



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO

TESIS:

**“PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA
FOTOGRAMETRÍA ACTUAL”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:

CIRO ISRAEL BRAULIO VITE

MÉXICO, D. F.

SEPTIEMBRE 2005



Dedicatoria

A mis padres, **Salomón y Ma. Nieves**, por darme la vida e impulsar los proyectos emprendidos a lo largo de ella.

Gracias

Agradecimientos

*Deseo expresar mi agradecimiento, especialmente al **Ing. Ricardo López Ramírez**, por haberme brindado su apoyo en la realización de este trabajo.*

*A ti **Kitzia**, por brindarme tu apoyo y compañía incondicional tanto en los buenos como en los malos momentos.*

*A mi **familia**, por alentarme todo momento para la realización de mis metas.*

*A **Dios**, por guiarme por el mejor camino.*

Gracias

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1 Antecedentes.....	2
1.1 Orígenes y su desarrollo.....	3
1.2 Aplicaciones diversas.....	8
Bibliografía.....	11
Capítulo 2 Teoría de la fotogrametría.....	12
2.1. Fotografías aéreas.....	13
2.2. Mosaicos fotográficos.....	27
2.3. Estereoscopia.....	29
2.4. Plan de vuelo fotogramétrico.....	34
2.5. Restitución fotogramétrica.....	43
2.6. Paralaje.....	46
Bibliografía.....	52
Capítulo 3 Fotogrametría actual.....	53
3.1. Apoyo terrestre.....	54
3.2. GPS (Sistema de Posicionamiento Global).....	58
3.3. Estación total.....	83
3.4. Equipo fotogramétrico.....	88
3.5. La DVP (Digital Video Plotter).....	108
3.6. Software.....	128
Bibliografía.....	134
Capítulo 4 La fotogrametría en la Ingeniería Civil.....	135
4.1. La fotogrametría en la Ingeniería Civil.....	136
4.2. Ventajas de la fotogrametría actual.....	138
4.3. Desventajas de la fotogrametría moderna en México.....	139
4.4. El futuro de la fotogrametría en México.....	140
Bibliografía.....	145
Conclusiones	146

Introducción.

El presente trabajo habla de la ciencia fotogramétrica, de cómo a través de un par de fotografías de un mismo objeto tomados desde dos puntos de vista diferentes se logra la observación en tercera dimensión y gracias a este fenómeno obtenemos la geometría del mismo, es decir, área, volumen, longitud, además de otras propiedades que da la fotografía al captar fielmente al objeto y que un ojo entrenado puede interpretar como: forma, color, material, textura, etc., para hablar de todo esto comenzamos con los orígenes de esta ciencia desde el descubrimiento de la fotografía con Daguerre, la visión de Francois Arago, científico y político francés quien pensó en usar a la fotografía con fines topográficos, hasta ya propiamente los primeros trabajos fotogramétricos con el Coronel Aimé Laussedat, del Cuerpo de Ingenieros de la Armada Francesa, con un globo y una cámara fotográfica acondicionada, la invención y posterior desarrollo de la aviación que le dio un impulso notable a esta ciencia durante las primera y segunda guerras mundiales.

Hablamos de los principios fotogramétricos como la visión estereoscópica, paralaje, la marca flotante, hablamos también de los equipos analógicos y digitales de la actualidad, desde las diferentes cámaras aéreas y las diferentes fotografías que de ellas se obtienen, hasta los equipos con los que se obtienen las propiedades geométricas de las fotografías que ya mencionamos. También sobre la planeación de los vuelos fotogramétricos y el trabajo extra (apoyo terrestre) que complementa el proceso fotogramétrico.

Evidentemente que el desarrollo tecnológico ha influido en la Fotogrametría, con los lanzamientos en la década de los 70's de satélites espaciales y su posterior desarrollo derivó nuevos conceptos y formatos de percepción remota, los cuales también derivaron nuevos procedimientos en el manejo de imágenes y el desarrollo de mapas temáticos con múltiples aplicaciones.

El desarrollo de las computadoras simplifico mucho el trabajo fotogramétrico y se ve reflejado en menor tiempo de trabajo y cada vez mayor precisión. El avance tecnológico también evoluciono otras ciencias como la topográfica y que como ya mencionamos complementan el trabajo fotogramétrico, en la actualidad se cuenta con equipos topográficos de mayor precisión que mejoran el tiempo empleado como la Estación Total y el equipo GPS. La primera aprovecha la óptica y la electrónica y la segunda la tecnología satelital.

Las Ingeniería Civil, aprovecha las ventajas de esta ciencia para sus propios fines, es decir, cuando en el desarrollo de una obra civil requiere planear y proyectar, utiliza planos, mapas, imágenes o fotografías aéreas que de los procesos fotogramétricos se derivan, las cuales le ayudaran en la toma de decisiones al planear y proyectar, ejemplo: en el caso de una presa, podrá decidir donde construir la cortina, que área inundar para el embalse, donde construir el cuarto de máquinas, etc., pudiendo identificar en estos planos, mapas, imágenes o fotografías aéreas estructuras geológicas, vegetación, cuerpos de agua, entre otros, además de la geometría del terreno como pendientes, laderas, barrancas, representadas con curvas de nivel, además de conocer la ubicación exacta de cada punto representado en la imagen debido a la georeferenciación que la tecnología satelital nos brinda. Y así como este ejemplo podría ser una carretera, un gasoducto, un aeropuerto, puerto marítimo, líneas eléctricas, telefónicas, etc. Estructuras que son importantes en el desarrollo de un país.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.

Objetivo: Conocer a la Fotogrametría a través de su historia y definir en forma general algunas aplicaciones.



1.1 ORÍGENES Y SU DESARROLLO

Fotogrametría, se puede definir como la ciencia que auxiliada de otras ciencias trata de los métodos necesarios para transformar la proyección cónica de las imágenes fotográficas en una proyección ortogonal a escala.¹

Algunos autores la definen como la ciencia o arte de obtener medidas confiables por medio de fotografías con el fin de determinar las características geométricas de los objetos fotografiados.

Una definición más actual es la que da la Sociedad Americana de Fotogrametría; como el arte, ciencia y tecnología de obtención de relieves de objetos físicos y el medio, a través de procesos de registros, medidas e interpretación de imágenes fotográficas, patrones de energía radiante electromagnética y otros fenómenos.

Aunque la Fotogrametría ahora incluye el análisis de otros registros tal como patrones de ondas de radio y fenómenos electromagnéticos (percepción remota), la fotografía es todavía el principal origen de información; así pues demos un breve vistazo a los orígenes y desarrollo de la Fotogrametría.

La Fotogrametría, propiamente, comienza con la aplicación de la fotografía en trabajos topográficos, sin embargo antes de la invención de la fotografía se inició el uso de las perspectivas dibujadas a mano con el fin de levantar cartas de costas, construcciones o paisajes. Así, en 1726, Cepellen las utilizó para levantamientos costeros y, en 1759, J.H. Lambert estableció las matemáticas para la transformación de una perspectiva.

1839

En agosto de 1839, hace ya 166 años, Francois Arago hacía la presentación del daguerrotipo en el Palacio del Instituto de Francia, durante una sesión de la Academia de Ciencias. Con ese acto, la invención de Louis Daguerre era ofrecida al dominio público tras arduas negociaciones con el gobierno francés para la adquisición de la patente.

Daguerre había nacido en 1787 en una localidad próxima a París, Cormeilles en París. "Pintor y decorador, había hecho decorados de teatro muy apreciados y, sobre todo, era famoso por su Diorama donde aprovechaba sus conocimientos en perspectivas y en juegos de luces. Era una variante del Panorama creado en Inglaterra por Robert Beker en 1793. Se trataba de un amplio decorado de varios planos recortados que, con luces apropiadas, daba una impresión de perspectiva. El Diorama de Daguerre y Bouton, su socio, instalado en 1822 cerca de los Boulevares, en la actual plaza de la República, atraía a las muchedumbres". Para la realización de los decorados pintados del Diorama, Daguerre recurría con frecuencia a la "cámara oscura", utilizada por pintores, dibujantes y naturalistas desde el Renacimiento, comprándole los objetivos a los hermanos Vincent y Charles-Louis Chevalier, ópticos de renombre en París y diseñadores de un doblete tipo menisco f: 16 (luego reducida a f: 12) que, con algunas variantes, se continúa fabricando hasta el presente para equipar cámaras de foco fijo de bajo precio. Chevalier era también proveedor de Niepce, quien se encontraba investigando la posibilidad de registrar imágenes imperecederas por medio de la cámara oscura y que en los años 1826 ó 1827 había logrado resultados positivos aunque no lo dejaron satisfecho. ¹

¹ PAUL R. Wolf MC Graw, ELEMENTS OF PHOTOGRAMMETRY KOGAKUSHA LTD JAPAN, PAG. 1

Es así que Chevalier actuó de contacto entre Niepce y Daguerre, quienes en 1829 firmaron un acuerdo societario para darle un mayor impulso a las investigaciones que estaban llevando a cabo. En rigor, a las investigaciones de Niepce, ya que Daguerre era poco y nada lo que había investigado sobre el tema.

Lo cierto es que Daguerre heredó los conocimientos de su socio. Había iniciado "en 1826 una correspondencia con Niepce y para 1829 había logrado impresionarle lo suficiente con sus conocimientos e ingenio como para convencerle de que se asociara con él y reunieran sus recursos, y ello pese a que Daguerre no había podido crear ni una imagen siquiera estable". En 1833 falleció Niepce, y Daguerre, basándose en los descubrimientos de su socio, siguió adelante hasta que, accidentalmente, descubrió el revelado.

Un accidente afortunado

Daguerre había guardado en una alacena una placa de cobre plateada y sensibilizada con yodo en la que, tras la exposición en la cámara oscura, no había logrado ninguna imagen. Días después, se topó con esa placa y observó que se había formado parcialmente en la superficie una tenue imagen. Cerca de la placa había un termómetro de mercurio que estaba roto, por lo que dedujo que existía una relación entre la imagen y ese metal. Lo cierto, es que los vapores del mercurio habían "desarrollado" la imagen latente. De ahora en más, era suficiente exponer por un tiempo relativamente breve la placa sensibilizada y luego, químicamente, revelar la imagen. El "accidente" había ocurrido en 1835, pero tardó dos años en lograr un procedimiento científico para hacer el "daguerreotype", tal como lo bautizó.



Figura 1.

Vista del Boulevard du temple, París, 1838, daguerrotipo realizado por Louis Daguerre. En el ángulo izquierdo aparece, por primera vez una persona en un daguerrotipo. Colección del Bayerisches Nationalmuseum, Munich.

Primero tuvo que encontrar un método para fijar las imágenes y hacerlas estables, sirviéndose para ello del tiosulfato de sodio. Después se empeñó en encontrar un método de comercialización, que era una de las cosas que más le preocupaban.

Intentó primero vender acciones pero fracasó en su intento por ganar socios porque se negaba a dar a conocer siquiera alguno de los aspectos del invento. Incluso "a menudo cambiaba de droguería para comprar los productos que utilizaba y muchos los adquiría no ya para usarlos sino con la finalidad de dar pistas falsas a los que se interesaban por la orientación de sus experimentos. Lo cierto es que carecía de la formación científica de Niepce, y por ello actuaba de forma totalmente empírica".

Finalmente se pudo contactar con el científico Francois Arago que era, además, presidente del bloque demócrata izquierdista, opositor a los Republicanos en la Cámara de Diputados. Arago se embanderó en la causa daguerreana y realizó una campaña política para que el Estado francés comprara la patente del invento y la diera a conocer públicamente, con lo que le solucionaba todos los problemas económicos a Daguerre y le proporcionaba a Francia la gloria y el reconocimiento internacional, "uno de los más maravillosos descubrimientos que honran a nuestro país", como expresó al ministro del Interior, Duchatel, al presentar el proyecto de ley.

Como si los argumentos de Arago fueran pocos para convencer a los más remisos a votar favorablemente, en marzo de 1839 un incendio destruyó completamente el Diorama de Daguerre, dejándolo en la ruina. El Estado aceptó otorgarle una jugosa pensión a cambio de la patente.

"El 30 de julio, la Cámara de los Pares confirmó la votación de la ley con voto también unánime, después de haber oído un discurso de (Louis-Joseph) Gay-Lussac en que ni se nombró a Niepce".

El invento de Louis Daguerre había sido presentado con toda pompa en el Instituto de Francia durante la histórica sesión de la Academia de Ciencias del 19 de agosto de 1839, por Francois Arago que, en su discurso de inauguración, hizo una encendida apología de las posibilidades del procedimiento expresando que "para copiar los millones y millones de jeroglíficos que cubren, en el exterior incluso, los grandes monumentos de Tebas, de Menfis, de Karnak, etc. ...se necesitarían veintenas de años y legiones de dibujantes. Con el daguerrotipo, un solo hombre podría llevar a buen fin ese trabajo inmenso... Cabe esperar que puedan obtenerse mapas fotográficos de nuestro satélite. Es decir, que en unos pocos minutos se ejecutará uno de los trabajos más largos y delicados de la astronomía...". Con una visión profética, Arago mencionó algunas de las aplicaciones que hoy son de uso común por medio de la fotografía satelital y en la investigación científica.

Un año después del invento de Daguerre, Arago, que además era un geodesta de la Academia Francesa de la Ciencias, demuestra el uso de las fotografías en la Topografía.

En cuanto se logro hacer fotografías de un modo práctico, se pudo apreciar que la fotografía era el medio más ventajoso de conservar los diferentes puntos y líneas provenientes de los objetos fotografiados, pero había que idear la manera de reconstruir en un momento dado la forma y dimensiones de lo fotografiado, fue así como el Coronel Aimé Laussedat del Cuerpo de Ingenieros de la Armada Francesa, inició sus investigaciones para probar la utilidad de la fotografía con fines topográficos. En 1849 toma las primeras fotografías aéreas con la ayuda de un globo y una cámara fotográfica acondicionada y en 1851 inventó el primer método de restitución basado en dos fotografías de un mismo objeto tomados desde los extremos de una línea llamada base (Figura 2).²

2 PAUL R. Wolf MC Graw, ELEMENTS OF PHOTOGRAMMETRY KOGAKUSHA LTD JAPAN, PAG. 2 Y 3

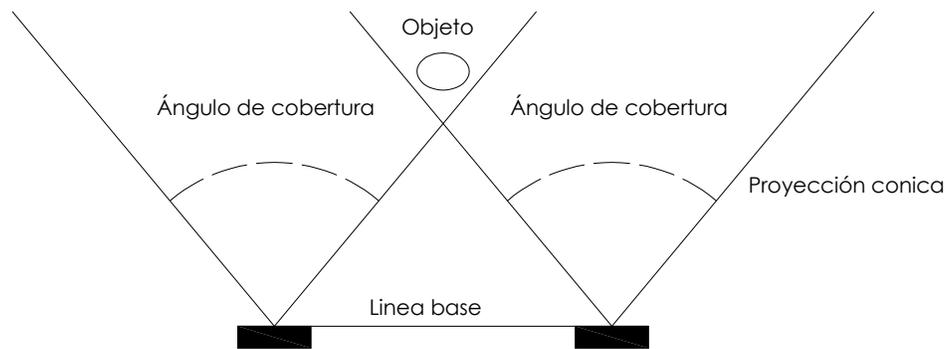


Figura 2.

Como resultado de sus experiencias, presento en 1857 el primer fototeodolito (Figura 3), combinación, de teodolito y cámara y el primer plano de París, levantado con fotografías terrestres.



Figura 3.

Posteriormente a los métodos de Laussedat, simultáneamente los profesores Porro de Italia y Koppe en Alemania diseñaron procedimientos similares para mejorar los principios geométricos de la restitución fotogramétrica, Porro en 1871 construye un Fotogoniómetro para la determinación sobre las fotografías de los ángulos horizontales (acimutes) y verticales (alturas). En 1896 da a conocer Koppe su Teodolito comparador, de iguales aplicaciones que el Fotogoniómetro de Porro.

En 1892 Stolze descubrió el principio de la marca flotante¹, el cual fue puesto en práctica por Pulfrich, con lo que se inició la Estereofotogrametría.

En 1898, nace el fotomapa (mosaico), el cual viene a llenar las exigencias de cubrir grandes superficies de terreno deducidas de vistas aéreas; el principio son los dobles proyectores.

En 1901 Pulfrich, diseñó en forma independiente un estéreo-comparador e instruyó el método de levantamiento y restitución.

