	477.244	-621.141	3.107
10	11	228	44	28.0	281.519	-211.629	-185.645	22.616
11	12	136	0	4.0	252.567	175.444	-181.679	-4.159
12	13	147	49	7.0	297.146	158.260	-251.487	-5.285
13	14	97	8	37.0	1,071.908	1,063.586	-133.275	-47.714
14	15	101	38	17.0	334.159	327.289	-67.402	3.168
15	16	81	44	42.0	737.156	729.517	105.857	-39.369
16	17	102	45	9.0	405.542	395.538	-89.510	-4.974
17	18	104	2	31.0	1,163.305	1,128.542	-282.229	-2.043
18	9002	346	4	53.0	2,906.767	-699.207	2,821.485	-96.683
9002	9003	304	44	48.0	1,912.315	-1,571.313	1,089.965	31.531
9003	9004	302	24	9.0	4,119.578	-3,478.183	2,207.625	50.184
9004	9005	185	1	0.0	1,606.572	-140.490	-1,600.382	46.134
9005	1	202	31	2.0	274.479	-105.115	-253.548	7.597
1	2	130	31	60.0	434.294	330.075	-282.234	3.278

RADIACIONES E INTERSECCIONES

Est	Pv	Azimut			Distancia Horiz.	Dx	Dy	Dz
		o	'	''				
2	1002	110	59	3.8	314.643	293.776	-112.678	-13.012
2	502	167	39	49.8	779.838	166.610	-761.832	17.979
2	501	6	39	19.8	1,313.708	152.258	1,304.855	-62.880
4	503	17	2	17.4	949.974	278.351	908.279	-36.944
5	1005	321	18	52.3	149.453	-93.415	116.662	-15.769
6	504	273	15	20.1	714.991	-713.838	40.605	56.278
9	506	257	19	24.6	324.718	-316.803	-71.258	19.846
10	1010	313	25	48.6	112.257	-81.523	77.174	-8.276
11	1011	216	50	34.7	49.768	-29.842	-39.829	3.816
13	508	189	46	30.5	160.196	-27.198	-157.870	16.170
13	507	37	56	52.5	2,011.102	1,236.717	1,585.895	-135.391
13	509	67	7	2.5	994.259	916.014	386.612	-83.709
13	511	83	19	38.5	1,916.681	1,903.698	222.712	-107.391
14	1012	312	57	29.4	1,064.872	-779.328	725.672	-11.979
14	505	337	24	6.4	2,136.698	-821.061	1,972.647	-33.496
14	1014	304	50	42.6	113.534	-93.177	64.869	-8.011
14	510	199	4	31.6	667.196	-218.048	-630.560	53.532
15	512	152	47	22.6	890.254	407.077	-791.733	50.341
15	1015	117	2	19.6	343.193	305.681	-156.013	-19.541
17	514	169	30	25.4	528.050	96.166	-519.220	35.069
17	1017	61	14	4.4	300.841	263.716	144.772	-23.267
17	513	55	25	31.4	1,922.558	1,583.011	1,091.011	-94.891

EST.	PV.	P O L I G O N A L		DIF.	PROMEDIO
		DESNIVEL ADELANTE	DESNIVEL RECIPROCO		
2	3	-21.445	21.441	0.005	-21.443
3	4	0.713	-0.711	0.002	0.712
4	5	41.554	-41.548	0.006	41.551
5	6	11.090	-11.072	0.017	11.081
6	7	19.371	-19.494	0.123	19.433
7	8	57.069	-57.075	0.006	57.072
8	9	-75.801	75.836	0.034	-75.818
9	10	3.121	-3.082	0.039	3.102
10	11	22.619	-22.609	0.010	22.614
11	12	-4.161	4.160	0.002	-4.161
12	13	-5.279	5.295	0.016	-5.287
13	14	-47.653	47.790	0.137	-47.721
14	15	3.165	-3.168	0.003	3.166
15	16	-39.373	39.375	0.003	-39.374
16	17	-4.967	4.987	0.019	-4.977
17	18	-1.879	2.222	0.343	-2.051
18	9002	-96.635	96.768	0.134	-96.702
9002	9003	31.498	-31.541	0.043	31.519
9003	9004	50.122	-50.195	0.072	50.158
9004	9005	46.167	-46.080	0.087	46.124
9005	1	7.600	-7.589	0.011	7.595
1	2	3.221	-3.328	0.107	3.275

R A D I A C I O N E S					
EST.	PV.	DESNIVEL ADELANTE	DESNIVEL RECIPROCO	DIF.	PROMEDIO
2	1002	-13.018	-13.006	0.012	-13.012
2	502	17.988	17.970	0.018	17.979
2	501	-62.853	-62.908	0.055	-62.880
4	503	-36.913	-36.976	0.063	-36.944
5	1005	-15.765	-15.773	0.008	-15.769
6	504	56.279	56.277	0.002	56.278
9	506	19.831	19.860	0.029	19.846
10	1010	-8.273	-8.279	0.006	-8.276
11	1011	3.816	3.816	0.001	3.816
13	508	16.171	16.168	0.003	16.170
13	507	-135.349	-135.432	0.083	-135.391
13	509	-83.680	-83.739	0.059	-83.709
13	511	-107.404	-107.377	0.028	-107.391
14	1012	-11.975	-11.983	0.008	-11.979
14	505	-33.485	-33.506	0.021	-33.496
14	1014	-8.016	-8.006	0.010	-8.011
14	510	53.535	53.528	0.008	53.532
15	512	50.313	50.368	0.055	50.341
15	1015	-19.541	-19.542	0.000	-19.541
17	514	35.064	35.073	0.009	35.069
17	1017	-23.281	-23.254	0.026	-23.267
17	513	-94.910	-94.872	0.038	-94.891
16	1016	30.859	-30.975	0.116	30.917
1016	2016	-18.065	-18.046	0.020	-18.056
17	1017	-18.922	-18.912	0.010	-18.917
20	1020	-72.427	-72.447	0.020	-72.437
20	515	-141.039	-141.046	0.007	-141.043
20	2020	-0.310	0.295	0.015	-0.302
2020	516	-17.106	-17.086	0.021	-17.096
2020	518	-55.327	-55.321	0.006	-55.324
2020	520	-8.851	-8.862	0.011	-8.857
2020	522	16.097	16.031	0.065	16.064
2020	3020	-76.697	76.884	0.187	-76.790
3020	4020	0.363	-0.355	0.008	0.359
4020	5020	5.223	-5.229	0.006	5.226
5020	6020	1.114	-1.118	0.004	1.116
6020	7020	-4.324	4.360	0.035	-4.342
7020	8020	1.409	1.379	0.030	1.394

## 4.-RESTITUCIÓN FOTOGRAMETRICA.

### 4.1 GENERALIDADES

La restitución fotogramétrica es el procedimiento mediante el cual se reconstruye en un modelo tridimensional la fracción de terreno cubierta por un par de fotografías estereoscópicas registrando la información métrica del modelo planimétrico y altimétrico, con ayuda de un índice móvil o marca flotante, con los desplazamientos de esta marca flotante sobre el modelo estereoscópico se registran en una mesa de dibujo o digitalmente mediante un software especial, Esta operación se realiza en un instrumento fotogramétrico.

En todos estos instrumentos se realiza el proceso de exploración métrica del modelo (restitución) mediante un índice móvil (marca flotante), registrándose la información en soportes gráficos o bien numéricamente en línea, pudiéndose distinguir dos formas de restitución:

a) Restitución gráfica (también llamada analógica):

Los desplazamientos de la marca flotante en el modelo estereoscópico sobre los elementos que se van a representar se traducen en movimientos de un útil de dibujo (lápiz, bolígrafo-rotulador-punta de grabado) sobre una mesa de dibujo (coordinatografo o mesa automática de dibujo).

b) Restitución numérica (también llamada analítica o digitalizada)

Los desplazamientos de la marca flotante sobre el modelo estereoscópico se registran en línea por un ordenador con un programa gráfico interactivo.

Conviene aclarar que cualquiera de los dos tipos de instrumento puede restituir gráfica o analíticamente; pero lo usual es que solo los instrumentos sin codificadores (posibilidad de transformar movimientos mecánicos en impulsos eléctricos) registren en línea gráficamente.

Los instrumentos analógicos con codificadores analíticos y digitales registran la información en línea y; posteriormente, esta información puede ser procesada analíticamente, o bien obtenerse documentos gráficos por medio de un trazador.

c) Fotogrametría digital.

El principio de funcionamiento de los instrumentos digitales es similar al descrito anteriormente para los instrumentos analíticos. La transformación de la proyección cónica de la fotografía, sistema de placa (x,) a la proyección ortogonal (X,Y,Z) del terreno, se hace matemáticamente.

A diferencia de los analíticos, emplea imágenes digitales en lugar de material fotográfico como negativos originales o diapositivas. La obtención de imágenes digitales a partir de los negativos o diapositivas se hace mediante "scanners", que son

diapositivos que convierten una imagen de un documento o fotografía en una forma digital, de manera que pueda almacenarse y procesarse por un ordenador.

Denominamos “escaneo” rasterización o exploración al proceso de lectura de la imagen gráfica y su transformación a digital.

Una imagen digital o “raster” esta compuesta por una matriz de elementos rectangulares, denominados “píxel”. Para comprender este concepto, supongamos una imagen fotográfica sobre la que superponemos una retícula: cada elemento en que queda dividida la imagen es un “píxel” que tendrá asignado un valor de intensidad de luz (escala de grises).

En general, un equipo de restitución, es un instrumento que permite definir las intersecciones de los rayos homólogos de dos haces perspectivas reconstruidos a partir de un par estereoscópico. Son distintos niveles de precisión clasificados por orden en función del factor de precisión C.

$C = (Hvt / l)$  donde Hvt = altura de vuelo sobre el terreno, e l = intervalo de curva a discriminar .

en los siguientes incisos, se describen los diferentes instrumentos de restitución que se utilizan.

## 4.2 INSTRUMENTOS ANALÓGICOS

Constan de dos proyectores que permiten formar unos haces de rayos congruentes con los del instante de toma, y que tienen los grados de libertad necesarios para que asuman unas orientaciones exteriores iguales a las de dicho momento de toma fotográfica.

Los cálculos matemáticos que permiten transformar las perspectivas centrales de las fotografías a proyecciones ortogonales, los realiza el restituidor actuando como una computadora analógica.

### 1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

En este tipo de instrumentos la reconstrucción de los haces perspectivas se hace por medios "ópticos" o "mecánicos".

Son conjuntos con una óptica y mecánica de alta precisión, de altísimo costo de construcción y con algunas limitaciones en producción por ello la tendencia de desarrollo va encaminada a los instrumentos Digitales analíticos.

Un aparato análogo tiene las siguientes características (Algunas son solo privativas de estos instrumentos):

- Sistema óptico que permita la reconstrucción de los haces perspectivas.
- Sistema que permita la reconstrucción de la posición en el espacio de los haces, es decir, el ajuste del modelo (orientación relativa y orientación absoluta).

- Dispositivo de observación estereoscópica.

- Mecanismo de restitución, que permita constantemente materializar la intersección de rayos homólogos.

- Medidor de coordenadas
- Dispositivo de dibujo.

## 2 CLASIFICACIÓN

### A.- SEGÚN SEA LA MATERIALIZACIÓN DE LOS RAYOS PERSPECTIVOS

#### - ÓPTICOS

- . La reconstrucción es óptica en el espacio imagen
  - . La reconstrucción es óptica en el espacio objeto
- El más representativo es el restituidor C-8 de ZEISS y los sistemas Múltiplex y Balplex

#### - ÓPTICOS-MECÁNICOS.

- . La reconstrucción es óptica en el espacio imagen
- . La reconstrucción es mecánica en el espacio objeto

No han sido muy frecuentes. Los más significativos son los de la casa NISTRÍ.

- . La reconstrucción es mecánica en el espacio imagen
- . La reconstrucción es mecánica en el espacio objeto

Los más utilizados son:

- . La gama de los WILD: A-8, A-9, A-10
- . La gama de los ZEISS: Planimat, Planicart, Planitop.

### B.- SEGÚN LA PRECISIÓN

La clasificación puede hacer tanto cualitativa como cuantitativamente.

#### B.1.- CLASIFICACIÓN CUALITATIVA

- MAXIMA: Escalas grandes y aerotriangulación (se les solía llamar 1º orden)
- MEDIANA: Escalas medias y pequeñas (se solía llamar 2º orden)
- TERCER ORDEN: Para terrenos llanos y vuelos verticales.

#### B.2.- CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA.

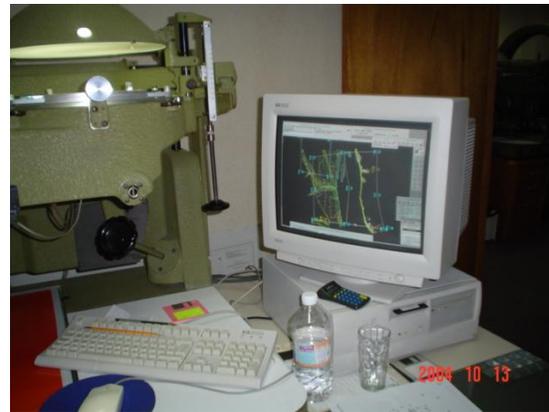
Definida por el factor de precisión (C) dado por la relación.

$$C = Hvt / I$$

Donde (Hvt) corresponde a la altura de vuelo con respecto al terreno fotografiado e (I) es el intervalo más pequeño entre curvas de nivel que se pueda discriminar con el referido instrumento, para este efecto resulta la siguiente clasificación.

ORDEN	FACTOR	ALGUNAS MARCAS Y MODELOS
I	1500	ZEISS - C8; WILD A10 - A7 GALILEO ESTEREOTERZO
II	1200	WILD B8 - KERN P62
III	600	ESTEREO MULTIPLEX - BALPLEX

#### RESTITUIDOR WILD B8



#### C.- SEGÚN SU UNIVERSALIDAD

- UNIVERSALES: Aptos para trabajar con cualquier formato de Fotografía, focal y condiciones de toma, muy diversas.

- RESTRINGIDOS: A una focal, un formatos y ejes perspectivo fijo y casi vertical.

Nota importante: todos los equipos análogos existentes en el mercado se encuentran codificados y por lo tanto cuentan con asistencia computacional transformándolos en instrumentos semianálogos.

### **4.3 INSTRUMENTOS ANALÍTICOS**

(No son sistemas digitales puros, corresponden a equipos que hoy los podríamos llamar semianálogos ya que una parte se hace análogamente y otra en forma digital)

#### **1 CARACTERÍSTICA GENERALES**

No hay materialización de los rayos perspectivas, y la correspondencia entre puntos homólogos de las fotos y modelo, se hace por vía analítica a través de transformación de coordenadas en un calculador.