Con el nacimiento de la aviación gracias a los hermanos Wright en 1903, se tuvo un impulso para la toma de las fotografías aéreas y el desarrollo más amplio de la restitución. Durante el transcurso de la Primera Guerra Mundial, las fotografías se empleaban, sobre todo, para adquirir información de reconocimiento, esto hizo que se incrementaran las investigaciones en el terreno fotogramétrico, se perfeccionaron las cámaras aéreas y se inventaron instrumentos de restitución más precisos.

¹ Marcas idénticas o complementarias sobre puntos homólogos en un par de fotografías, que se verán fusionadas en una sola marca flotante, aparentemente formando parte de la imagen ya la misma altura de la zona que lo rodea, se verá a detalle en el capítulo correspondiente.

La Fotogrametría avanzó rápidamente de 1920 a 1940 y recibió un fuerte impulso por las necesidades de la Segunda Guerra Mundial. Desde entonces, las mejoras en las capacidades de medición de los instrumentos fotogramétricos y en las técnicas operativas han ido al parejo con los avances en la fotografía.

En el primer congreso de Fotogrametría en el año de 1913 en la ciudad de Viena Austria, se contaba ya con nuevas y valiosas aportaciones en la Fotogrametría ahí el Capitán Cesare Tardivo presento un mosaico en la escala de 1:4000 de la ciudad de Bengasi, Italia.

En 1915, se obtiene el doble proyector que sirve para tomar fotografías verticales.

En el año de 1930 se editaron los primeros libros de Fotogrametría por los profesores alemanes Von Gruber y Gast Hegershoff.

La Fotogrametría se ha desarrollado en todos los sentidos y como consecuencia de ello, hubo una rápida transformación fundamental en la técnica de los levantamientos topográficos.

Se debe considerar ante todo, la elaboración de procedimientos de triangulación aérea, cuyas características están basadas en los estudios realizados por Shceimpflug, S. Finswterwalder y principalmente por O. V. Gruber llevados acabo en 1944. Durante los últimos decenios se hace uso corriente de la estereofotogrametría, con aparatos automáticos que con toda precisión y en muy poco tiempo representan con toda fidelidad el terreno fotografiado, construyéndose así planos con curvas de nivel a escala, además para toda clase de aplicaciones prácticas. En la actualidad se utilizan computadoras con su respectivo software en muchos de los aparatos de análisis y representación.

Podemos considerar que la Fotogrametría en nuestro país se inició aproximadamente en 1930, cuando el ingeniero Luis Struck fundó la compañía mexicana Aérofoto S.A., y su aplicación posterior en las instituciones de gobierno como la Secretaría de Obras Públicas, la Secretaría de la Defensa Nacional a través de su Departamento de Cartografía y la Secretaria de Programación y Presupuesto a través del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).



Figura 4.

Enseguida se presentan a manera de resumen algunos hechos históricos de la Fotogrametría.

- ❖ 1726: Con anterioridad al nacimiento de la fotografía, Cepeller traza una carta del macizo de Pilatos, partiendo de perspectivas dibujadas a mano.
- ❖ 1759: J. H. Lambert en su obra "*Perspectiva libre*", desarrolla el procedimiento sistemático para la transformación de una perspectiva y se realizan aplicaciones aisladas tales como levantamientos de cartas de costas.
- ❖ 1816: Nicéphore Niépce logra imágenes sobre papel mediante la cámara oscura.
- ❖ 1839: Francois Arago después de que Daguerre hace público el invento de la fotografía inmediatamente piensa en utilizar el descubrimiento en los levantamientos topográficos.
- ❖ Entre 1851 y 1857 el Coronel francés Aimé Laussedat, a quien se le considera el fundador de la Fotogrametría, a la que él designó como metrofotografía, crea el primer instrumento apropiado para los levantamientos fotogramétricos y el primer método de restitución por intersecciones.
- ❖ 1898: Scheimpflug, Capitán austriaco, desarrolla el doble proyector, realiza fotomapas a partir de fotografías aéreas, establece la teoría de la transformación y a él se le debe la teoría de la triangulación radial.
- ❖ 1899: Primera obra teórica de Fotogrametría, escrita en español: "*Topografía Fotográfica*" de Iriarte y Navarro.
- ❖ 1901: Pulftich "padre de la estereofotogrametría" construye el estereocomparador con el que se inicia una nueva era en el campo de la Fotogrametría.
- ❖ 1909: La Fotogrametría terrestre alcanza su plenitud gracias al teniente austriaco Von Oreel, inventor del estereoautógrafo, aparato de restitución automática.
- ❖ 1913: Se celebra en Viena el Primer Congreso Internacional de Fotogrametría.
- ❖ A partir de esta fecha la Fotogrametría se ha desarrollado en todos los sentidos.

1.2 APLICACIONES DIVERSAS DURANTE SU DESARROLLO.

La visión de Francois Arago de utilizar la fotografía con fines topográficos, marco al descubrimiento de Daguerre de solo registrar eventos socio-históricos al uso del mismo para fines distintos concebidos por el propio Daguerre, el desarrollo de la Fotogrametría esta ligado con los distintos usos, desde el Coronel Aimé Laussedat en reconocimiento aéreo desde globos hasta la Primera y Segunda Guerra mundial ya en vehículos aéreos motorizados y equipos fotogramétricos más desarrollados que en la actualidad sigue siendo desarrollada por militares para sus propios fines.

La Fotogrametría es uno de los principales medios para la cartografía. Por ejemplo, el Servicio Geológico de Estados Unidos emplea los métodos aereofotogramétricos casi exclusivamente para elaborar cartas de cuadrangulación. Continuamente se mejoran las cámaras, películas, instrumentos y técnicas especiales, de modo que los planos y cartas elaborados fotogramétricamente en la actualidad satisfacen normas de muy alta precisión. Otras ventajas de este método de cartografía son:

- ❖ La rapidez de cobertura de una zona o región.
- ❖ Costo relativamente bajo.
- ❖ Facilidad de obtener detalles topográficos, especialmente en zonas inaccesibles.
- ❖ Probabilidad reducida de omitir datos, por razón de la cantidad enorme de detalles que se indican en las fotos.

El avance cartográfico mundial hasta 1970, únicamente cubría el 20% de la superficie terrestre, con representaciones a escala de 1: 1 000,000 ó menores, dicha escala es considerada como la mínima útil para planear programas de desarrollo, las cuales no resultan suficientes para las aplicaciones dentro de las ramas de la Ingeniería. Si observamos esto, encontramos que sería imposible cartografiar el 80% de la superficie terrestre restante con los métodos tradicionales, entendiéndose el por qué de la aplicación de la Fotogrametría en esta labor.

El perfeccionamiento de estas técnicas, equipo y material, se complementa actualmente con los procesos electrónicos automatizados, las técnicas espaciales y muchos otros mecanismos que hacen de la fotografía aérea y de las imágenes fotográficas una mejor herramienta para el mejor conocimiento de los recursos de la corteza terrestre.

Ha sido a partir de las llamadas tecnologías espaciales que se han desarrollado otros tipos de sensores, con principios totalmente diferentes a los que rigen las cámaras fotográficas comunes y la "impresión" de la fotografía misma.

Estos sensores, montados en satélites artificiales u otros vehículos aéreos, permiten captar los diversos rangos de energía que reflejan o emiten los diversos cuerpos de la corteza terrestre, y, posteriormente, enviar estas señales a estaciones receptoras terrestres o se encarga directamente de su registro en cintas analógicas, CD's, DVD's y otros, o de su representación en imágenes fotográficas. Este proceso permite diferenciar técnica y prácticamente los materiales aerofotográficos de las "fotografías" y de las "imágenes".

En tal sentido consideramos a la fotografía como aquella que se obtiene a través de una proyección geométrica central, utilizando una cámara fotográfica que haga pasar por su lente en forma directa los rayos de luz que impresionan una emulsión fotográfica.

La Fotogrametría tiene en la actualidad muchas aplicaciones en Ingeniería y Topografía. Por ejemplo, en el campo de la Ingeniería de carreteras se emplea extensamente, primero la fotointerpretación en la zona del anteproyecto, para posteriormente elaborar los planos y las secciones transversales necesarias para el reconocimiento del terreno, la planeación preliminar, la selección del trazo o itinerario, y el proyecto definitivo incluyendo las cantidades de obra a evaluar. Otra aplicación significativa es la determinación precisa de coordenadas de puntos en tierra para levantamientos de control, catastrales y para construcciones. Es de esperar que la Fotogrametría desempeñe un papel importante en la obtención de datos necesarios para los sistemas catastrales modernos.

La Fotogrametría básica se aplica también con éxito en muchos campos ajenos a la ingeniería civil o de construcción. Por ejemplo, en geología, arqueología, servicio forestal, agricultura, conservación ecológica, planificación, operaciones militares de inteligencia, medicina, odontología, control de tránsito urbano y en carreteras principales, investigación de accidentes, etc. (En este trabajo de tesis, se abarcará en el capítulo 4 en forma general su aplicación en la Ingeniería civil). Las aplicaciones de la ciencia y la ingeniería fotogramétrica han aumentado notablemente en años recientes, y su crecimiento futuro para resolver complejos problemas de medición y cartografía está asegurado.



Figura 5. Fotografías Aéreas.

Bibliografía:

- **PAUL R. WOLF 1974 ELEMENTS OF PHOTOGRAMMETRY, EDIT. MC GRAW HILL JAPON PAG 1 a 72.**
- **WOLF / BRINKER, 1977, TOPOGRAFIA, EDIT. ALFAOMEGA MÉXICO D.F PAG 675 A 682.**

CAPÍTULO 2: TEORÍA DE LA FOTOGRAMETRÍA.

Objetivo: Definir los conceptos básicos para la comprensión de la teoría fotogramétrica.



2.1 FOTOGRAFÍAS AÉREAS.

Como la Fotogrametría es la ciencia o arte de realizar mediciones precisas con base en fotografías aéreas, para hablar de ellas hay que hablar primeramente de las cámaras con las que se obtienen. La cámara aérea es el instrumento de Fotogrametría que registra la información de la superficie de la tierra por medios fotográficos. Todo este acopio de información se procesa fotogramétricamente para la producción de mapas o planos.

Las cámaras fotográficas aéreas son instrumentos de precisión destinados a tomar fotos desde aeronaves. Las cámaras aéreas se mueven durante la exposición, por lo que se requieren tiempos cortos de exposición, con obturadores de gran eficiencia y negativos con emulsiones de alta velocidad. Se tienen que realizar un gran número de exposiciones en rápida sucesión, el intervalo entre exposiciones debe ser corto y los almacenes (magacín) deben ser de gran capacidad para reducir el número de veces que se debe recargar la cámara durante el vuelo.

El desarrollo de cámaras de precisión con lentes de alto poder de resolución, y distorsión despreciable, constituye uno de los avances más significativos de la Fotogrametría.

Si se considera que un sensor remoto es un instrumento que recopila información de un objeto sin estar en contacto directo con él, las cámaras aéreas pueden considerarse como sensores remotos que trabajan con negativos provistos de emulsiones sensibles a las longitudes de onda comprendidas entre 0.45 y 1.30 micrones (ultravioleta-infrarrojo) del espectro electromagnético. Las cámaras fotográficas aéreas son sensores clasificados como pasivos ya que reciben la energía emitida por otra fuente generalmente el sol, reflejada por los objetos sobre la superficie terrestre, es decir, no tienen fuente de energía propia como el radar.

Clasificación.



Figura 6. Cámara Zeiss RMK

Las cámaras aéreas se pueden clasificar desde distintos puntos de vista. Principalmente se clasifican con respecto a su tipo de formato, campo angular del objetivo, uso, y la inclinación del eje óptico de la cámara.

Formato: las cámaras pueden clasificarse como cámaras con formato o cámaras sin formato.

- a) *Cámaras con formato:* son aquellas en que el formato, por lo general de forma cuadrada, (18x18cm. 23x23cm. 30x30cm. o rectangular 18x12cm.) limita la imagen expuesta a través del objetivo. La exposición se controla por el tiempo y la abertura del diafragma.

a) *Cámaras sin formato*: son aquellas en que la imagen se registra en forma continua sobre una faja, por integración de rectángulos transversales angostos. Las cámaras panorámicas y las continuas pertenecen a este grupo.

Para la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería y cartográficas, la cámara con formato es la más común y por tanto nos centraremos en ella.

Campo angular del objetivo (cámara con formato).

Dentro de esta clasificación la cámara puede dividirse en tres grupos:

1. Cámara normal:

f: 300mm.

Angulo de toma: 60°

2. Cámara gran angular:

f: 150mm.

Angulo de toma: 90°

3. Cámara súper gran angular:

f: 88.5mm.

Angulo de toma: 120°

f: Distancia focal o principal.

Tipo normal. Trabajos donde la planimetría requiere de gran precisión, por ejemplo proyectos de catastro, sin embargo, en los proyectos fotogramétricos realizados con esta cámara, los costos son mayores debido al área poco cubierta de terreno por cada fotografía.

Tipo gran angular. La cámara gran angular ha desplazado a la de ángulo normal por su mayor rendimiento económico, y representa una situación intermedia entre la cámara normal y súper gran angular.

Tipo súper gran angular. Cubre casi el doble del área que cubre la cámara gran angular, se usa en trabajos altimétricos en regiones de topografía relativamente plana o no muy accidentada (medición de curvas de nivel, etc.). Esto es así por que las distorsiones provocadas en la imagen son mayores y para dar mayor posibilidad de observar estereoscópicamente los desniveles del terreno más leves, su uso principal es para la fotointerpretación.

Uso: el uso o finalidad principal en la cual se emplean las imágenes obtenidas con cámaras aéreas, constituyen otro criterio para su clasificación. Puede hablarse de tres grupos:

- a) Cámaras de reconocimiento. Su finalidad es producir imágenes para identificar objetos, pero con ellas no se realizan operaciones métricas, por no conocerse exactamente los datos de calibración de la cámara.
- b) Cámaras métricas o cartográficas. A diferencia de las anteriores, su principal objetivo es captar imágenes para realizar con ellas todo tipo de mediciones. Su orientación interna o calibración debe permanecer constante durante cierto tiempo y debe conocerse en forma exacta.
- c) Cámaras especiales. Son aquellas cuyo diseño obedece a propósitos especiales como, por ejemplo, fotografía nocturna, fotografía infrarroja.

Inclinación del eje óptico de la cámara.

Por diversas razones, la fotografía vertical es la de uso más común en proyecciones de mapeo y en fotointerpretación. Sin embargo, no se deben olvidar las fotografías tomadas con cámaras inclinadas, utilizadas en proyectos especiales y en fotointerpretación.

En función de la inclinación del eje óptico las cámaras pueden clasificarse en:

- a) cámaras para fotografías verticales. Se dice que una fotografía es vertical cuando la inclinación del eje óptico de la cámara con respecto a la vertical es hasta de 3° en el momento de la exposición.
- b) Cámaras para fotografías inclinadas. Las cámaras pertenecen a este grupo cuando el ángulo de inclinación del eje óptico con respecto a la vertical es mayor de 3° e inferior a 90° . Las fotografías inclinadas pueden dividirse en dos grupos: inclinadas y muy inclinadas, también conocidas como fotografías oblicuas bajas y oblicuas altas, respectivamente. Una fotografía es inclinada cuando la inclinación del eje o de la cámara desde 7° a 18° ya sea convergente, inclinación a lo largo de la dirección de vuelo; u oblicua, inclinación en dirección perpendicular a la línea de vuelo y tiene la particularidad de que el horizonte no aparece. Una fotografía muy inclinada es aquella en que aparece el horizonte.
- c) Cámaras para fotografías terrestres. Es un tipo especial de cámara diseñada para tomar fotografías horizontales y se emplea en combinación con un fototeodolito; el eje de la cámara tiene una inclinación de 90° con respecto a la vertical.

Componentes de la cámara.

La cámara está suspendida en un montaje de modo que queda libre para girar alrededor de los tres ejes principales. El siguiente esquema (Figura 7) muestra las partes más significativas de una cámara aérea.