El aparato consta de :

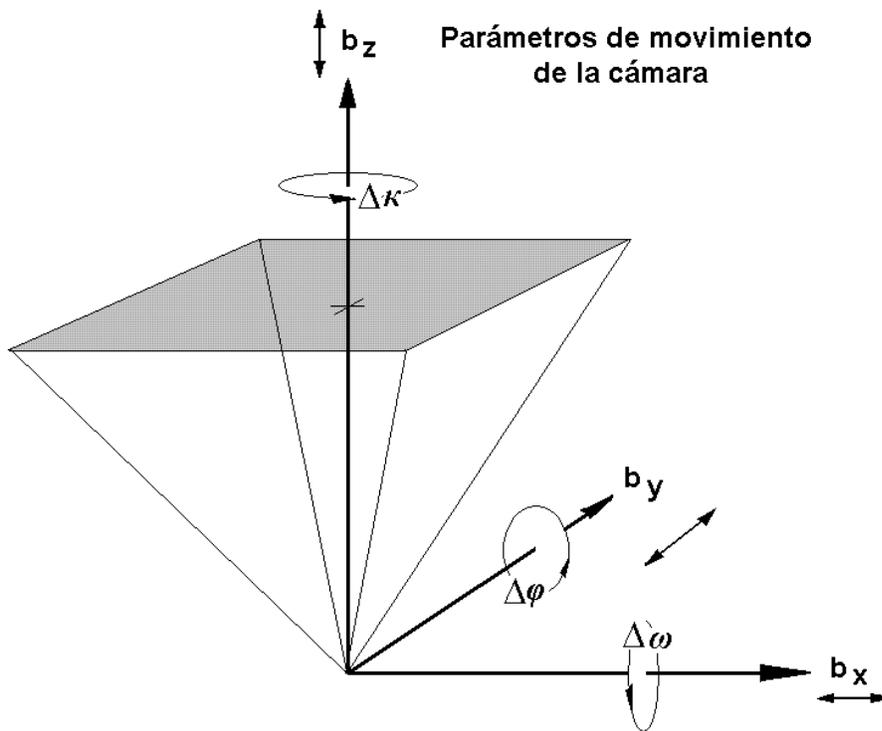
- Un instrumento visualizador que permita la identificación y puntería sobre puntos homólogos, en ambas placas. Supongamos es un estereocomparador.
- Un calculador que calcule las coordenadas de los puntos.
- Un coordinatógrafo o bien un registrador de coordenadas.

El calculador puede o no estar ligado al estereocomparador si lo está, calcula las coordenadas de los puntos instantáneamente después de posado y es posible la restitución por línea continua, como en los analógicos.

1) Orientación Interna

2) Orientación Externa.

Los parámetros de control de cada proyector que simulan a la cámara en el instante de toma se muestran en la figura que consta de tres movimientos lineales y tres angulares.



#### 4.4 ORIENTACIÓN INTERNA.

##### 1 ORIENTACIÓN INTERNA PARA INSTRUMENTOS ANÁLOGOS.

Para realizar este proceso se debe contar con la siguiente información:

Certificado de Calibración del Instrumento restituidor a ocupar.- Este certificado indica si el instrumento está en condiciones geométricas para trabajar, o sea la perpendicularidad generada por los planos  $xy$ ;  $xz$  y  $zy$ , además de el ajuste inicial en  $0^\circ$  de los movimientos angulares de  $\kappa$ ,  $\phi$  y  $\omega$  que representan los movimientos del avión en el instrumento.

Certificado de Calibración de la Cámara Métrica usada, que contiene los parámetros básicos de la geometría de la cámara que son: Identificación de la cámara, fecha de calibración, focal de toma, Punto principal de autocolimación (PPA), Punto principal de Simetría (PPS), Distancia entre marcas fiduciales (En fotocoordenadas con origen en el Fotocentro) y Distorsión radial de la lente.

La orientación interna es la reconstitución de los haces perspectivas que originaron cada imagen, en forma independiente, otra interpretación de la definición es el recuperar la geometría del instante de toma del fotograma, ya que la fotografía extraída físicamente genera dilataciones que deforman la geometría del instante de toma, para tal efecto, debemos realizar dos pasos:

- a) Ajuste de Placa
- b) Ajuste de Focal

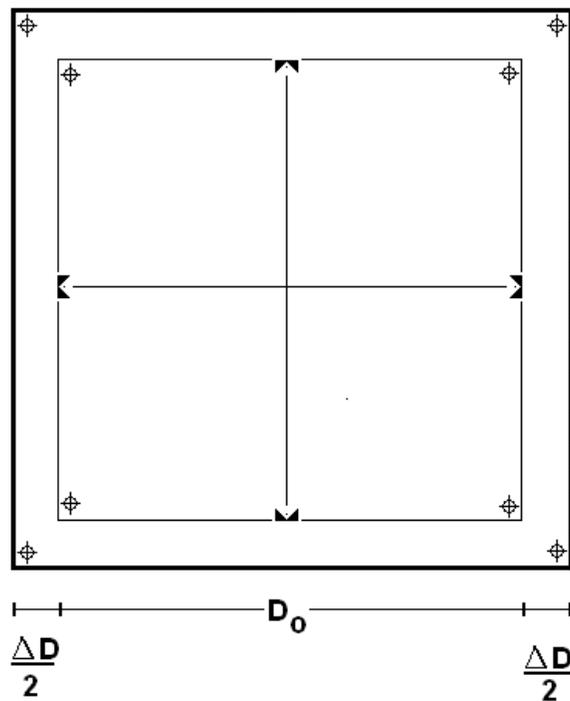
- a) Ajuste de Placa

Consiste en hacer coincidir las marcas fiduciales como referencia de los fotogramas, con las marcas fiduciales del portaplacas del instrumento (que definen un sistema de fotocoordenadas mediante las coordenadas de máquina o instrumentales). Este procedimiento operativamente se hace con un sistema centrador de placas, que aseguran un ajuste análogo de alta precisión.

#### b) Ajuste de Focal

Es el procedimiento matemático por el cual se determina e impone el valor de la nueva focal que adquiere el fotograma al ser incorporado al sistema de restitución. Esto sucede por que el formato de cada fotograma sufre una dilatación (Linealmente denominada  $\Delta D$ ) que lo altera y por lo tanto cambia la escala, al cambiar la escala forzosamente debemos cambiar la focal de toma a una focal corregida  $f_c$ .

Variación de formato por dilatación Fotograma



#### 4.5 ORIENTACIÓN RELATIVA Y ABSOLUTA

De manera técnica la restitución consiste en darle al modelo estereoscópico la posición geográfica que tiene el terreno que dicho modelo representa, en este caso el terreno y su representación fotogramétrica deben quedar con la misma orientación.

Una restitución fotogramétrica se desarrolla con base en puntos de terreno de coordenadas conocidas, a cuyos puntos se les denomina puntos de apoyo terrestre o puntos de control terrestre.

Los puntos de control deben transferirse del terreno a la fotografía mediante un proceso denominado identificación fotogramétrica, en donde la identificación consiste en reconocer en las fotografías los puntos marcados en el terreno y viceversa, reconocer en el terreno los puntos marcados en las fotografías; esto es muy importante en la restitución fotogramétrica.

Previamente a la restitución, un modelo debe ser orientado y puesto a escala en base a los de los puntos de control, esto se consigue por medio de la orientación relativa y absoluta.

## 1 ORIENTACIÓN RELATIVA.

La orientación relativa consiste en llevar ambos fotogramas a una posición estereo tal, que los rayos homólogos de los rayos espaciales de cada fotograma se corten en dos. Esto quiere decir, que colocamos un fotograma respecto a otro de manera que al proyectarlos o al observarlos mediante un estereoscopio, observamos un modelo tridimensional. Esta operación se conoce comúnmente como la eliminación de paralaje.

Los paralajes horizontales pueden ser eliminados por una variación de la altura del plano de proyección y los verticales se eliminan por variación de  $\delta$  de los elementos de ambos fotogramas en 5 diferentes puntos.

## 2 ORIENTACIÓN ABSOLUTA.

Una vez obtenido el modelo estereoscópico necesitamos conocer su situación en el espacio, referido a un sistema de coordenadas, debido al que el modelo obtenido después de ejecutar la orientación relativa tiene una escala arbitraria a una situación y orientación desconocida en el espacio. Para poder medir de este modelo, debe poseer el modelo completo una escala determinada y estar situado y orientado de tal manera que sus coordenadas espaciales sean iguales a las coordenadas terrestres reducidas de la escala del modelo deseado.

Los datos que nos ayudan a resolver la orientación absoluta pueden ser los puntos de control que es lo más usual. Se necesita para hacer la orientación absoluta por lo menos 3 puntos de los cuales deben ser conocidas sus 3 coordenadas y uno más en cota.

Una vez orientado el modelo estereoscópico se procede a la restitución de la planimetría.

En la planimetría se trazan todos los detalles como: caminos, veredas, brechas, terracerías, poblados o rancherías, construcciones aisladas, áreas de vegetación, cultivos, así como líneas de energía eléctrica y líneas de conducción que se presenten en la franja de 600 mts de restitución.

En la altimetría el trazo de las curvas de nivel fueron a cada 2 mts., distinguiendo a cada 10 mts. las curvas maestras con un mayor grosor.

La hidrografía del proyecto se trazaron los elementos tales como ríos, arroyos, canales, escurrimientos, lagunas y otras áreas con agua.

## 4.6 ORIENTACIÓN INTERNA PARA SISTEMAS DIGITALES

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 focal ( $f$  toma ). 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 proceso bastara con conocer el modo de comandos de los sistemas digitales.

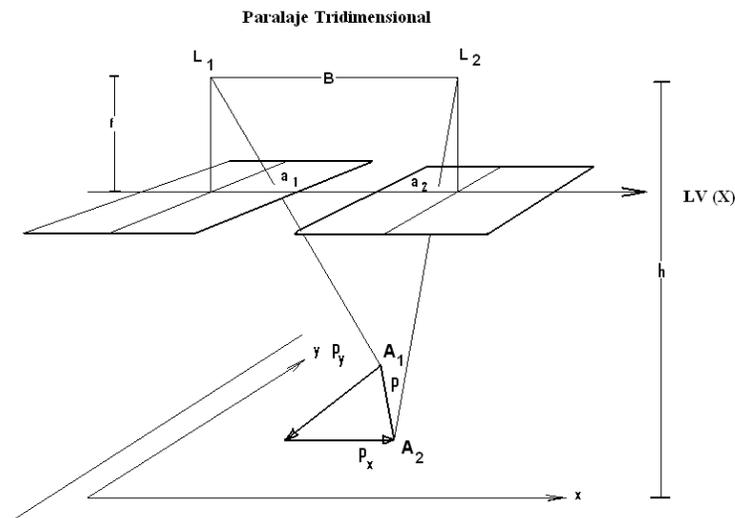
### 1 ORIENTACIÓN EXTERNA

A través de ella se consigue que todos los haces perspectivos formados en las dos proyecciones continuas mediante la orientación interna, coincidan en el espacio y tengan correspondencia univoca con respecto al terreno, es decir en idéntica posición a la que tuvieron al ser impresionadas las fotografías en el instante de toma.

La orientación externa se consigue mediante dos operaciones: "orientación relativa" y "orientación absoluta".

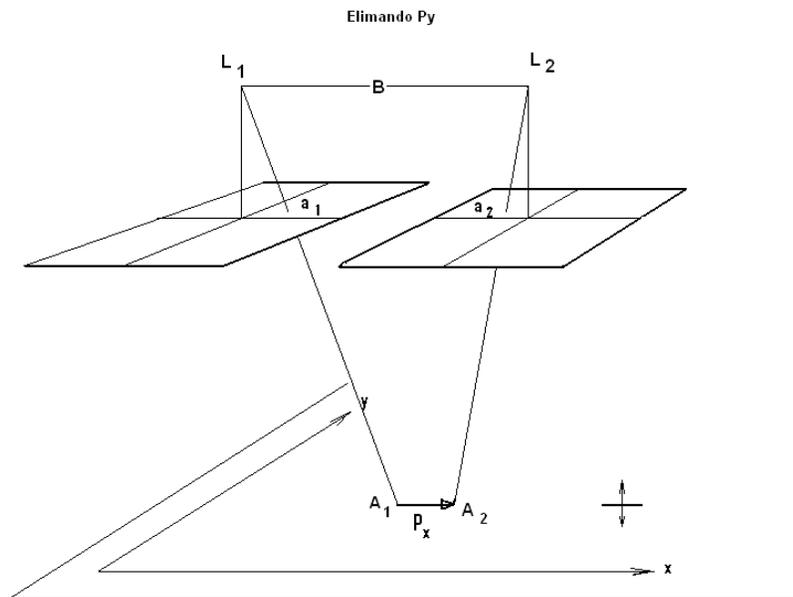
### 2 ORIENTACIÓN RELATIVA

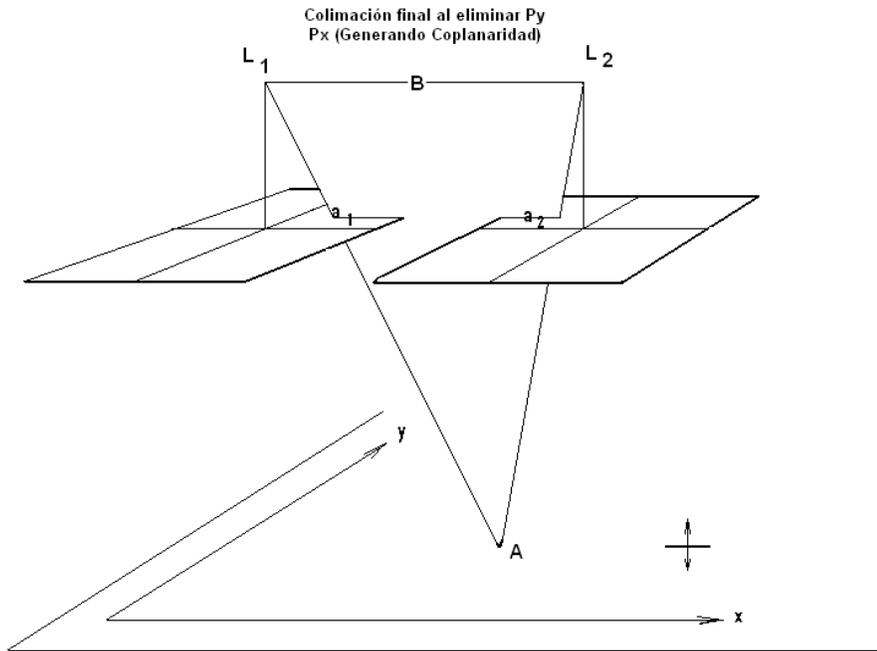
La posición que tome un avión en el instante de toma es azarosa por lo que el fotograma tiene una posición y la foto consecutiva toma otra y su ubicación en un equipo o sistema implica una falta de coincidencia de sus haces perspectivos homólogos lo que provoca un paralaje tridimensional.