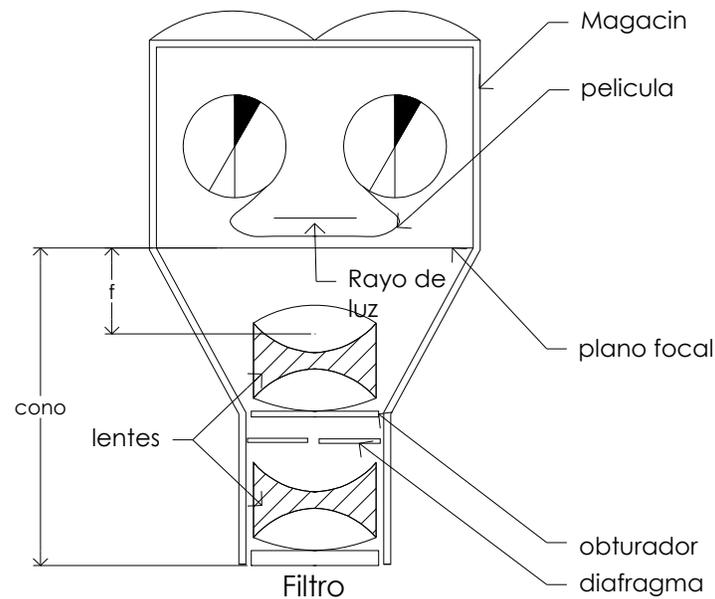


Figura 7.

La siguiente es una descripción general del esquema presentado:

Mecanismo óptico.

Sistema de lentes: formado por dos o más elementos acoplados de tal forma que permiten el paso de los rayos de luz que llegan a la película para formar las imágenes de los objetos fotografiados.

El diafragma: este elemento regula el paso de los rayos de luz y esta formado por hojillas metálicas superpuestas y con movimiento giratorio.

Obturador: este elemento es el que controla el intervalo de tiempo en que los rayos de luz penetran al plano focal o a través del diafragma y debido a la velocidad que el avión lleva, el obturador esta construido de tal forma que sus movimientos son de fracción de segundos hasta de un milésimo.

Filtro: este elemento selecciona el tipo de luz que penetra en la cámara, eliminando particularmente la luz azul y violeta para película blanco y negro, estableciéndose entonces que el color del filtro puede variar de acuerdo a la película usada desde el amarillo claro hasta el rojo oscuro.

Los filtros de uso más común en la obtención de fotografías aéreas son los siguientes:

Neutros: para compensar el espesor de otros filtros y el efecto que produce el azul del cielo.

Amarillo: limita la influencia de la niebla atmosférica y absorbe las radiaciones ultravioletas y azules.

Rojo-naranja: absorbe la radiación azul-verde y limita el efecto de la niebla atmosférica en fotos aéreas infrarrojas.

Monocromática: son filtros especiales que cortan o transmiten únicamente las radiaciones correspondientes a una sola banda (color) del espectro electromagnético. Si se utiliza en combinación con emulsiones infrarrojas o pancromáticas, producen imágenes multispectrales.

Cuerpo de la cámara.

Se llama así a la parte física de la cámara que de acuerdo con el diseño particular de cada modelo, incluye al cono de la misma y al plano focal. Dentro del cuerpo de la cámara se presenta un elemento básico de la misma que define la geometría de las fotografías llamándosele distancia focal. Otro elemento importante en el cuerpo de la cámara es el referente al formato de la cámara el cual depende de las marcas fiduciales².

Cono.

La finalidad del cono de la lente, llamado también cono de la cámara, es servir de soporte al objetivo y permitir que sólo la luz que pase a través del objetivo llegué a la película.

El cono y el cuerpo de la cámara se emplean también para mantener el objetivo a una distancia fija (distancia principal f) del plano focal definido por el marco superior del cuerpo de la cámara.

Cono interno.

En realidad, en las cámaras métricas el cono es un cono interno que contiene el objetivo y las marcas fiduciales, y esta construido de un material con un coeficiente de dilatación térmica muy baja, para mantener el objetivo, el eje óptico y el marco con las marcas fiduciales en posición rígida en las condiciones normales de funcionamiento de la cámara.

Magacín.

Este elemento es el que guarda la película virgen y sensibilizada utilizada para la toma de fotografías y esta diseñada de tal manera que permita la carga y descarga de la película de una forma sencilla y tiene una capacidad para llevar desde 50 hasta 120m de película.

² Las marcas fiduciales. Están en el marco que definen el formato, y son señales indicativas opuestas que definen los ejes x, y de la fotografía y cuya intersección define el punto principal.

Mecanismo de avance y vacío.

Este mecanismo que se incluye en los componentes de la cámara, tiene dos finalidades:

- a) Avanzar la película entre exposición y exposición.
- b) Mantener completamente plana la película en el momento de la exposición, creando para ello un vacío mediante una succión de aire contenido en la cámara.

Ambas operaciones están perfectamente sincronizadas.

Fotografías.

El proceso fotogramétrico se inicia propiamente con las fotografías aéreas las cuales son una proyección geométrica central, en la que los rayos reflejados de los puntos del objeto al atravesar un objetivo, inciden sobre un plano, formando así la imagen fotográfica.

Los elementos básicos de la fotografía aérea son factores geométricos. A partir de ellos la fotografía aérea adquiere sus características y define los procesos fotogramétricos por seguir para su estudio cuantitativo y elaboración de los mapas; es conveniente definir dichos factores con respecto a una fotografía aérea casi vertical, es decir, aquella que tiene una inclinación en el eje central de perspectiva o eje óptico no mayor que 3°.

- a) *Centro de proyecciones (o)*. (lente de la cámara fotográfica) se forman el punto central nodal de la lente o sistema de lentes.
- b) *Eje nadir (Nn)*. Línea imaginaria perpendicular al plano del terreno que pasa por el centro de proyecciones hasta interceptar al plano del negativo.
- c) *Eje óptico de la cámara (Pp)*. Línea imaginaria que puede tener diferentes inclinaciones con respecto al plano del negativo y pasa por el centro de proyecciones e intercepta al plano del terreno; estas inclinaciones pueden ser intencionales o imprevistas, cuando son imprevistas ocasionan una serie de desplazamientos en las imágenes que necesitan ser corregidas; cuando son intencionales se obtienen fotografías oblicuas que pueden ser bajas o altas según la aplicación a que se destinen.
- d) *Nadir (n)*. Es el punto definido en el negativo por la intersección del eje nadir, al plano del negativo.
- e) *Punto principal (P)*. Es el punto que se define en el negativo por la intersección del eje óptico de la cámara al plano del negativo.
- f) *Punto isocentro (i)*. Es el punto en que la bisectriz del ángulo formado por el eje óptico de la cámara y el eje nadir intercepta al plano del negativo. En fotografías aéreas o casi verticales puede considerarse que los tres puntos (*n, p, i*) coinciden en uno solo, conocido como punto principal. En este caso el plano del negativo es teóricamente paralelo al plano del terreno.
- g) *Plano de referencia (PR)*. Plano imaginario en el terreno utilizado para calcular valores absolutos en la fotografía aérea.

- h) *Plano del negativo (PN)*. Plano real en la cámara fotográfica donde se forma el foco de la imagen. Su recíproco es el plano del positivo, el cual se forma teóricamente opuesto al plano del PN a la misma distancia f del centro de proyecciones.
- i) *Altura de Vuelo (N)*. Elevación del centro de proyecciones sobre el terreno o plano de referencia en el momento de la exposición fotográfica.
- j) *Distancia principal (f)*. Distancia del centro de proyecciones al plano del negativo.
- k) *Inclinación de la fotografía (t)*. Ángulo formado por el eje óptico de la cámara y el eje nadir. (Ver Figura 8)

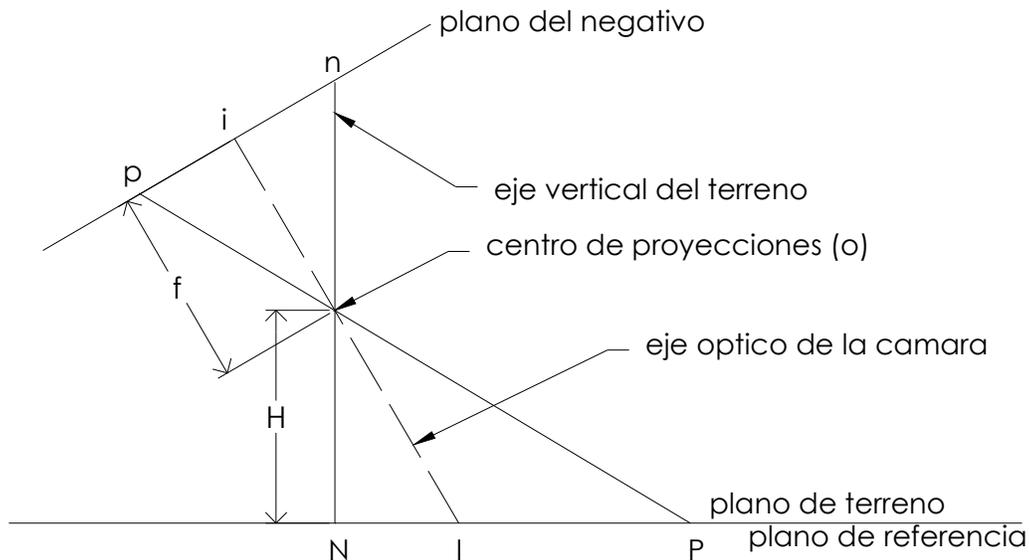


Figura 8.

Por su relevancia en el proceso fotogramétrico se profundizará en los conceptos de punto principal y distancia principal.

El *punto principal* en una fotografía aérea vertical es aquel donde se conjugan los puntos nadir, isocentro y el mismo punto principal, el cual, por sus características, resulta ser el único *punto ortogonal* dentro de la fotografía; ya que corresponde a la definición de la proyección geométrica ortogonal (punto formado por la proyección de un eje perpendicular al plano).

Es por esta característica, la importancia del punto principal, que a partir de él se inicia la proyección central de la fotografía aérea y, por lo tanto, el desplazamiento de las imágenes fotográficas. Estos desplazamientos resultan proporcionales a partir del punto principal, para toda el área de cobertura de la fotografía, siendo mayor el desplazamiento de los objetos en tanto sea mayor su distancia con respecto a él.

Para su localización, se hace uso de las marcas fiduciales cuya intersección lo definen. (Figura 12)

La *distancia principal* es uno de los elementos más importantes de la cámara fotográfica aérea, ya que en relación con ella se encuentran ligadas estrechamente determinadas características de la fotografía, a saber:

- El tamaño de la distancia principal determinará los desplazamientos en las imágenes fotográficas, así como el crecimiento aparente de la altura de los objetos del modelo estereoscópico.
- Su relación con la altura de vuelo influye de manera importante en la escala fotográfica, en el área de cobertura de la magnitud de los desplazamientos.

En forma descriptiva y a través de las siguientes figuras, se pueden mostrar algunas de las relaciones de la distancia principal con los elementos antes mencionados. (Figuras 9 Y 10).

De un breve análisis de las figuras anteriores se puede concluir las siguientes relaciones:

- La distancia principal es inversamente proporcional al desplazamiento de las imágenes fotográficas, (Figura 11) o sea:

$f < \text{desplazamiento}$, y viceversa.

- A una misma altura de vuelo la distancia principal es directamente proporcional a la escala fotográfica (Figura 11), o sea:

$f > \text{escala fotográfica}$ (para la misma altura de vuelo).

- Para obtener una misma escala fotográfica, la distancia principal varía en forma directa proporcional a la altura de vuelo (Figura 10), o sea:

$f > H$ (para una misma escala).

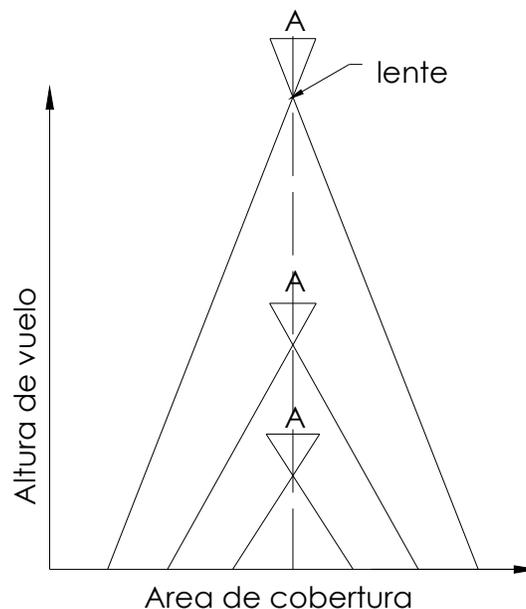
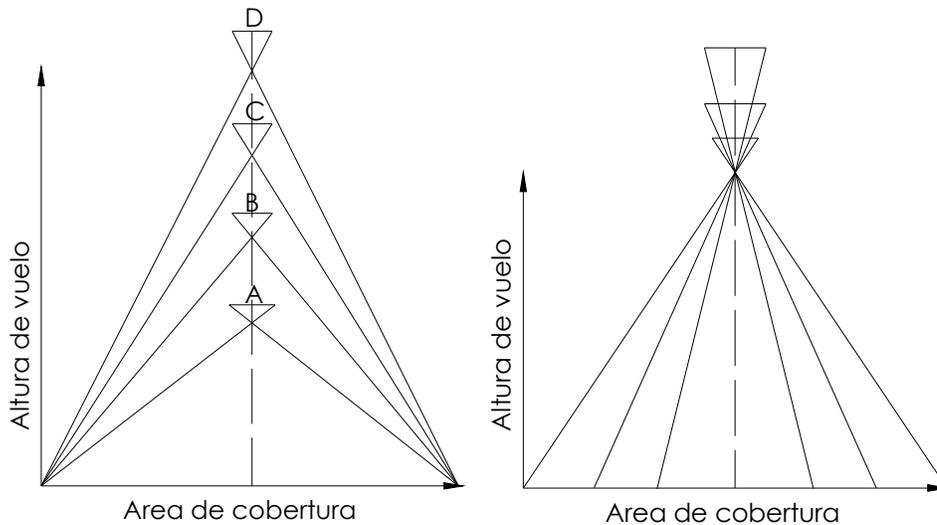


Figura 9.



Figuras 10 y 11.

Clasificación.

Los criterios más comunes para clasificar a la fotografía aérea se basan principalmente en el campo angular del objetivo de la cámara, en función de la inclinación del eje óptico de la cámara y según el uso de la fotografía.

En función del *campo angular del objetivo* con que se toman las fotografías estas pueden clasificarse en normales, gran angulares y súper gran angulares (60,90 y 120° respectivamente). Cuando se calcula el campo de las cámaras que se fabrican actualmente, para ninguna de ellas se obtendrán algunos de estos valores *si no valores aproximados de ellos*.

En función de la *inclinación del eje óptico* de la cámara con respecto a la vertical, las fotografías pueden clasificarse en:

- ❖ *De eje óptico vertical.* Se dice que es vertical cuando la inclinación con respecto a la dirección de la gravedad es menor a 3°.
- ❖ *De eje óptico inclinado.* Es aquella en la cual el eje óptico de la cámara es mayor a 3° con respecto a la dirección de la gravedad y se divide a su vez en:

Baja inclinada. Cuando la fotografía no alcanza a registrar el horizonte.

Alta inclinada. Cuando la fotografía alcanza a registrar el horizonte.

- ❖ *De eje óptico horizontal.* En este caso el eje óptico de la cámara es paralelo o casi paralelo a la superficie terrestre (90° con la vertical).

Para las fotografía aéreas verticales la escala es uniforme en toda la foto y solo ocurren diferencias por el relieve en el terreno, y en los otros tipos, la escala no es uniforme, si no que varía en forma lineal.

Por tanto, la fotografía vertical es la más fácil de mapear, actualmente la mayoría de los equipos que están diseñados sirven para restituir este tipo de fotografías y solo algunos de ellos permiten restituir modelos con fotografías inclinadas 7, 12 y 18°.

Los tipos de fotografías mencionadas originan que la Fotogrametría se divida para su estudio en:

- a) Aérea. (De eje óptico vertical).
- b) Terrestre. (De eje óptico horizontal).

El presente trabajo *trata* principalmente de la Fotogrametría aérea, es decir, fotografías de eje óptico vertical, por tanto no ahondaremos en la Fotogrametría terrestre; la Fotogrametría terrestre tiene diferentes aplicaciones.