Se hace necesario conocer el concepto de parámetros tridimensionales de la cámara que se utilizan en fotogrametría para distinguir los movimientos del avión y asociarlos a el concepto de paralaje tridimensional.

Si  $L_1$  y  $L_2$  son la posición de los proyectores del sistema podemos observar de la figura que se ha generado un paralaje resultante  $P$  y sus respectivos componentes  $P_x$  y  $P_y$  sobre el plano de proyección  $x$  y  $y$ , para que los proyectores tomen la posición del instante de toma estos deben posicionarse mediante los parámetros de movimientos de la cámara de tal forma que se elimina el paralaje  $P_y$  quedando el paralaje  $P_x$  que finalmente es eliminado solo con un movimiento vertical del plano  $x$  y  $y$ , la eliminación de  $P_x$  también se puede ejecutar acercando o alejando los proyectores pero esto generara un cambio en el tamaño del estereomodelo por lo que debemos dejar esta herramienta solo para el control de escala del estereomodelo, (ver Orientación absoluta).





Con este procedimiento logramos la colimación de un punto en el espacio dentro del estereograma, colimar un solo punto no asegura la reconstitución de posición de las cámaras para los dos instantes de toma. Esto es posible con la colimación de a lo

menos 4 puntos ubicados en los extremos del mismo estéreo modelo más 2 centrales (PN1 y PN2).

### 3 EFECTOS DE LOS MOVIMIENTOS DE UN PROYECTOR

Los movimientos posibles de un proyector son los siguientes.

- Traslaciones a lo largo de cada eje: se designan por  $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$ .
- Rotación alrededor de los tres ejes: se designan por:  $\Delta K$ ;  $\Delta\omega$ ;  $\Delta\phi$

Se consideran nueve puntos situados de manera que el punto central corresponde al punto principal.

En la figura 5. se presenta un cuadro de los desplazamientos que se originan en cada punto al dar al proyector un movimiento diferencial, en cada uno de sus posibles movimientos de cada uno de los nueve puntos considerados para el análisis de desplazamientos. Pero para la orientación, se toman seis puntos comunes, cinco para orientar y uno para comprobar.

La orientación consiste en mover los proyectores angular y linealmente en sus parámetros de movimiento del avión.

Existen dos formas de realizar la orientación:

#### a) MÉTODO EMPÍRICO

Utilizando los dos proyectores, se emplean los giros:

$K_1; K_2; \omega_1; \omega_2; \varphi_1; \varphi_2$

Con un solo proyector se utilizan:

$K_2; \omega_2; \varphi_2; \Delta z_2; \Delta y_2$

#### b) MÉTODO NUMÉRICO

Se puede determinar geoméricamente las fórmulas correspondientes al paralaje obteniendo las expresiones finales; para cada punto de la nomenclatura Gruber, según sus coordenadas.  $X, Y$  son las coordenadas de cada punto;  $b$ , es la base (distancia entre puntos principales);  $h$ , es la altura del proyector al punto en el modelo.

En los seis puntos de orientación las coordenadas están determinadas para la orientación empírica con dos proyectores, como los valores expresados en las ecuaciones de  $\Delta py$  y  $\Delta px$  son para la actuación simultanea de los dos proyectores, simplifiquemos el resultado trabajando un solo proyector y sustituyendo estas coordenadas en las relaciones anteriores, quedaría una tabla muy ilustrativa de los valores del paralaje.

#### c) MÉTODOS ANALÍTICOS

El método analítico de resolución debe ir encaminado a resolver dicha matriz por lo que no hace falta ni formar el modelo en forma análoga. Se miden las coordenadas imagen con un comparador y se calculan las ecuaciones de los rayos, y así, aplicando condiciones de coplanaridad entre base y rayos homólogos, se pueden determinar matemáticamente los parámetros de la orientación relativa. Este tratamiento debe hacerse mediante programas computacionales por la inmensa cantidad de operaciones matriciales a realizar.

#### 4 ORIENTACIÓN ABSOLUTA

Finalizada la orientación relativa, el modelo ya está formado y para terminar de ajustar el par estereoscópico, quedan aún dos operaciones:

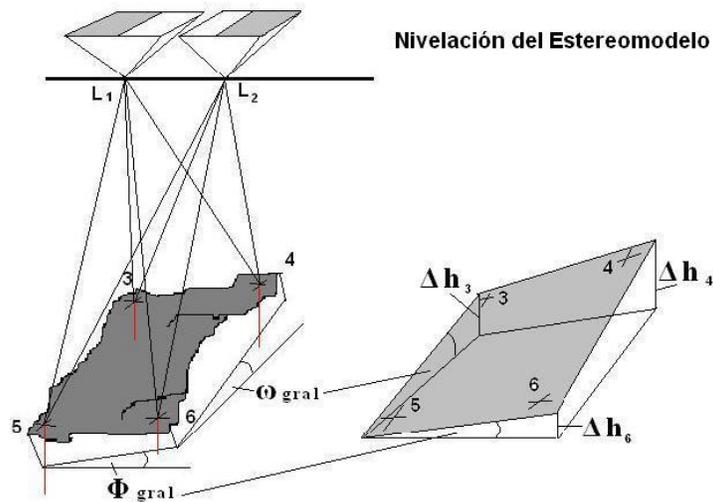
- Colocar el estereomodelo a la escala adecuada.
- Nivelar el estereomodelo.

Es importante destacar que para iniciar este proceso debemos tener definidos los puntos de apoyo como requisito imprescindible para lograr la orientación Absoluta, estos puntos consisten en valores coordenados planos de a lo menos cuatro puntos en el estereograma con una distribución similar a la distribución GRUBER en los puntos 3,4,5 y 6. Cada punto debe tener la condición de estar muy bien fotoidentificado y descrito de tal forma que no exista posibilidad de equivocación por parte de quien haga el proceso de restitución. Con esta finalidad se hace un documento llamado monografía semejante al siguiente esquema:

#### 5 COLOCACIÓN DEL ESTEREOMODELO A ESCALA

Hasta ahora se ha considerado la escala fotográfica como  $1/E_f$ , la escala de restitución que queríamos formar  $1/E_r$ , pero hay una tercera escala, que es la escala del estereomodelo, que tiene un valor comprendido entre los dos anteriores y su valor no lo conocemos, pero si conocemos la escala de restitución podemos forzar a que la escala de restitución sea igual a la escala del estereomodelo, para este efecto debemos variar la base fotogramétrica  $B$  en un  $\Delta B$  comparando la posición que tomen los puntos de apoyo  $P_1$  y  $P_2$  debidamente fotoidentificados en el estereomodelo, lo que dará una diferencia  $\Delta D$  comparando la distancia  $D_m$  del estereomodelo con la distancia entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$  expresada gráficamente en el Canevas de restitución.

#### 6 NIVELACIÓN DEL ESTEREOMODELO.



Con la operación anterior se ha puesto el estereomodelo a escala, pero puede estar en cualquier posición en el espacio, lo que implica que no coinciden las cotas de terreno con las cotas de la máquina por ello es preciso nivelarlo, esto se logra haciendo que los ángulos  $\Phi_{gral}$   $\omega_{gral}$  valgan 0 y esto se puede lograr analíticamente conociendo los respectivos ángulos desde la siguiente relación.

$$\Phi_{gral} = \Delta h_6 / D_{56}$$

$$\omega_{gral} = \Delta h_3 / D_{53}$$

Para ello, es necesario conocer la altitud en el terreno de tres puntos como mínimo (para poder comprobar el 4°).