Según el uso esta se clasifica en:

- a) Panorámica. Se toma con cámaras especiales. La cámara "barre" el terreno en dirección perpendicular a la línea de vuelo. Su cobertura lateral es muy amplia y llega hasta 180.
- b) De faja continua. Se utiliza principalmente con fines de ingeniería en lo relativo a trazos de carreteras, líneas de conducción, líneas de alta tensión, etc. Su construcción permite el paso continuo de la luz a través de una rejilla que imprime la película fotográfica en movimiento.
- c) El radar aunque no es una cámara, toma una imagen continua del terreno, por lo cual puede considerarse dentro de esta clasificación.
- d) De reconocimiento. Se utiliza casi exclusivamente con fines militares. Tuvo auge durante la Segunda Guerra Mundial. Estas fotografías se toman con cámaras de distancia principal muy grande para mantener una escala aceptable aun volando a grandes alturas, lo cual era necesario debido al gran alcance de las baterías antiaéreas. Sin embargo el cubrimiento terrestre por fotografía es muy pequeño.
- e) Cartográfica. Es la fotografía que se utiliza para elaborar mapas o para realizar mediciones fotogramétricas precisas. Las cámaras cartográficas son cámaras métricas cuyos elementos internos, como distancia principal, formato, plano focal, etc., están perfectamente calibrados.

El siguiente esquema muestra las principales características de una fotografía aérea de eje óptico vertical.

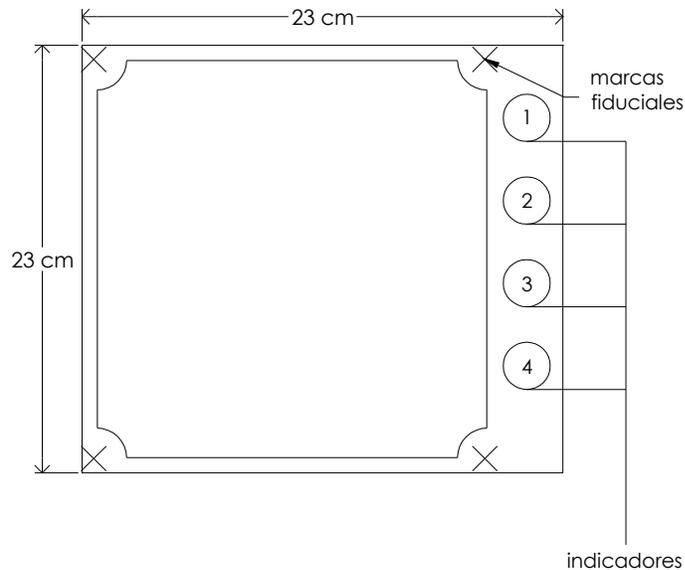


Figura 12. Esquema de una fotografía de eje óptico vertical

Indicadores:

1. *Nivel esférico*: nos indica si la cámara se encuentra inclinada o no, si la cámara se encuentra inclinada producirá una imagen de eje óptico inclinado, es por ello que el camarógrafo debe nivelar la cámara con ayuda de los tornillos niveladores de la propia cámara. La cámara aérea se puede inclinar por las siguientes razones.
 - ❖ *Cabeceo del avión*. Es el resultado de la inclinación positiva o negativa del avión en el sentido de la línea de vuelo. El giro se efectúa sobre el eje Y, considerando el eje X como la línea de vuelo.
 - ❖ *Alabeo del avión*. Es el giro del avión alrededor del eje de las X.
2. *Reloj*: los detalles aéreos se tienen que observar en gabinete en tercera dimensión, es decir, como si el proyectista estuviera observando desde el avión y esto solo será factible si entre una foto y la que sigue existe un traslape de aproximadamente 60%. El reloj en su imagen nos permite checar el tiempo transcurrido entre la primera y la segunda fotografía y este tiempo nos permite verificar si se tiene el traslape del 60% como se explicará más adelante.
3. *Altímetro*: la imagen fotográfica de este instrumento debe de aparecer en todas y cada una de las fotografías aéreas con el fin de garantizar que dichas fotografías se tomaron a la altura de proyecto, desde luego con sus correspondientes tolerancias. En algunas ocasiones en lugar del altímetro aparece la imagen fotográfica de otro instrumento llamado Estatoscopio el cual en pleno vuelo registra las variaciones de

altura que sufre el avión durante el vuelo, motivado este por las condiciones naturales atmosféricas.

4. *Tablilla de registro:* en este elemento cuya imagen también aparece en todas y cada una de las fotografías aéreas se observa el valor de la distancia focal de la cámara utilizada y un contador que indica en forma progresiva el número de exposiciones obtenidas.

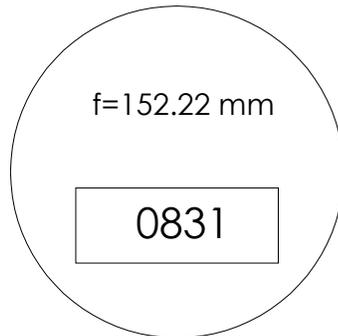


Figura 13.

Dentro de la fotografía aérea se encuentra unas marcas del cual depende el formato de las mismas, son las **marcas fiduciales** que también juegan un papel importante en el proceso de restitución; otros datos que se encuentran en la parte inferior de la cámara son: la escala, lugar fotografiado, compañía y encerrados en paréntesis el número de línea ³ y el número de foto separados por una coma.

Características generales.

Físicas:

Tamaño formato:

Con formato. Es aquella fotografía cuyo tamaño se ajusta a un recuadro de dimensiones fijas. Los formatos más comunes son: de 18x18 cm., de 23x23 cm., y de 70 mm (diapositivas).

Sin formato. Es aquella fotografía que se ajusta al tamaño total del rollo fotográfico y su proceso de toma corresponde a una sincronización entre la velocidad del avión y el propio proceso de toma o registro de la imagen.

Material sobre el Cual se presenta:

El material sobre el cual se presenta la fotografía representa el grado estabilidad dimensional y, por lo tanto, de precisión en los procesos fotogramétricos, y va desde el papel, película o acetato, hasta el vidrio. El vidrio es el material que reporta mayor estabilidad dimensional, disminuyendo en el acetato y siendo mínimo en el papel.

³ Línea: parte del área de estudio cubierta fotográficamente según una trayectoria de vuelo programada tal cobertura, también llamada faja de vuelo. Ver Figura 15.

En los procesos de fotointerpretación lo más común es encontrar el material impreso en papel y en acetato, siendo el formato más usado el de 23x23 cm. En la actualidad con las técnicas de percepción remota e imágenes multispectrales se ha introducido el formato de 70 mm., en el proceso fotointerpretativo.

Características químicas:

Sensibilidad dentro del rango del espectro electromagnético radiante.

Pancromática. Con un rango de sensibilidad entre 400 y 700 nanómetros⁴. *Infrarroja.* Con un rango de sensibilidad entre 350 y 900 nanómetros.

Multiespectral. Con un rango de sensibilidad pequeño y específico dentro de la totalidad del rango visible e infrarrojo cercano.

Tipo de emulsión.

Blanco y negro. La emulsión fotográfica cuenta con una sola capa sensible que brinda la imagen en toda la gama de grises, desde el blanco hasta el negro.

En color. La emulsión fotográfica cuenta con tres capas de sensibilidad con distintas coloraciones complementarias, lo cual reporta la imagen en toda la gama y matices de colores.

Proceso de toma.

La toma física de la fotografía aérea sigue un proceso que consiste en cubrir totalmente el área de estudio con líneas o fajas de vuelo. Estas líneas de vuelo se orientan con respecto al terreno en función de determinadas características, las cuales serán analizadas más adelante. En cada línea de vuelo se obtiene en secuencial y longitudinalmente todas las fotografías necesarias, sobreponiéndose una sobre el área del anterior un 60% aproximadamente. Entre líneas de vuelo existe un traslape o sobreposición entre fotografías. Este traslape llamado sobreposición lateral es, aproximadamente de un 30% del área. (Figura 14).

⁴ Nanómetro: Medida de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro.

TEORIA DE LA FOTOGRAMETRIA

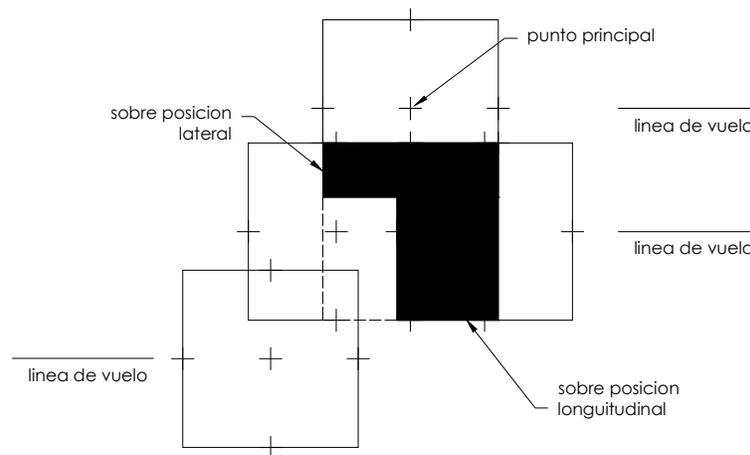


Figura 14.

Factores que afectan la toma de la fotografía.

La *curvatura terrestre* ocasiona en la imagen fotográfica desplazamientos en forma radial a partir del punto nadir y su magnitud depende de la altura de vuelo, y las características geométricas de la cámara.

La *refracción atmosférica* provoca la misma deformación que la anterior y los factores que influyen es: la altura de vuelo y del terreno, así como las condiciones atmosféricas y de la cámara métrica.

La *distorsión del objetivo o lente*, es causada por pequeñas imperfecciones en la curvatura de los lentes y por el centrado de éstos.

Deformación de la película, esta es causada por los cambios de temperatura tanto en la película como en el papel donde reimprimen, siendo estas de forma muy irregular.

La existencia de relieve implica un desplazamiento en los puntos de la imagen también a mayor relieve mayor desplazamiento.

Compensación.

La compensación de las tres primeras fuentes de error citadas se puede lograr por los siguientes métodos:

1. Óptico: utilización de positivas ya compensadas y placas de compensación.
2. Mecánico: por medio de levas.
3. Analítico.

En la deformación por temperatura no existe un método para compensar los errores, solo se recomienda procesar el material fotográfico con mucho cuidado.

Por ultimo, vemos que la imagen fotográfica con desplazamiento por efecto de relieve, no es recomendable para fines de mensuración; por ello se utilizan pares estereoscópicos que nos dan la ventaja de definir los desniveles del terreno.

2.2 MOSAICOS FOTOGRÁFICOS.

Se define como el conjunto ordenado de fotografías aéreas dispuestas sobre de un tablero o una mesa de trabajo, desde luego dicho orden relacionado con el número de línea y el número de foto que aparece en cada fotografía aérea.

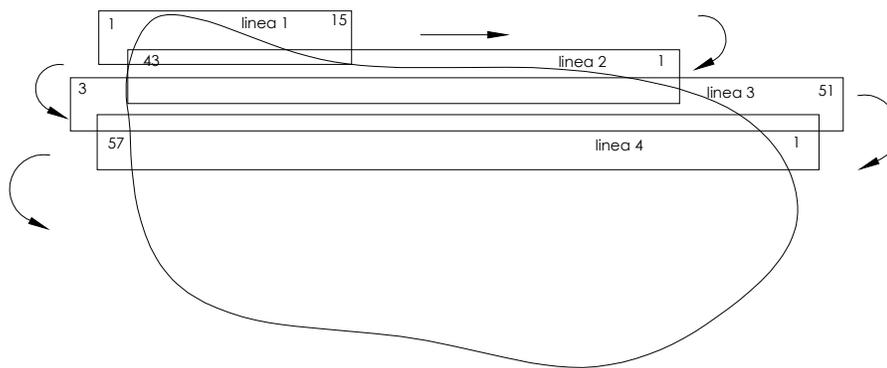


Figura 15.

En el esquema, se muestra el área fotografiada junto con el número de líneas y número de fotografías por línea, así como el sentido del vuelo del avión.

Tipos de mosaicos.

1. Mosaico índice o de contacto.
2. Mosaico rectificado o controlado.
3. Foto plano o fotomapa.
4. Orto foto plano u orto foto carta.

Mosaico índice. Se llama así al conjunto de fotografías de contacto dispuestas sobre de un tablero o mesa de trabajo, de tal manera que tratemos de traslapar el 60% de cada foto procurando igualar detalles comunes a cada foto, dando continuidad al mosaico. Las fotos se pegan con papel engomado transparente y coloca una etiqueta visible con el número de línea y número de foto, esta debe ser de un tamaño tal que al tomarle al mosaico la fotografía de conjunto y al reducirse se puedan seguir observando dichos números. Para obtener la fotografía de conjunto reducida se utiliza una cámara que normalmente por su tamaño se desliza sobre rieles en el laboratorio.

Desde luego la fotografía de conjunto debe de ser elaborada en un tamaño manejable para las brigadas de campo.

Se llama *fotografía de contacto* por que la impresión del negativo en el papel se hace directamente en este con el simple contacto.

Mosaico rectificado. Se llama así al conjunto ordenado de fotografías rectificadas dispuestas sobre de un tablero o mesa de trabajo, de tal forma que al pegar estas fotografías ahora si existe perfecta coincidencia de detalles ya que las imágenes están rectificadas. Si observamos en conjunto un mosaico rectificado dará la impresión de una sola foto y no de un conjunto de fotografías.

Rectificación de fotos.

- a. Negativo.
- b. Cámara rectificadora.
- c. Apoyo o control terrestre. (Trabajos topográficos de precisión).
- d. Papel fotográfico.
- e. Personal calificado.

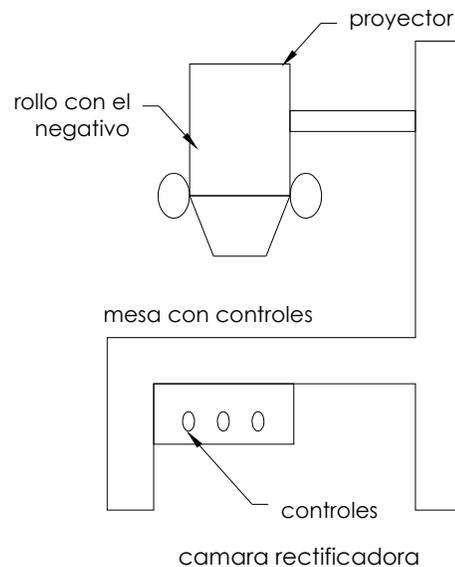


Figura 16.

Como ya se menciona el mosaico rectificado requiere de fotografías rectificadas, lo cual lograremos si contamos dentro de un laboratorio con una cámara rectificadora y puntos de apoyo terrestre. La rectificación de imágenes se obtiene con las siguientes fases:

- a) Colocar el negativo que a su vez debe contener puntos de apoyo terrestre, sobre el proyector de la cámara rectificadora.
- b) Sobre la mesa de la cámara se instala un plano ortogonal que contiene dibujados a escala los mismos puntos de apoyo a escala que el negativo contiene.

- c) En seguida se enciende el proyector y con los controles de la mesa se busca la coincidencia de los puntos proyectados de apoyo con sus correspondientes del plano ortogonal.
- d) En el momento que se logra la coincidencia de puntos de apoyo también obtendremos sobre la mesa una imagen la cual ya estará rectificadas.
- e) Para que la imagen rectificadas se obtenga en forma impresa es necesario colocar sobre la mesa un trozo regular de papel fotográfico virgen, el cual se someterá aun proceso de laboratorio para captar la imagen mencionada.
- f) Cada una de la imágenes que contiene el negativo se procesa de la misma manera hasta obtener todas y cada una de las fotografías rectificadas que darán origen al mosaico.

Mosaico foto plano. Este tipo de mosaico se forma con un mosaico rectificadas el cual en el laboratorio se agregan las curvas de nivel.

Orto plano u orto foto carta u orto foto mapa. Para formar un mosaico de este tipo es necesario procesar las imágenes fotográficas para transformar la proyección cónica en que se encuentra en una proyección ortogonal dando origen a orto fotos que al unirse dan origen a dicho mosaico.

2.3 ESTEREOSCOPIA.

La visión estereoscópica permite la observación tridimensional de los objetos observados. Cuando observamos un objeto, cada ojo recibe una imagen diferente del objeto, por ser proyecciones centrales desde puntos diferentes; ambas imágenes se fusionan en el cerebro y forman una imagen tridimensional del objeto, (visión estereoscópica normal o natural). La visión estereoscópica que se utiliza en la Fotogrametría se denomina artificial y se basa totalmente en la estereoscopia natural, es decir, la observación en tres dimensiones que logramos con el simple hecho de observar con nuestros dos ojos. Por lo tanto se puede definir a la estereoscopia artificial o virtual como el fenómeno óptico que se produce al observar dos imágenes fotográficas de un mismo objeto tomadas desde dos puntos de vista distintos.

Este principio es usado en la Fotogrametría pero generado por medios artificiales. Al observar cada ojo la imagen del objeto fotografiado desde dos puntos diferentes y sobre puestos, se produce una impresión espacial. Al par de fotografías visto en tercera dimensión se le llama modelo estereoscópico.

El *principio* de la estereoscopia se basa en la convergencia de dos imágenes de un mismo objeto, visto desde diferentes posiciones, logrando una percepción en tercera dimensión. El ser humano logra la visión estereoscópica mediante la convergencia mental de los objetos observados (con los ojos separados a una distancia de 60 a 70 mm.), en diferente posición. Los movimientos que realiza el ojo humano para observar un objeto son: acomodamiento y convergencia, la acomodación es la habilidad del ojo de separar el más pequeño detalle y la convergencia la logra a una distancia de 25 cm. hasta el infinito.

Para la percepción espacial se requiere de un par de fotografías que deben de reunir las siguientes condiciones:

- ❖ El par estereoscópico debe corresponder a fotografías sucesivas, con un área común. Cada fotografía del área de trabajo se toma desde diferentes estaciones de toma.
- ❖ En el momento de la exposición los ejes ópticos de la cámara deben estar, aproximadamente, en un mismo plano
- ❖ La relación f/H debe tener un valor comprendido entre 0.02 y 2. fuera de estos límites la visión estereoscópica es complicada. Esta relación establece el porcentaje de área común complementaria en el par estereoscópico.
- ❖ La escala de las fotografías debe ser, aproximadamente, la misma. Se aceptan diferencias no mayores que 5%.

Métodos para lograr la tercera dimensión artificial.

La observación de un par estereoscópico puede realizarse de tres maneras:

1. *Observación con ejes cruzados.* Consiste en mirar con el ojo derecho la fotografía izquierda y con el ojo izquierdo la fotografía derecha. La acomodación y convergencia se realiza en diversos puntos, por tanto, este sistema es demasiado cansado por que ambas deben coincidir en el mismo punto.
2. *Observación con ejes convergentes.* Es el método normal de observación y, por tanto, el más descansado. Como las dos imágenes deben estar superpuestas será necesario hacer la observación por medio de filtros para que cada ojo reciba una sola imagen.

Los sistemas de uso más común son: Anaglifos que emplean filtros de colores complementarios (azul y rojo); luz polarizada (con filtros que polarizan la luz) y luz

Intermitente (alternadores) que emplean obturadores giratorios que permiten la observación alternada de las imágenes izquierda y derecha. Cada ojo observa una imagen.

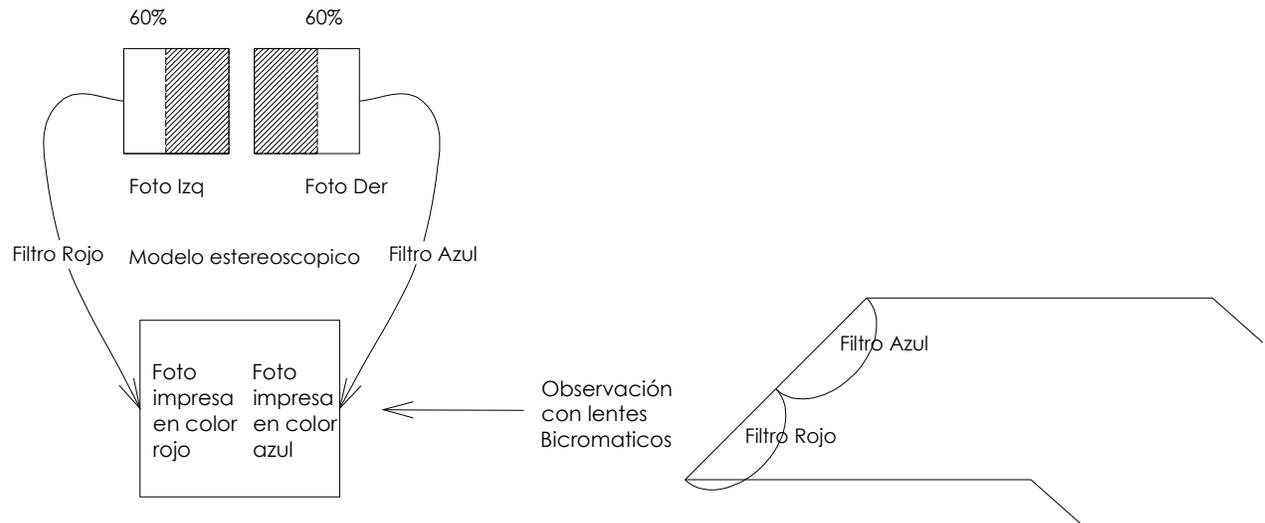
3. *Observación con ejes paralelos.* En general, el método cansa porque los ejes de los ojos convergen en el infinito y la acomodación ocurre a una distancia finita.

Para que la acomodación y convergencia ocurra en un mismo punto se agregan lentes y se colocan las fotografías a una distancia igual a la distancia focal. De esta manera, la acomodación y la convergencia ocurren en el infinito. De acuerdo con lo anterior, se han diseñado dos tipos especiales de estereoscopia: de bolsillo y de espejos. En ambos la observación se hace con ejes paralelos.

Métodos.

Con ejes convergentes.

Por colores complementarios o anaglifos. Este método se basa en la separación de las imágenes en colores complementarios, con una fotografía impresa conteniendo las dos imágenes del modelo.



Figuras 17 y 18.

Por luz polarizada. Se conoce perfectamente que cuando los rayos de luz se propagan en un medio ambiente estos lo hacen produciendo vibraciones, las que si alineamos con relación a los ejes X, Y, obtendremos la polarización de la luz y si utilizamos lentes polarizados lograremos mediante este fenómeno la observación estereoscópica.



Figura 19.

Por medio de Obturadores giratorios. En este sistema se utiliza una serie de proyectores, de preferencia en números pares, en cada proyector se encuentra una pequeña laminilla metálica en forma rectangular la cual tiene movimiento giratorio alternado y sincronizado.

Cuando se lleva a cabo la proyección de la imagen derecha, con sus respectivos proyectores, a simple vista y por efecto de los obturadores sincronizados, se tiene la sensación de un tintineo de imágenes, pero todavía no se observa la tercera dimensión, todo esto por la forma alternada en que se produce las imágenes proyectadas. Si las imágenes proyectadas se observan a través de un cilindro hueco que también contiene obturadores en movimiento giratorio alternado, lograremos la observación estereoscópica, debido a que en un instante pequeño de tiempo se observa solo con el ojo izquierdo la imagen izquierda proyectada y en seguida solo con el ojo derecho a la imagen proyectada derecha. (Figura 19)

Con ejes paralelos.

Estero copio de bolsillo.

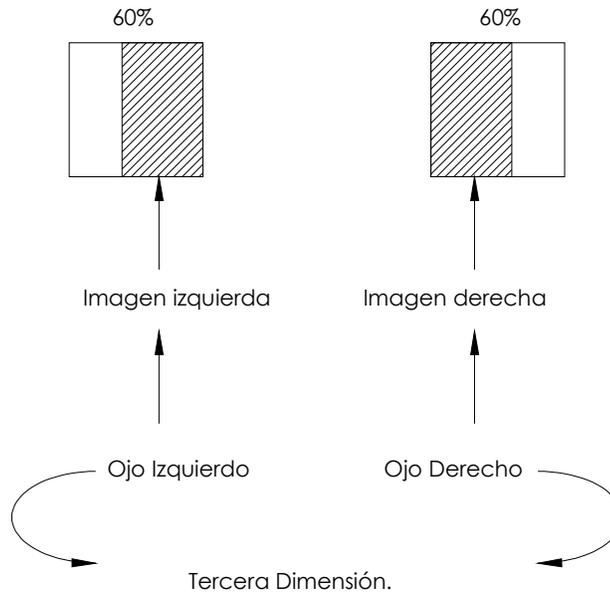


Figura 20.

Es una forma práctica para observar la tercera dimensión con un estereoscopio de bolsillo, el cual consta de lentes de aumento (de la misma potencia), un soporte de plástico o metal, y patas de alambre. (Figura 21)



Figura 21. Estereoscopio de bolsillo

Estereoscopio de espejos. Para obtener la tercera dimensión en un estereoscopio de espejos se siguen las siguientes fases:

- a. Colocar el par de fotos debajo del estereoscopio con la dirección de la línea de vuelo paralela al estereoscopio.
- b. Separar las fotos de tal forma que la foto izquierda se coloque debajo del espejo izquierdo y la imagen derecha debajo del espejo derecho.
- c. Colocar sobre la foto izquierda el dedo índice de la mano izquierda y el dedo índice de la mano derecha sobre la foto derecha, de tal forma que parece que los dedos se enciman aunque realmente siguen separados, para en este momento retirar ambos dedos y observar la tercera dimensión.



Figura 22.

Imágenes tridimensionales.

Como se vio anteriormente las imágenes tridimensionales del terreno se obtienen únicamente a partir de dos fotografías consecutivas, que correspondan al mismo objeto de la misma área, pero tomadas de diferentes ángulos, y que con ella se forme un par estereoscópico. Las imágenes en tercera dimensión se observan en: *fotogramas*, *estéreo fotogramas*, *anaglifos*, *vectografías*, *proyección óptica* y *proyección mecánica*; estas dos últimas se logran en instrumentos fotogramétricos restituidores.

Fotogramas. Son fotografías aéreas, reciben este nombre porque en cada exposición se conoce geoméricamente la posición exacta del centro de proyección, para ello cuentan con las marcas fiduciales que permiten determinar el punto centro de las mismas, así como la información de: distancia focal, número de orden de cada toma, escala, fecha, lugar, número de vuelo, línea, etc.

Estéreo fotogramas. Son imágenes de fotografías aéreas impresas por pares estereoscópicos en algún libro o folleto, orientadas para permitir la observación con un estereoscopio.

Anaglifo. Es la imagen en relieve que se obtiene al proyectar un par estereoscópico sobrepuesto de fotografías aéreas, en colores complementarios, normalmente son: azul o verde y rojo; vistos a través de unos lentes con los mismos colores; para el ojo izquierdo el color verde y para el ojo derecho el color rojo, produciéndose una imagen tridimensional

en color negro grisáceo. Este efecto se debe a que por cada filtro o lente no pasa más que la luz correspondiente, por lo que queda nulificada la imagen de otro color.

Vectografía. Es una imagen compuesta a través de filtros polarizados de dos fotografías superpuestas; que al mirarse con luz ordinaria, parece a primera vista una fotografía en color sepia, pero vista a través de unas gafas polarizadas se observa una figura en relieve.

Proyección óptica. Es la que se forma al colocar un par estereoscópico de fotografías aéreas en diapositivas en un instrumento fotogramétrico, para que proyecte las imágenes en colores complementarios sobre una superficie blanca y, al observar con lentes bicromáticos de los mismos colores se produce la sensación de relieve.

Proyección mecánica. Es la que se produce en un instrumento fotogramétrico trazador de planos, al colocar sobre sus cámaras un par estereoscópico en diapositivas, orientándolas en sus posiciones interior y relativa para percibir la imagen en relieve a través del sistema de observación.

2.4 PLAN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO.

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

Información básica.

Después de obtener los elementos anteriores, se pueden determinar las características topográficas de la zona en estudio, sus límites, control terrestre utilizable. Con estos datos se inicia el estudio de la información básica para empezar a calcular y determinar el valor de los siguientes elementos importantes:

1. Delimitación del área por fotografiar.
2. Condiciones atmosféricas y de iluminación ideales.
3. Dirección que deben tener las líneas de vuelo.
4. Tipo de avión.
5. Tipo de cámara.
6. Traslapes necesarios.
7. Escalas.
8. Número de fotos por línea.
9. Número de líneas.
10. Total de fotografías.
11. Intervalos de tiempo.

Delimitación del área.

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

Condiciones atmosféricas y de iluminación.

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

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

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

Dirección que deben de tener las líneas de vuelo.

Para el proyecto, se recomienda tomar la dirección de los ejes Norte-Sur y Este- Oeste, pero si estos no son posibles, entonces la recomendación estará en relación al sentido largo del terreno, con el fin de evitar maniobras inútiles al avión lo cual redundaría en un costo mayor de proyecto. (Figura 23)

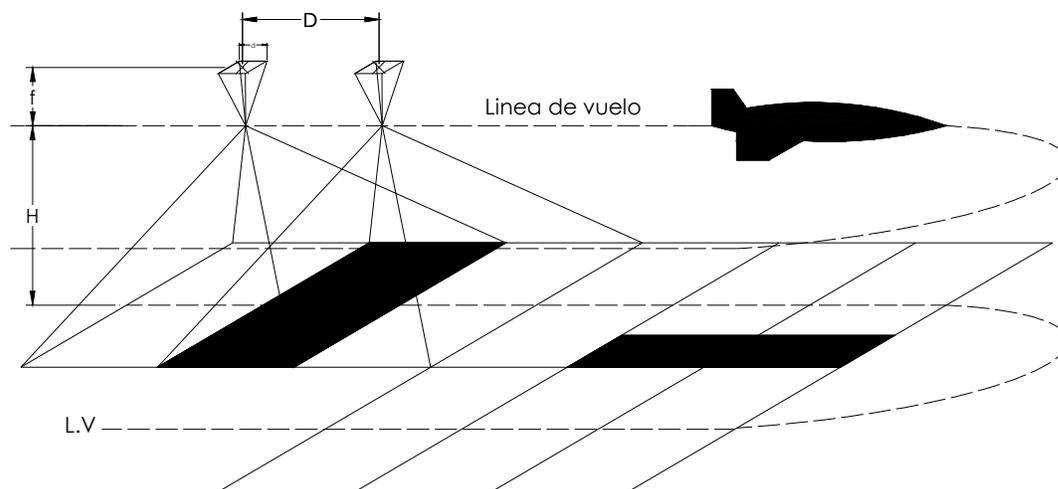


Figura 23.

Tipo de avión.

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

1. suficiente potencia en sus motores para ascender y descender con toda seguridad y alcanzar la altura de vuelo de proyecto y mantener la velocidad de crucero de aproximadamente 161 Km/hr.
2. la autonomía del avión, es decir, lo relativo a la capacidad de carga en sus tanques de combustible.
3. el espacio dentro del avión debe de ser el adecuado para albergar a la tripulación y el equipo.
4. la posición del motor o motores deberá de ser tal que los humos contaminantes que arroja por el escape no pasen por el lente de la cámara.
5. la posición de las alas deberá de ser de tal manera que no obstruya la toma de imágenes fotográficas.
6. buena visibilidad en todas direcciones para la navegación.
7. etc.

Tipo de cámara.

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

Traslapes necesarios.

Lo correcto de una misión aerofotográfica es que haya un porcentaje de sobreposición de 60%(±5) en el sentido longitudinal, es decir, en una misma línea de vuelo; y un 30%(±5) en sentido lateral, es decir, entre líneas de vuelo. Además, siempre se busca una perfecta continuidad en una misma faja de fotografías y conservar constantes los porcentajes de sobreposición.

Escalas.

La escala de una fotografía se determina por la relación de una distancia ab medida en la fotografía y su correspondiente AB medida en el terreno.