En resumen, para el ajuste de escala hacía falta conocer dos puntos como mínimo con coordenadas  $(X_1 Y_1 Z_1), (X_2 Y_2 Z_2)$  y para el nivelado el modelo hace falta una altitud más,  $Z_3$ , pero con ello no se tiene ninguna comprobación, por ello se suelen tomar para cada par estereoscópico, 4 puntos con coordenadas planas conocidas, estos son los llamados "PUNTOS DE APOYO" y es la gran dependencia que tiene la fotogrametría de la topografía clásica. Al ser una fase del trabajo que hay que realizar en el campo, encarece bastante el trabajo final, de ahí que, desde el inicio de la fotogrametría, se ha tratado de aminorar esta dependencia por los métodos de aerotriangulación aérea, que consistente en densificar puntos de apoyo mediante métodos Aerofotogramétricos llamado Aereotriangulación (Que corresponde a otra materia de la Fotogrametría).

## 7 EL ESTEREOCOMPARADOR

Es un instrumento que permite medir simultáneamente las coordenadas de las imágenes homólogas de un mismo punto sobre dos placas, mediante puntería estereoscópica.

Los restituidores analíticos tienen las siguientes denominaciones y pertenecen a las siguientes casas constructoras:

NOMBRE DEL APARATO	CASA CONSTRUCTORA
--------------------	-------------------

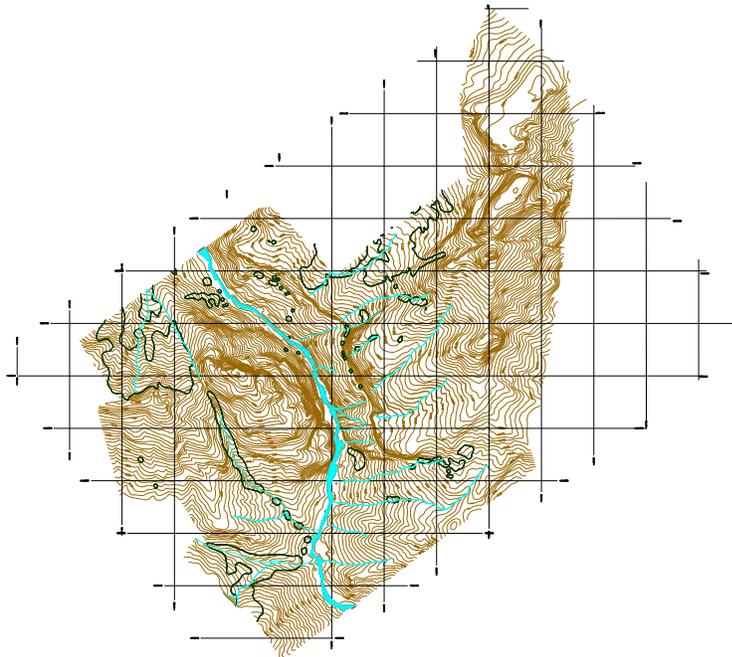
APPS IV	Automotric, Inc.
US-2	Bendix
Analytical compiler	Keuffel-Esser
Traster	MATRA
APC/4	OMI-Nistri
Autoplot	Systemhouse, Ltd.
C-100	Zeiss-Oberkochen
Digital Stereocartograph	Santoni-Galileo
Aviolyt AC1	Wild Heerbrugg

## 8 APARATOS AUTOMÁTICOS

Tanto en los analógicos como en los analíticos, la identificación de puntos homólogos es realizada por el hombre.

Los aparatos automáticos se caracterizan porque esta identificación se hace sin intervención del hombre, sino por un dispositivo automático llamado "correlador de imágenes", consistente en hacer un barrido electrónico y comparar las señales eléctricas que provienen de ambas imágenes, comparándolas e identificándolas.

### EJEMPLO DE RESTITUCION FOTOGRAMETRICA



## 5.-RESULTADOS

### 5.1 EDICIÓN Y ARMADO DE PLANOS.

Después de la obtención de los archivos en crudo de restitución fotogramétrica digital, la Restitución deberá ser editada en archivos Autocad 2006 ó Autocad 2010 con extensión DWG, por cada modelo restituido, revisando el trazado de la planimetría, altimetría e hidrografía, rotulando la toponimia referente a nombres de ríos, poblados, cerros y rancherías.

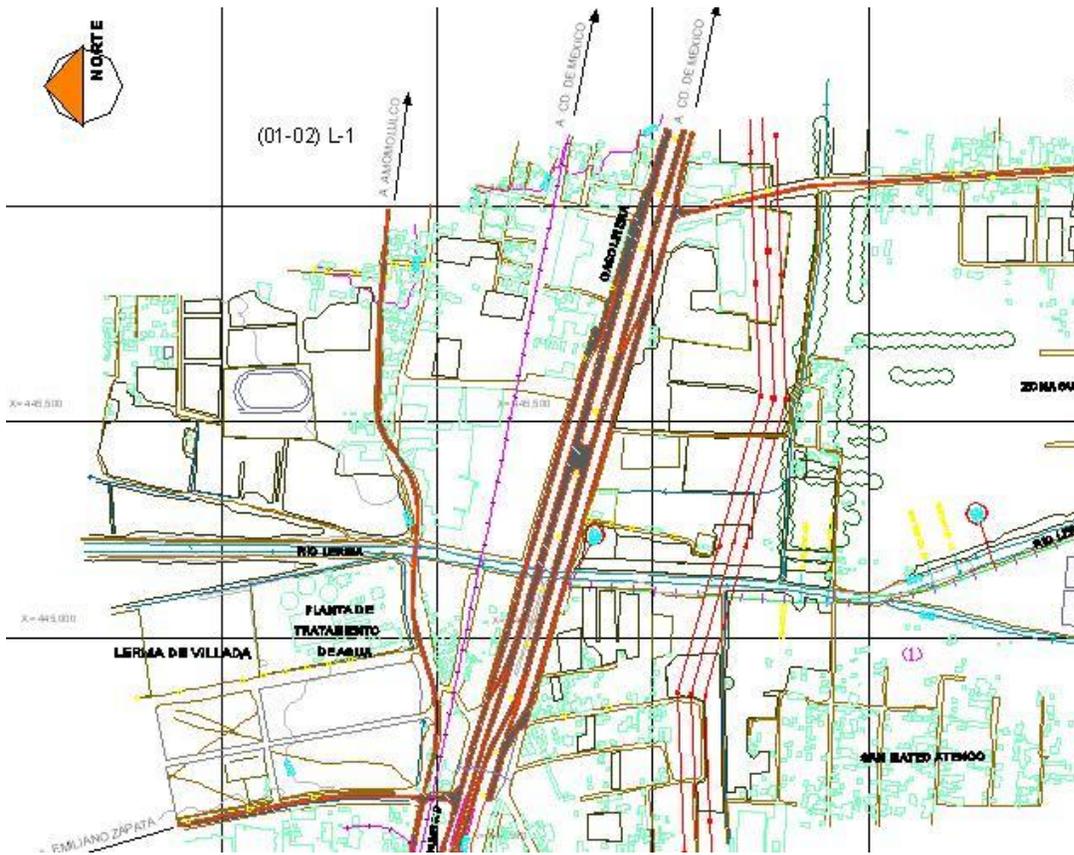
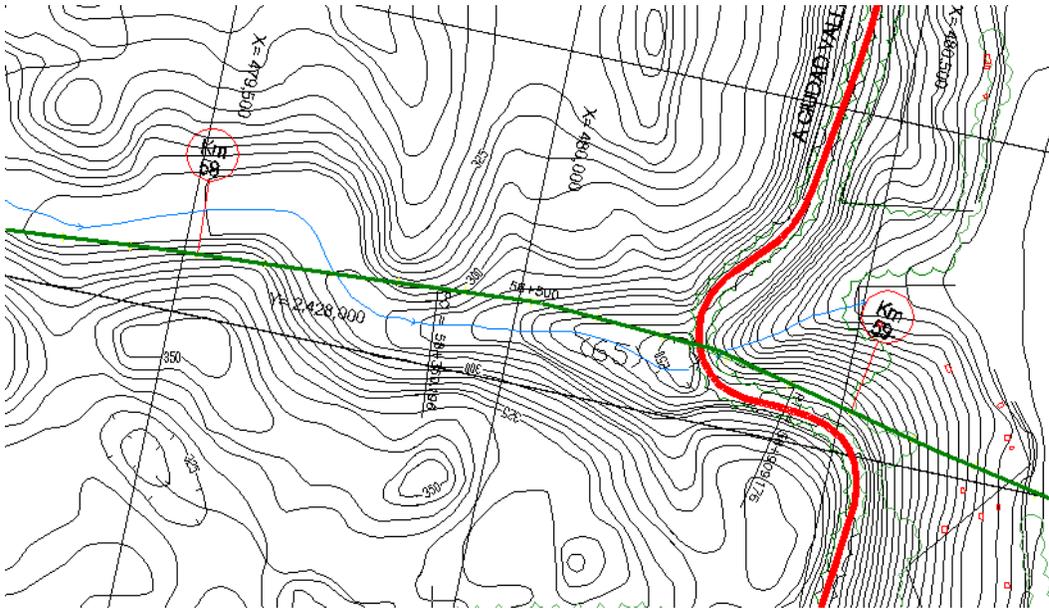
Existe una simbología para representar cada uno de los elementos restituidos, de forma que puedan ser interpretados posteriormente. Por ejemplo, un cauce con agua se representa en azul y línea continua; y sin agua en azul y línea discontinua. Cualquier elemento puntual tiene su símbolo.