La escala de una fotografía nunca es exactamente uniforme, como ya se comentó, se ve afectada por las condiciones de toma (distancia principal, altura de vuelo, etc.), la topografía del terreno y otros factores la convierten en una escala aproximada. De acuerdo con lo anterior, la escala de fotografías aéreas verticales será constante sólo para un mismo plano horizontal imaginario, llamado plano de referencia (P.R) y su resultante será la escala absoluta.

$$\frac{l}{M} = \frac{ab}{AB}$$

Escala absoluta

Al comparar los triángulos semejantes de la figura (figura 24) Oab y OAB se deduce:

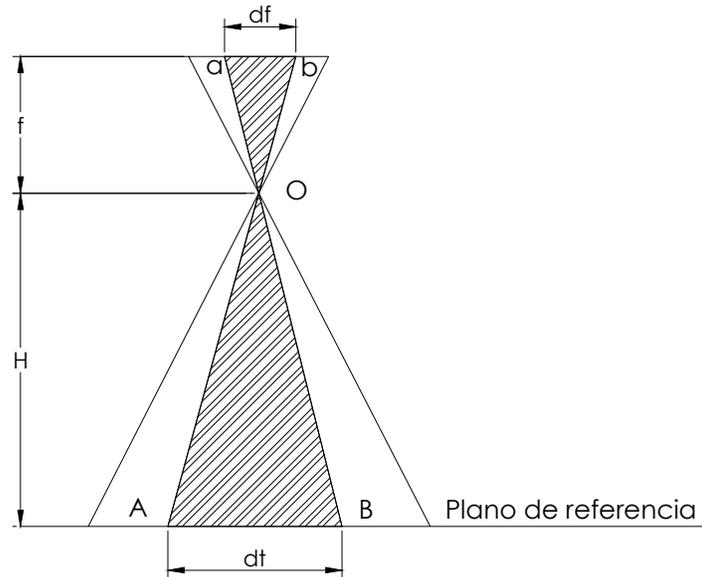


Figura 24.

$$\frac{l}{M} = \frac{ab}{AB} \quad \frac{l}{M} = \frac{f}{H}$$

Donde:

M = modulo escalar.

ab = distancia en la fotografía. (Fotodistancia).

AB = distancia correspondiente al terreno.

O = centro de proyecciones.

f = distancia principal.

H = altura de vuelo sobre el plano de referencia.

Por lo general, el terreno en estudio no es completamente horizontal, en estos casos reportaremos una *escala media* o una *escala relativa* para un punto determinado. (Figura 25).

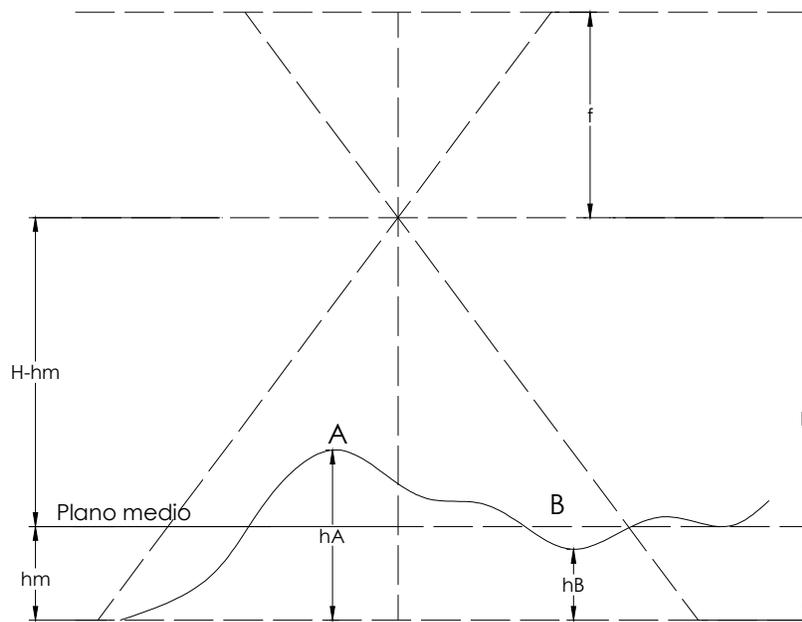


Figura 25.

$$\frac{l}{M} = \frac{f}{H - hm} \quad \text{Escala media}$$

A = punto mas alto

B = punto mas bajo

$$hm = \frac{hA + hB}{2} \quad \text{Altura media}$$

$$\frac{l}{M} = \frac{f}{H - hA} \quad \text{Escala relativa al punto A}$$

$$\frac{l}{M} = \frac{f}{H - hB} \quad \text{Escala relativa al punto B}$$

$$\frac{l}{M} = \frac{f}{H - hC} \quad \text{Escala relativa al punto C}$$

Ejemplo: Calcular la escala de la siguiente fotografía aérea.

Datos.

Formato: 23x23cm

$H = 3800m$

$f =$ cámara gran angular

$$\frac{l}{M} = \frac{f}{H} \Rightarrow M = \frac{H}{f}$$

$$M = \frac{3800m}{0.150m} = 25333 \Rightarrow Esc = \frac{1}{25333}$$

Con los datos que a continuación se presentan, calcular la escala de la siguiente fotografía aérea. (Figura 26).

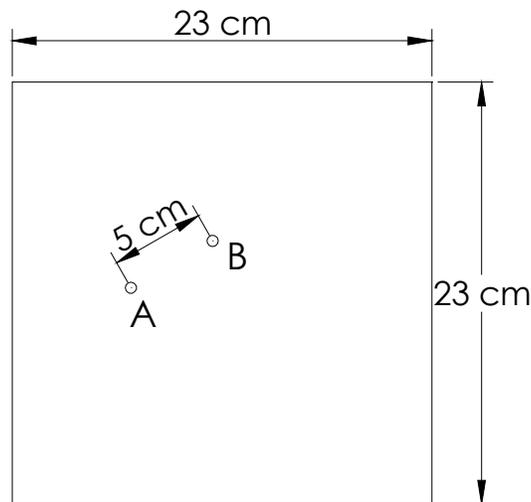


Figura 26.

Foto distancia $ab = 5cm$

Coordenadas A = $(x=2000, y=3000)$

B = $(x=2400, y=3300)$

Distancia $\overline{AB} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$

Distancia $\overline{AB} = 500m$

$5cm=500m$ (relación de escala)

$$\frac{5\text{cm}}{5\text{cm}} = \frac{500\text{m}}{0.05\text{m}} = 10000$$

$$\text{Escala} = \frac{1}{10000}$$

Para calcular distancias sobre fotografías aéreas, cartas, mapas o planos, se debe determinar primero la relación que tiene un centímetro en la fotografía, cartas, mapas o planos, según el caso, con la longitud real o longitud en el terreno.

Considérese que la escala de una fotografía aérea es 1 : 30000 y obténgase la relación en centímetros de fotografía a metros en el terreno.

$$1\text{m.} = 30000 \text{ m.}$$

Si:

$$1\text{m.} = 100 \text{ cm.}$$

Entonces.

$$100 \text{ cm} = 30000 \text{ m.}$$

$$1 \text{ cm.} = 300\text{m.}$$

Del ejemplo anterior se deduce que para relacionar centímetros de fotografía aérea a metros en el terreno, basta correr el punto decimal dos lugares a la izquierda.

$$1 : 30000 = 1\text{cm} \Rightarrow 9\ 300 \text{ m.}$$

$$1 : 75000 = 1\text{cm.} \Rightarrow 750 \text{ m.}$$

Número de fotos por línea.

El número teórico de fotografías por línea de vuelo se obtiene al dividir la longitud del terreno entre el avance longitudinal por foto en el terreno más dos fotografías extras (una antes y otra después de la toma) para asegurar una cobertura eficiente.

Calcular la cantidad de fotos por línea necesaria para cubrir un terreno de 25 x 18 Km.

Datos:

Formato: 23 x 23 cm.

$$hA = 480 \text{ m.}$$

$$hB = 560 \text{ m.}$$

$$H = 4800 \text{ m.}$$

$$F = 152.82 \text{ mm.}$$

Primero debemos encontrar la escala.

$$hm = \frac{560 + 480}{2} = 520m$$

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H - hm} \Rightarrow M = \frac{H - hm}{f}$$

$$M = \frac{4800 - 520}{0.15282} = 28007$$

$$Em = \frac{1}{28007}$$

Con la escala definida, y sabiendo que el traslape longitudinal es del 60% y el lateral es del 30%, encontramos el número de fotos por línea.

Avance longitudinal en la foto (d).

$$d = (100\% - 60\%) \times 0.23m$$

$$d = 0.40 \times 0.23 = 0.092m = 9.2cm$$

Avance longitudinal por foto en el terreno (D).

$$D = 0.092 \times 28007 = 2576.644m$$

Número de fotos por línea.

$$\frac{25km}{2.576644km} = 9.7 \Rightarrow 10 \text{ fotos} + 2$$

(una antes y otra despues)

Número de líneas.

Ahora en sentido lateral existe un traslape del 30% de los 23cm., quedando una cobertura efectiva de $23 \times 0.7 = 16.1cm.$, multiplicado por el modulo de escala y dividiendo entre mil obtenemos la cobertura en Km.

$$\frac{16.1 \times 28007}{1000} = 4.509127$$

Número de líneas

$$\frac{18km}{4.509127} = 3.99 \Rightarrow 4$$

Total de fotografías

Son 4 líneas con 10 fotografías en cada línea.

$$4 \times 10 = 40 \text{ fotografías}$$

Intervalos de tiempo.

Para un correcto traslape longitudinal y lateral, es preciso conocer los intervalos de tiempo entre toma y toma, esto se hace de la siguiente manera.

Con los datos correspondientes al siguiente sistema de vuelo, calcular el intervalo de vuelo entre dos tomas fotográficas.

Datos:

$$Em = \frac{1}{25000}$$

$$f = 152.74mm.$$

Traslape longitudinal del 60%.

Traslape lateral 30%.

Área por fotografiar 35x10km

Velocidad del avión: 300Km/hr.

Avance longitudinal en la foto.

$$d = (100\% - 60\%) \times 0.23m$$

$$d = .40 \times 0.23 = 0.092m = 9.2cm.$$

Avance longitudinal por foto en el terreno

$$D = 0.092 \times 25000 = 2300m$$

$$2.3km.$$

Calculo del intervalo del tiempo.

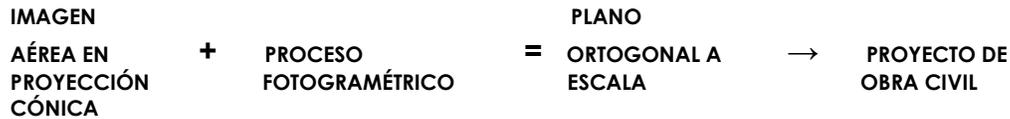
$$V = \frac{e}{i} = \text{distancia recorrida}$$

$$\frac{1}{M} = \frac{e}{i} \Rightarrow i = \frac{e}{V} = \frac{2.3km}{300km/hr} = 0.007hr.$$

$$i = 27.6seg.$$

2.5 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

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



El proceso de restitución puede hacerse de diferentes formas y a varios niveles de precisión, de acuerdo con el instrumento que se utilice y con el apoyo terrestre⁵ con que se cuente

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

Para la restitución o transferencia hay que seguir una serie de pasos a fin de eliminar errores propios de la fotografía aérea y llevar a está a su proyección ortogonal, escala deseada y posición topográfica en cada detalle de interés

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

1. *Orientación interna.*
2. *Orientación relativa.*
3. *Orientación absoluta.*

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

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

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

⁵ El apoyo terrestre son los trabajos que se realizan con equipo topográfico, con el fin de detectar puntos en el terreno cuyas imágenes aparecen en las fotografías aéreas correspondientes. Se trata a detalle en el capítulo 3

Orientación relativa. Consiste en dar a dos proyectores la misma posición relativa que tenía la cámara en dos exposiciones consecutivas. Se pretende que los rayos homólogos se intercepten en un punto determinado que permita eliminar los desplazamientos en los ejes X, Y (P_x y P_y) respectivamente. (Figura 27)

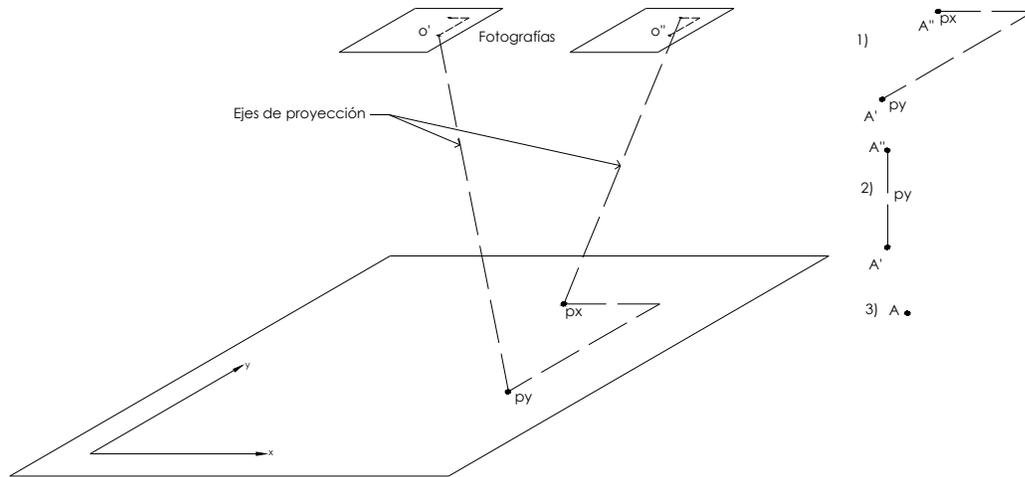


Figura 27.

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

MOVIMIENTOS PARA LA ORIENTACIÓN RELATIVA.

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

Movimientos de traslación.

1. Sobre el eje X- b_x .
2. Sobre el eje Y- b_y .
3. Sobre el eje Z- b_z .

Movimientos de rotación.

1. alrededor del eje X- ω .
2. alrededor del eje Y- ϕ .
3. alrededor del eje Z- ζ .

(Ver Figura 28)

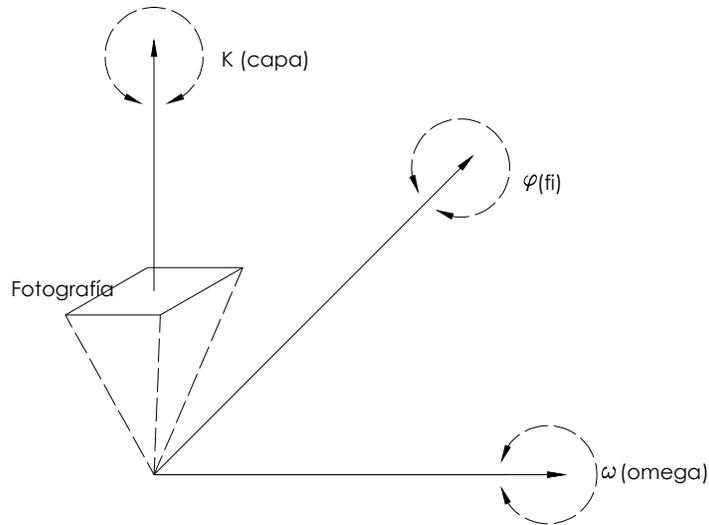


Figura 28.

Considerando que se trabaja con un par estereoscópico en la restitución binocular, cada proyector tiene la posibilidad de poseer estos movimientos independientes, en los sentidos positivo y negativo.

Se ha comprobado matemáticamente que la orientación relativa al eliminar los desplazamientos en X e Y, de un mínimo de cinco puntos y máximo de seis, automáticamente se ajusta todo el modelo estereoscópico. Para su referencia estos puntos se identifican convencionalmente con la numeración dada a cada uno en la figura. (Figura 29)

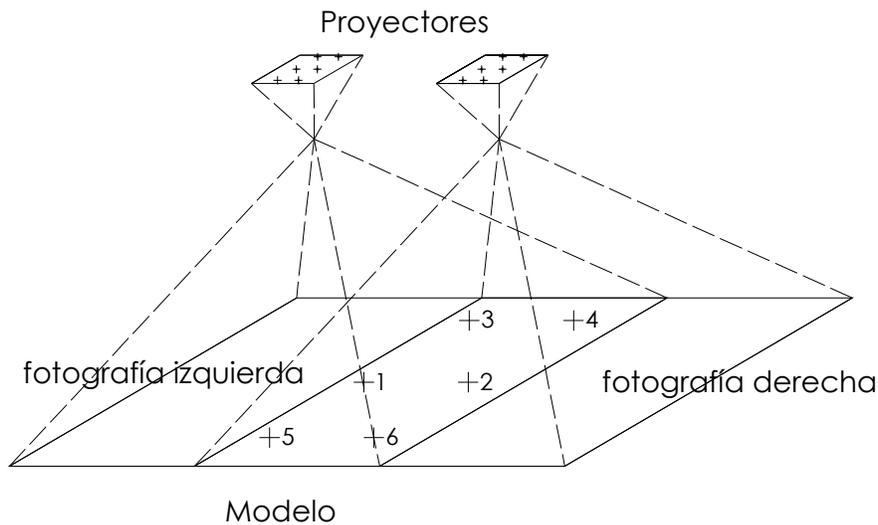


Figura 29.

Cada uno de los proyectores usados para la reconstrucción relativa de la posición correcta de la cámara fotográfica en el momento de la exposición son susceptibles de

tener todos los movimientos planeados. La correcta eliminación de los desplazamientos en X e Y están en función de la precisión del instrumento y del factor humano.

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

2.6 PARALAJE.

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

Principio de la marca flotante.

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

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

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

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

Paralaje estereoscópico.

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

Principio de la barra de paralaje.

El paralaje de cualquier punto en un par estereoscópico se realiza con solo ubicar dos puntos homólogos, es decir, dicho punto y su transferido (Figura 30). La distancia entre estos puntos puede obtenerse directamente en las fotografías con una simple regla, sin embargo, para mayor precisión se emplean instrumentos micrométricos como la barra de paralaje o algunos otros que funcionan con el mismo principio (punto flotante).

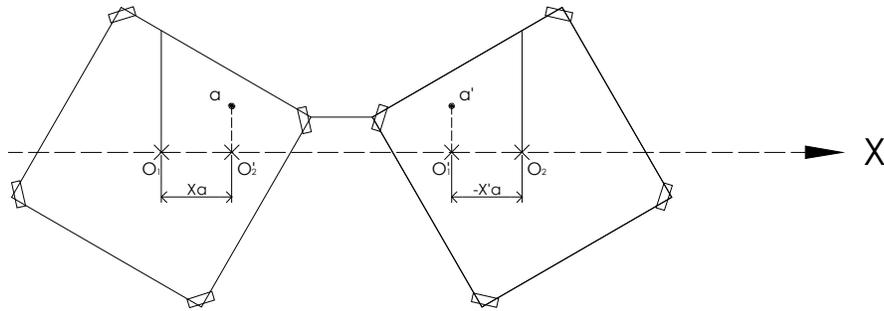


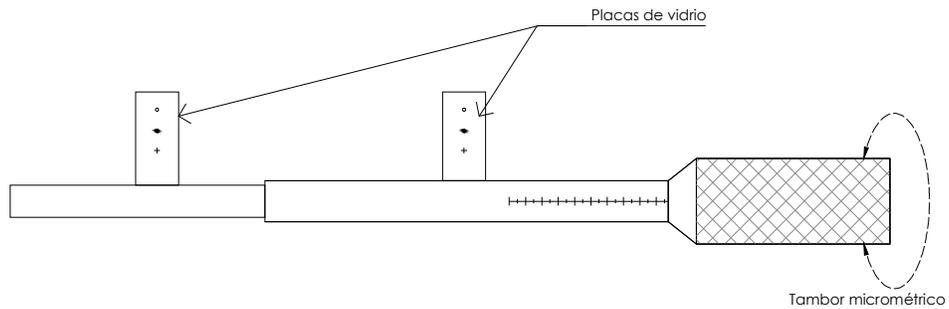
Figura 30.

Formula general del paralelaje:

$$Pa = Xa - X'a$$

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

$$Pa = Xa - (-X'a) = Xa + X'a$$



Barra de paralelaje

Figura 31.

Manejo de la barra de paralelaje.

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

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

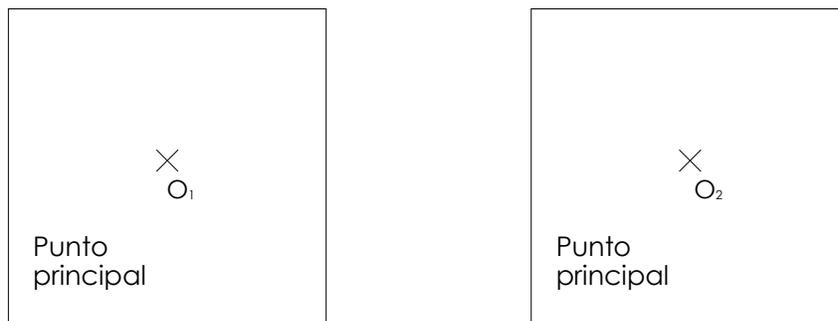


Figura 32.

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

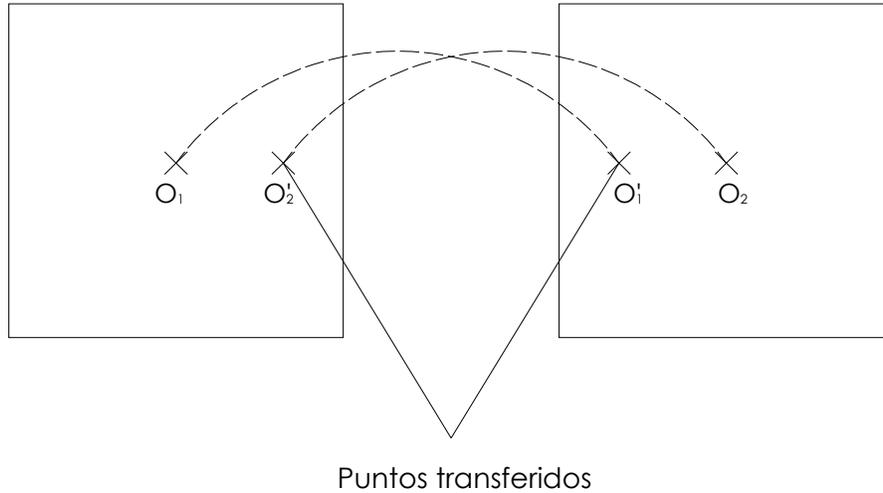


Figura 33.

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

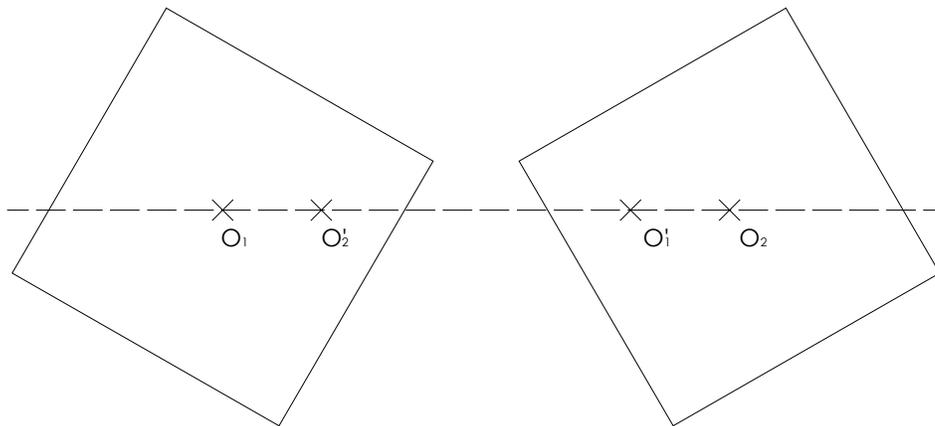


Figura 34.

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

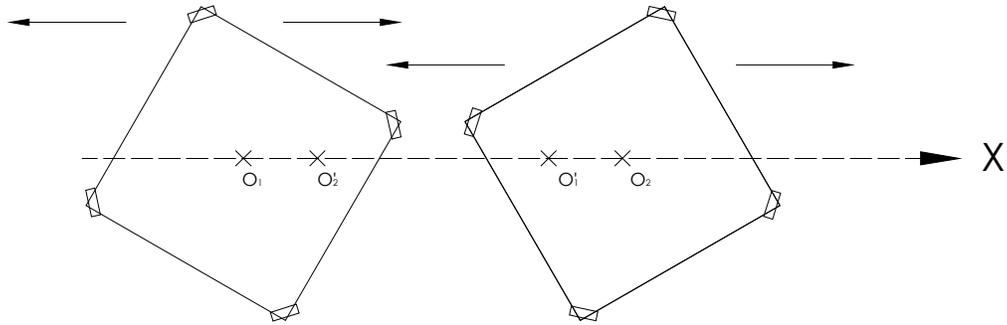


Figura 35.

- e) Enseguida se instala sobre el modelo la barra de paralaje de tal forma que cualquiera de las marcas de vidrio izquierda coincida con el punto principal de la foto izquierda al que llamaremos siempre O_1

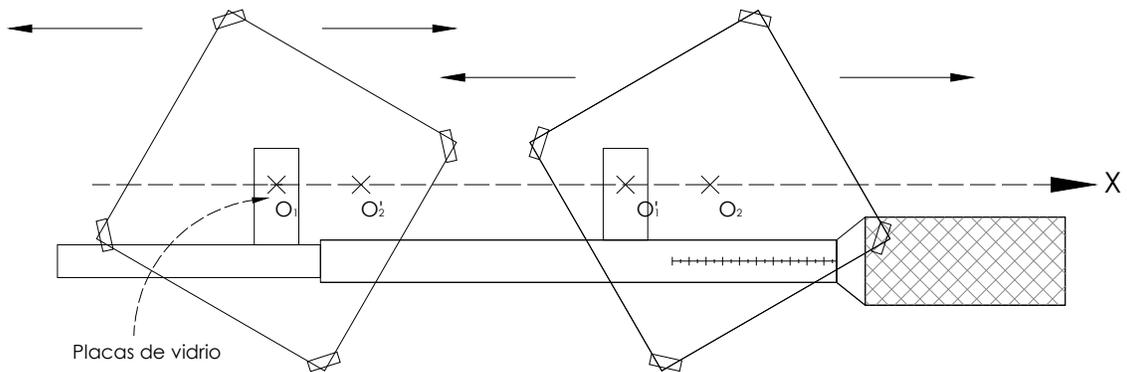


Figura 36.

- f) Para lograr que la placa de vidrio derecha coincida con una de sus marcas con el punto transferido en la foto derecha simplemente giramos el tambor micrométrico obteniéndose de esta manera una lectura en la barra en mm llamada L_{O_1} .

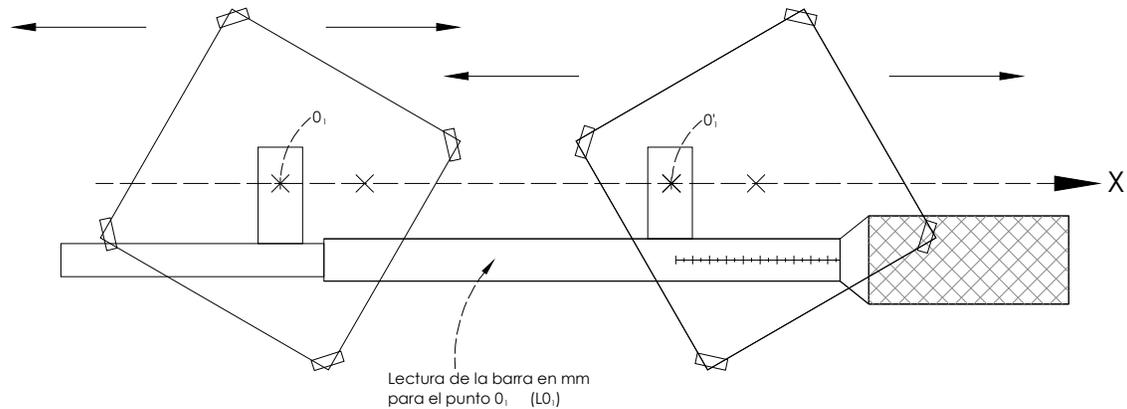


Figura 37.

- g) El procedimiento anterior se repite ahora para el punto principal de la foto derecha hasta obtener la lectura de la barra correspondiente denominada L_{0_2}

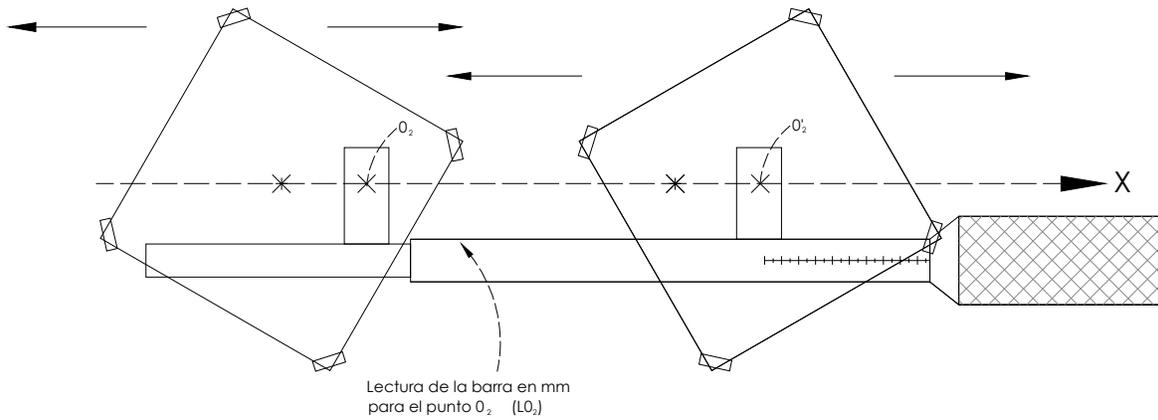


Figura 38.

- h) Después de obtener las lecturas de la barra en los puntos O_1 y O_2 ya se puede utilizar dicha barra para la obtención de lecturas en n puntos del modelo de los que se quiera conocer su paralaje y en función de este sus elevaciones.

Ejemplo. Calcular el desnivel entre dos puntos cuyas imágenes aparecen en un modelo estereoscópico, desde luego en función de sus paralajes.

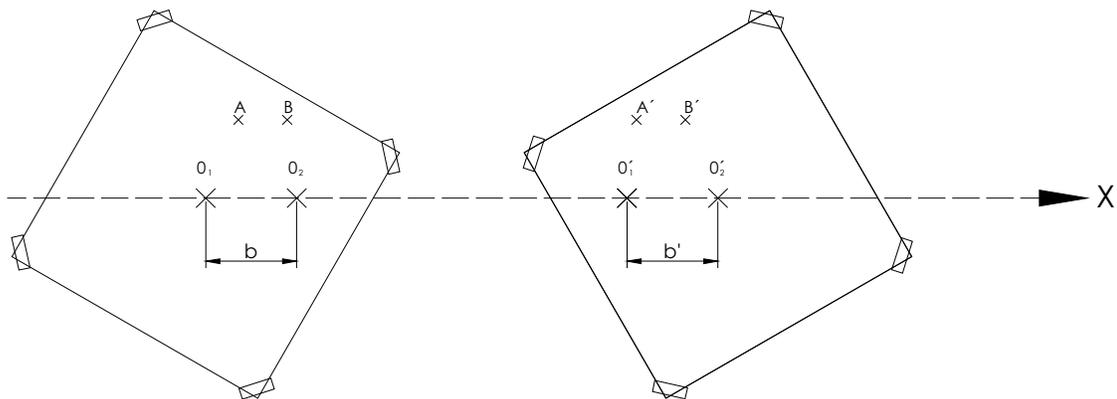


Figura 39.

Datos:

Base aérea 1280 ft.

$$f = 152.4 \text{ mm}$$

$$H = 4045 \text{ ft}$$

$$L0_1 = 12.57 \text{ mm}$$

$$L0_2 = 13.04 \text{ mm}$$

$$b = 93.73 \text{ mm}$$

$$b' = 93.30 \text{ mm}$$

$$LA = 10.96 \text{ mm}$$

$$LB = 15.27 \text{ mm}$$

Fórmulas.

$$C_1 = b - L0_1$$

$$C_2 = b' - L0_2$$

$$C_1 = 93.73 - 12.57 = 81.16 \text{ mm.}$$

$$C_2 = 93.30 - 13.04 = 80.26 \text{ mm}$$

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{161.42}{2} = 80.71 \text{ mm}$$

$$PA = C + LA = 80.71 + 10.96 = 91.67 \text{ mm.}$$

$$PB = C + LB = 80.71 + 15.27 = 95.98 \text{ mm}$$

Fórmulas. A mayor paralaje mayor altura.