Como se muestra en el ejemplo:

SIMBOLOGIA			
CARRETERA PAVIMENTADA		CANAL SENCILLO	
TERRACERIA		ESTANQUE	
VEREDA		RIO, ARROYO	
PUENTE		CORRIENTE INTERMITENTE	
TORRE DE ALTA TENSION		CANAL	
LINEA ELECTRICA		ZONA ARBOLADA	
FFCC		LIMITE DE PARCELA	
CONSTRUCCIONES		CURVA DE NIVEL MAESTRA	
MURO Ó CERCA DE PIEDRA		CURVA DE NIVEL ORDINARIA	
MANZANA		DEPRESION	
BANQUETA		COTA FOTOGRAMETRICA	
CERCA DE ALAMBRE		PUNTO DE CONTROL	

La información restituida se compone de puntos (X,Y,Z) y líneas, que son una secuencia de puntos. Cada punto o línea lleva asociado un código de la librería, que indica que tipo de elemento representa.

Además, los puntos pueden tener asociados textos o símbolos; las líneas un color, tipo y anchura como se muestra en los ejemplos.



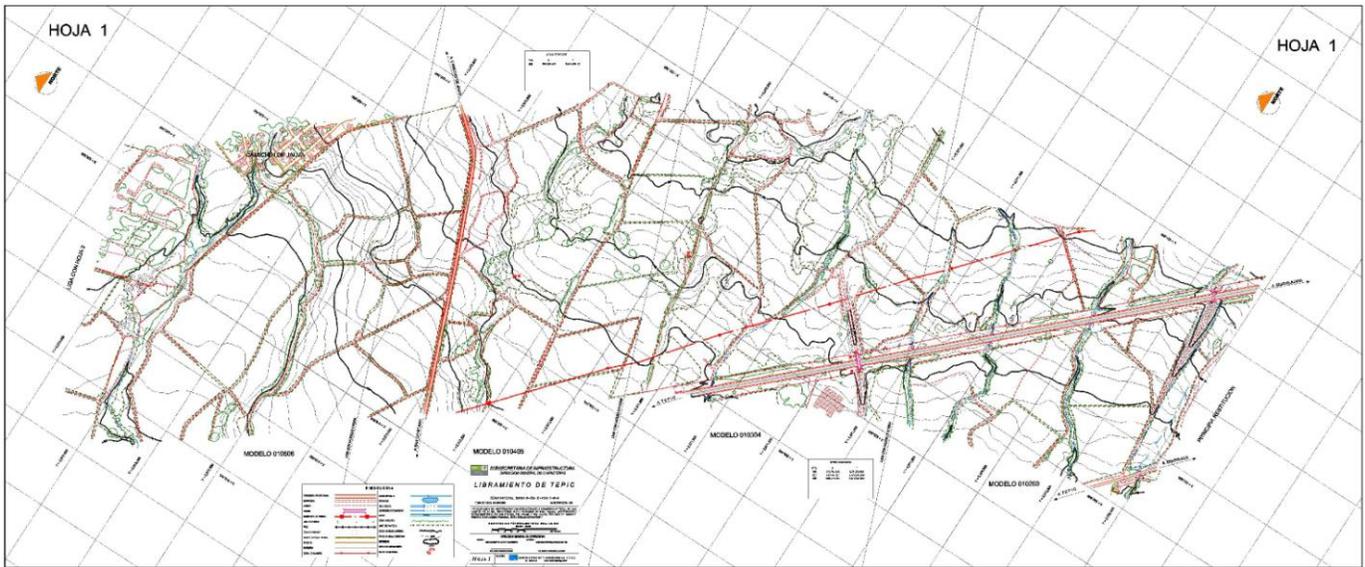
Se deberán acotar en tramos convenientes las curvas de nivel maestras, se trazará la cuadrícula anotando las coordenadas correspondientes a cada 200 m cercanas a la restitución. Deberán anotarse las ligas entre modelos consecutivos.

La edición del cuadro de datos incluirá el número del trabajo, nombre del proyecto, Dependencia contratante, fecha de vuelo, fecha de restitución, datos del modelo estereoscópico del que se trate (número de línea y fotos), escala de los planos elaborados, nombre del archivo digital y nombre y teléfono de “EL CONTRATISTA” que realizó el trabajo.

Como se muestra en el ejemplo:

 <b>SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA</b> <b>DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS</b>	
<b>LIBRAMIENTO SUR DE TULANCINGO</b>	
<b>CONTRATO No. 2001-R-CE-0-821-Y-0-8</b>	
FECHA DE VUELO: 19-MARZO-2001	No. DE PROYECTO: 5743
- "ELABORACION DEL PROYECTO FOTOGRAFICO PARA UN ANTEPROYECTO, CON VUELO ES. 1:10,000, APOYO TERRESTRE EN CAMPO Y RESTITUCION FOTOGRAFICA DEL LIBRAMIENTO SUR DE TULANCINGO, EN EL ESTADO DE HIDALGO."	
<b>RESTITUCION FOTOGRAFICA ESC. 1:2,000</b> ESCALA 1:2,000 	
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS	
REVISO : DEPARTAMENTO DE FOTOGRAFIA	APROBO : SUBDIRECCION DE FOTOGRAFIA
ING. JORGE RODRIGUEZ NORIEGA	ING. ROBERTO CASTAÑEDA ALVARADO
<b>HOJA 1</b>	ELABORO: <b>CONSULTORES BH Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.</b> Tel. 5593-95-49      email: <a href="mailto:consultbh@prodigy.net.mx">consultbh@prodigy.net.mx</a>

Una vez editados los planos, deberán ser graficados en papel bond para su revisión. Una vez que se haya obtenido el Vo.Bo. por parte de “LA DEPENDENCIA” serán graficados en película polyester kronaline o similar para graficador de inyección de tinta, creando un archivo digital en Autocad 2006 ó Autocad 2010 con extensión DWG para cada modelo, para su posterior grabación en un CD que será entregado a “LA DEPENDENCIA”.



## 5.2 MATERIAL QUE ENTREGARA EL CONTRATISTA

“EL CONTRATISTA” entregará a la “DEPENDENCIA” el siguiente material, como producto de los servicios contratados, consistentes en el revelado y proceso de rollos de fotografía aérea.

- 1.- Una carpeta conteniendo el Plan de Vuelo.
- 2.- El ó los rollos conteniendo los negativos de las fotografías aéreas debidamente ROTULADOS.
- 3.- Por cada escala de vuelo contratado se obtendrán DOS (2) juegos de fotografías de contacto, en uno de los juegos se utilizará para los trabajos de Apoyo terrestre donde se indicarán los vértices de las poligonales de referencia y los puntos de control fotogramétrico laterales. Los dos juegos deberán ser entregados a “LA DEPENDENCIA”.
- 4.- Diapositivas.- Por cada escala de fotografías contratada, se obtendrá un juego de diapositivas para realizar los trabajos de restitución fotogramétrica. El proceso de copiado de diapositivas deberá seguir los mismos lineamientos que las copias de contacto.
- 5.- Las copias de contacto deberán elaborarse en papel fotográfico, tonalidad semimate.

6.- Todas y cada una de las fotografías que hayan sido utilizadas en la elaboración del fotoíndice, deberán ser rotuladas por el reverso, para identificar a que trabajo corresponde, que escala tiene y cuál es la fecha de vuelo.

7.-Original y dos copias del Fotoíndice, reducido a la mitad de su tamaño normal.

“EL CONTRATISTA” deberá entregar a “LA DEPENDENCIA” el siguiente material como producto de los servicios contratados, consistentes en ejecución de Control Terrestre y Restitución Fotogramétrica Digital Esc. 1:2,000/2.

- 1.- Las fotografías aéreas (mismas que fueron proporcionadas por “LA DEPENDENCIA”) con los puntos de control terrestre fotoidentificados.
- 2.- Libretas de campo que contendrán los registros de las mediciones horizontales y verticales de los puntos de control terrestre. (poligonal de referencia y laterales).
- 3.- Restitución Fotogramétrica Digital.
  - a) Planos originales por modelo estereoscópico a escala 1:2,000 con curvas de nivel @ 2 m, en película polyester.
  - b) Un CD conteniendo los archivos digitales en Autocad 2006 ó Autocad 2010 con extensión DWG de los planos restituidos.
- 4.- Memoria técnica que contendrá la descripción de los trabajos realizados, listado de los puntos de control terrestre con sus coordenadas y memoria de cálculo.

## 6.-CONCLUSIONES.

En este tipo de proyectos es muy importante definir con exactitud la zona de estudio, para hacer un plan de vuelo con las líneas necesarias para cubrir lo que se quiere.

Cabe mencionar que este sistema de aerofotogrametría (con cámara analógica) ya tiene varios años, pero aun sigue funcionando en la actualidad por su alta precisión de las mediciones, gran productividad del trabajo, completa objetividad, confiabilidad de los resultados de las mediciones, obtener el trabajo en menor tiempo y costo.

La fotogrametría permite realizar mediciones precisas usando fotografías, a pesar de que presenta una gama de aplicaciones en diferentes campos y ramas de la ciencia a si como: la topografía, la astronomía, la medicina, la meteorología, la minería, la geología y muchos otros; tiene su principal aplicación en la cartografía topográfica.

Este proyecto se realizo con aparato de restitución conocido como el WILD B8 que es un aparato analítico y que es un poco más laborioso la realización de los planos fotogramétricos por lo tanto es mas tardado restituir un proyecto.

Hoy en día también contamos con estaciones digitales para restituir y el proceso es muy rápido, confiable y de excelente precisión. Con este tipo de aparatos podemos digitalizar proyectos de gran volumen en un menor tiempo que los aparatos anteriores.

Podemos mencionar algunos proyectos como: carreteras, presas, gasoductos, vías férreas, etc.

Por otro lado las cámaras fotográficas digitales han entrado con fuerza en los últimos años en todas las áreas donde fuera necesario el registro de imágenes. Se describen las características fundamentales de los sensores digitales comparándolos con los analógicos, destacando sus ventajas. Se abordan los dos tipos de cámaras, de línea y matriciales.

En el ámbito cartográfico, del mismo modo, elimina el paso necesario hasta ahora que era la transformación del formato analógico al digital (escaneo de negativos) para poder utilizar los modernos aparatos digitales de restitución. Este proceso ralentizaba el sistema de trabajo y era una fuente de pérdida de precisión. Por tanto ahora el proceso fotogramétrico es mucho más ágil ya que los soportes con toda la información salen del avión y entran sin paso intermedio

en los sistemas de obtención de cartografía, cuando no se envían por medios telemáticos desde la aeronave a las oficinas técnicas para obtener rápidamente el producto cartográfico.

Las cámaras analógicas y digitales son muy diferentes entre si, pero tienen cuatro componentes básicos que las caracterizan y son la óptica, el sensor, el procesador y el soporte de salida. Las diferencias fundamentales están en el sensor y el procesador.

Las actuales cámaras aéreas digitales ofrecen dos diferentes soluciones, la matricial y la lineal.

Las cámaras de línea barren el terreno de forma simultánea al avance del avión con 3 líneas pancromáticas. Tienen una única lente y un plano focal. Exponente de estas cámaras es la ADS-40 de Leica.

La toma de la imagen se realiza por barrido simultáneo en tres posiciones de la línea de toma, una hacia atrás otra hacia abajo y la tercera hacia delante. Posteriormente en posproceso se compondrán para formar una sola imagen

Las cámaras matriciales toman imágenes al modo de las cámaras convencionales, tienen varios objetivos que disparan simultáneamente, unos en pancromático (rojo, verde y azul) y otros en infrarrojo. Cuentan con varios planos focales y funden las imágenes en una única.

En este caso las imágenes no se obtienen de forma continua sino en sensores modulares matriciales simultáneamente. Dos son sus representantes en el panorama comercial, la Vexcel Ultracam de Inpho y la Z/I DMC de Zeiss/Intergraph.

Ventajas:

- Las imágenes son de gran estabilidad dimensional.
- La visualización es más fácil.
- Tratamiento por software.
- Procedimientos automáticos.
- Resultado en formato digital.
- Distribución de imágenes más fácil.

Desventajas:

- Se necesita un volumen alto de almacenamiento.

## **A 10.- BIBLIOGRAFÍA.**

Especificaciones Generales para el Proyecto Geométrico, Secretaria de Comunicaciones y Transportes , México, 1984.

Términos de Referencia de Fotogrametría, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México, 2011.