Calculo de la altura.

$$hn = H - \frac{Bxf}{Pn}$$

$$hA = 4045 \text{ ft} - \frac{(1280 \text{ ft})(152.4 \text{ mm})}{91.67 \text{ mm}} = 1917.02 \text{ ft}$$

$$hB = 4045 \text{ ft} - \frac{(1280 \text{ ft})(152.4 \text{ mm})}{95.98 \text{ mm}} = 2012.57 \text{ ft}$$

Desnivel.

$$hB - hA = 95.55 \text{ ft}$$

Bibliografía:

- **ING. HUGO CARRILLO V. 1986 MOSAICOS FOTOGRAFICOS EDIT. ESTUDIOS Y PROYECTOS MÉXICO PAGS. 13 A 35.**
- **PAUL R. WOLF 1974 ELEMENTS OF PHOTOGRAMMETRY, EDIT. MC GRAW HILL JAPON PAGS 144-159 Y 278-320.**

CAPÍTULO 3: FOTOGRAMETRÍA ACTUAL.

Objetivo: Describir la Fotogrametría actual, a través del equipo de campo y gabinete.

Estación total con
GPS integrado



3.1 APOYO TERRESTRE.

Para la ejecución de planos por medios fotogramétricos es imprescindible el apoyo terrestre, con él cotejamos las características geométricas del terreno con las observadas en las fotografías.

Se define como el conjunto de trabajos de campo y gabinete que se realiza con equipo topográfico de alta precisión con el fin de determinar la posición de puntos en el terreno cuyas imágenes aparecen en las fotografías aéreas correspondientes. Se puede decir que el apoyo terrestre se refiere a trabajos topográficos de alta calidad.

Esta labor de campo debe realizarse con una gran precisión y tener una buena identificación y visualización de los puntos medidos para una excelente calidad del plano, simplemente se establece que sin apoyo terrestre no se lograría el proceso de restitución.

En el apoyo terrestre, como en todo trabajo topográfico, se sitúan puntos o vértices de estación perfectamente identificados tanto en el terreno como en las fotografías para evitar errores en la restitución, algunos puntos se encuentran marcados en el terreno al momento de la toma de fotografías (preseñalamiento); más adelante se explicará.

La posición de los puntos esta determinada por las coordenadas X, Y., referida al sistema de ejes cartesianos y a un plano horizontal de comparación Z, teniéndose que determinar el control horizontal para la ubicación planimétrica y el control vertical para las elevaciones.

Para orientar un modelo estereoscópico en restitución, es esencial contar con tres puntos de control horizontal y vertical y un cuarto punto de control, es decir, podemos tener como mínimo dos puntos de control horizontal y vertical y un tercero de control vertical únicamente, tal que podamos proyectar correctamente el apoyo terrestre.

Las siguientes son las fases a seguir en la planeación y ejecución del apoyo terrestre.

1. Proyecto en gabinete.
2. Identificación en el terreno de los puntos proyectados.
3. Amojonamiento de los puntos identificados en el terreno.
4. Orientación astronómica (GPS).
5. Medición de ángulos y distancias.
6. Nivelaciones directas.
7. Preseñalamiento.

Proyecto en gabinete.

Se proyecta el apoyo en gabinete sobre un mosaico índice del terreno fotografiado, ubicando los puntos que nos puedan servir, pasando después a la observación estereoscópica de las fotografías de contacto para conocer la topografía del terreno e ir localizando y marcando los puntos que van a ser medidos por el apoyo terrestre,

procurando situarlos de manera que tengan visibilidad con los demás puntos (detalles más notables como partes elevadas). Si se proyecta poligonales, los puntos marcados deben de ser visibles con los puntos anteriores y posteriores hasta cerrar la poligonal; en el caso de triangulaciones, se procura situar los vértices sobre sitios elevados para que tengan visibilidad con los demás puntos, y lo más cercano posible a vías de acceso.

Este proyecto, lo debe de hacer una persona con suficiente criterio en campo, como en restitución para evitar errores técnicos y económicos.

Identificación en el terreno de los puntos proyectados.

En esta fase se forma una brigada de apoyo terrestre la cual tendrá que acudir al terreno pero llevando consigo el siguiente material y equipo para lograr una correcta identificación: fotografías de contacto con el apoyo terrestre proyectado, un mosaico índice, un estereoscopio de bolsillo y el equipo topográfico de alta calidad como Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) estaciones totales, colectores de datos electrónicos, etc.

El objetivo de esta fase es la visualización y reconocimiento del terreno para buscar los lugares marcados en las fotografías e ir identificando los lugares más apropiados para fijar los puntos o estaciones tanto en el terreno como en las fotografías. Cuando no hay en algún caso una visibilidad con el punto anterior y el siguiente por algún obstáculo en el caso de una poligonal); se puede mover fuera de la zona marcada en el proyecto, pero procurando situarlo de manera que dicho punto sea aprovechado al máximo para la restitución.

Para el caso que se describe los puntos que se identifiquen en el terreno, se situarán en la forma antes descrita y algunos puntos que se desplacen fuera de la zona marcada en las fotografías, se situarán pensando de antemano que sean aprovechados en restitución en tres fotografías y no en dos, es decir, como se sabe que el recubrimiento entre una fotografía y la siguiente es de 60%, por lo tanto hay un recubrimiento del 20% entre la primera y la tercera fotografías, se procura que los puntos marcados quedaran dentro de esta zona.

Generalmente se marcan éstos puntos en los extremos laterales de las líneas para que aparezcan también en la línea adyacente debido a la sobre posición lateral

Se procura que los puntos sean identificados tanto en el terreno como en las fotografías, por lo que se situarán en detalles fácilmente identificables para los operadores en restitución; por ejemplo: en cruce de veredas, esquinas de cercas, rocas aisladas y otros elementos referidos a detalle que fueran perfectamente visibles, y ligados por radiaciones para su posición exacta.

Se deben de hacer croquis de todas las estaciones dando referencias y detalles del punto perfectamente identificables, con toda la información necesaria para su pronta localización. También se le hace una perforación muy fina a las fotografías con un punzón en el lugar preciso donde se encuentra situado el punto identificado en el terreno (empleando el estereoscopio de bolsillo), a las perforaciones, se encierran con un círculo (marca) color rojo si son estaciones y de color azul si son bancos de nivel, etc., lo mismo se hace al reverso de las fotografías, anotando además, su nomenclatura correspondiente para una nueva identificación por parte de los operadores en restitución. (Figura 40)

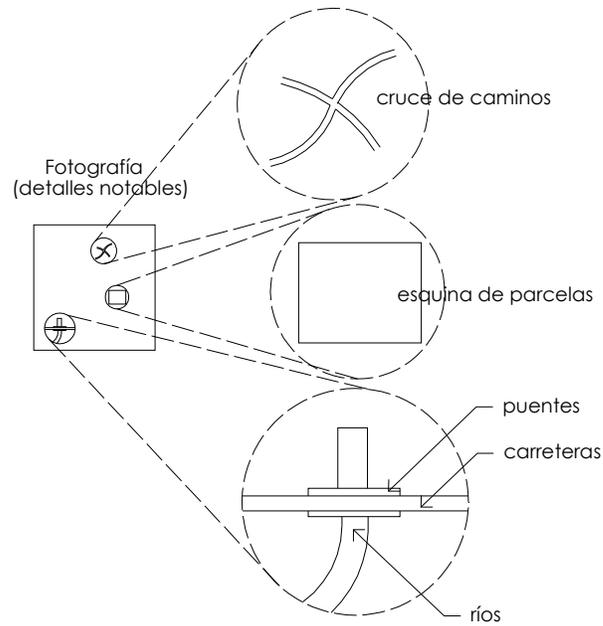


Figura 40.

Amojonamiento de los puntos identificados en el terreno.

Es construir o poner obras de mampostería o concreto a los puntos que van a servir de apoyo, con el fin de dejar referencias para trabajos posteriores que se vayan a ejecutar. En el caso de triangulaciones, todos los puntos deben de ir amojonados o monumentados; contruidos de acuerdo al diseño y especificaciones indicadas por la dependencias correspondientes.

En el caso de poligonales se construyen mojoneras cuya cantidad y distribución se planea y señala en el mosaico índice. (Figura 41)

Mojonera Superficial

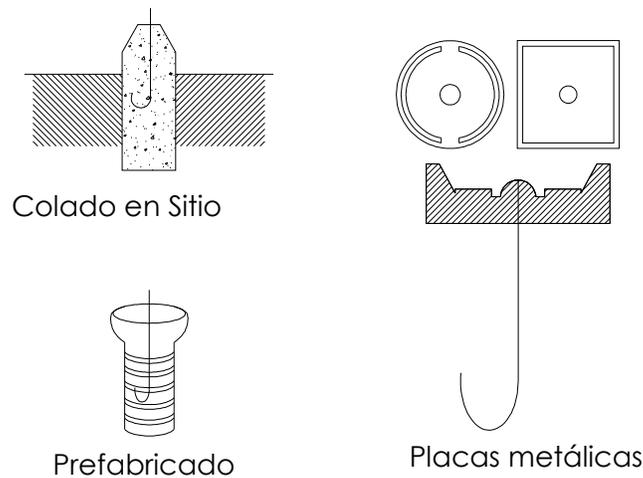


Figura 41.

Orientación astronómica.

Apoyándonos en una poligonal con radiaciones, realizaremos el levantamiento topográfico de precisión, desde luego *iniciando* con las orientaciones astronómicas de una o varias líneas de dicha poligonal según se requiera.

Después de identificar los puntos y señales, es necesario hacer observaciones y cálculos astronómicos para obtener con precisión las direcciones de las líneas de las poligonales o triangulaciones. Como sabemos, la dirección de una línea es el ángulo horizontal que se mide a partir de la línea *Norte –Sur*⁶ a la derecha hasta un lado de la poligonal. A la línea *Norte-Sur* se le llama *Meridiana* la cual puede ser magnética o astronómica (en nuestro caso utilizaremos la meridiana astronómica).

Se debe efectuar orientaciones cada 5 ó 10 Km., cuando se trate de poligonales abiertas, para comprobar su estado azimutal de los lados y corregir el error angular si esta dentro de la tolerancia permitida.

Actualmente en lugar de una o varias orientaciones nos apoyamos en puntos cuya posición se establece con un GPS (se hablara a detalle en el capítulo correspondiente).

Medición de ángulos y distancias.

Esta fase actualmente se realiza con instrumentos como el teodolito electrónico, la estación total u otro similar a estos, desde luego apoyándonos con los puntos GPS, estos instrumentos nos permiten la medición de ángulos y distancias con las cuales finalmente podremos calcular las coordenadas X, Y y Z de cada punto de apoyo terrestre.

Debido a su tecnología estos aparatos entregan una alta precisión en las mediciones necesarias en los trabajos de apoyo terrestre para lograr un eficaz trabajo de restitución. Estos equipos miden distancias por medio de ondas de luz infrarroja, o las microondas para distancias muy grandes, en general constan de un sistema emisor y otro de recepción acoplados a un sistema de mando donde se efectúan todas las operaciones.

Nivelaciones directas.

La coordenada Z de algunos puntos de apoyo terrestre proyectados se tiene que obtener en el terreno por medio de nivelaciones directas, como el caso de la nivelación diferencial, utilizando instrumentos de alta precisión como el nivel fijo (digitales y automáticos) y miras o estadales especiales.

Otro método utilizado en la nivelación es el trigonométrico, es decir, el desnivel entre dos puntos se calcula por medio de la distancia horizontal o vertical y el ángulo vertical. Se utiliza generalmente para determinar elevaciones de los vértices de triangulaciones, poligonales, etc.

Debido que los aparatos de medición angular y distanciómetros son bastante precisos, se ha llegado a comprobar de manera experimental que el error máximo que puede haber entre este tipo de nivelación trigonométrica y la nivelación diferencial es de alrededor de 1cm/Km.

⁶ La línea Norte-Sur coincide con el eje y del plano cartesiano en topografía.

Los errores en la nivelación trigonométrica se debe principalmente al coeficiente de refracción y curvatura terrestre, cuando las distancias son grandes y cuando se miden en un solo sentido, por lo que se procura abatir el error midiendo en un mismo lado hacia delante y hacia atrás para obtener el promedio de la diferencia aritmética entre los dos puntos.

Las dificultades de medir la altura de instrumentos y la señal con exactitud, hace imposible una precisión hasta el mm: además de la precisión con que se mida el ángulo vertical; sin embargo, esta inexactitud no causa errores acumulativos.

Preseñalamiento.

Esta fase se realiza en zonas donde se dificulta la identificación de los puntos de apoyo terrestre en forma directa, como en zonas selváticas o desérticas. Desde luego el preseñalamiento se lleva a cabo antes de la toma de imágenes, es decir, antes del vuelo y consiste en:

- a) En material cartográfico y fotográfico de trabajos anteriores se realiza el preseñalamiento.
- b) Después en el terreno se ubican las mojoneras correspondientes desde luego abriendo una brecha que permita dicha ubicación.
- c) Alrededor de la mojonera se fabrica y ubica una señal formada principalmente por brazos materializados con roca apilada, alineada y pintada con un color que este de acuerdo al tipo de terreno. Si no es posible contar con material en el lugar para la construcción de las señales, entonces, se recurre a plantillas de cartón desde luego pensando que el vuelo se lleve a cabo inmediatamente, ya que las señales de este tipo se destruyen fácilmente
- d) Al tomar las imágenes correspondientes podremos observar en las fotos los puntos de apoyo terrestres definidos por pequeñas cruces.

3.2 GPS (SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL).

La Tierra en el Espacio.

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es simplemente una más en la inmensidad del Universo. Nuestra estrella más cercana, el Sol, es sólo una más entre los miles de millones de estrellas de la Vía Láctea. El planeta Tierra es uno de los 9 planetas que dan vueltas alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica. Estos planetas, del más próximo al más lejano al Sol, son: Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Las reglas que gobiernan el movimiento de estos satélites solares (los planetas) se estudian en la disciplina de Mecánica Celeste, y fueron descubiertas por científicos excepcionales como Johannes Kepler e Isaac Newton hace ya cientos de años.

El movimiento de los 9 planetas solares es como una fascinante maquinaria de relojería. La fuerza que los mantiene juntos y determina sus movimientos relativos es "la gravedad". Cuanto más cercano al Sol se encuentra un planeta, la fuerza de atracción de gravedad que siente es mayor y debe moverse más rápido en su órbita para no caer al Sol. Por

ejemplo, La Tierra, situada a unos 150.000.000 Km del Sol, viaja en su órbita a una velocidad media de unos 30 kilómetros por segundo y completa una revolución alrededor del Sol en un año.

Varios planetas, a su vez, tienen uno o más satélites orbitando a su alrededor. Por ejemplo, el *único* satélite natural de la Tierra, la Luna, se encuentra a una distancia media de unos 385.000 kilómetros de la Tierra y da una vuelta completa alrededor de ella en unos 29 días. Las diferentes posiciones de la Luna con respecto a la Tierra determinan sus cuatro fases: luna llena, luna nueva, cuarto creciente y cuarto menguante.

La definición de satélite es, por tanto bastante sencilla de intuir. Es simplemente un cuerpo que orbita alrededor de otro. La gravedad es la fuerza de atracción que hace posible el movimiento relativo de las órbitas descritas por los satélites.

Satélites que orbitan la Tierra

El conocimiento detallado de las reglas de Mecánica Celeste y el estudio del movimiento de satélites naturales ha permitido a los científicos diseñar y poner en órbita satélites artificiales alrededor de la Tierra y de Marte.

Para lanzar los satélites al espacio se utilizan potentes cohetes. Si la velocidad de lanzamiento es muy baja el satélite caerá de nuevo a la Tierra atraído por la fuerza de la gravedad, de la misma manera que al lanzar una roca vuelve a caerse a la superficie terrestre. Por otra parte, si la velocidad de lanzamiento es excesivamente alta la fuerza de gravedad de la Tierra no será suficiente para mantener al satélite en órbita y escapará hacia el espacio. Poner en órbita un satélite no es un trabajo muy sencillo.

Hoy en día hay multitud de satélites artificiales orbitando la Tierra con diferentes finalidades:

- ❖ Telecomunicaciones.
- ❖ Predicción meteorológica.
- ❖ Aplicaciones militares.
- ❖ Investigación Científica.
- ❖ Geofísica.

Las órbitas de algunos satélites están sincronizadas con el periodo de rotación de la Tierra. Si sus velocidades coinciden exactamente con la de rotación de la Tierra, los satélites se llaman geoestacionarios y permanecen siempre en el mismo punto del cielo con respecto a la Tierra. Si las velocidades son diferentes ala de rotación de la Tierra, entonces los satélites "salen" y se "ponen" a diferentes horas, tal y como ocurre con la Luna. Algunos salen y se ponen varias veces a lo largo de un día.

Se necesita alguna forma de comunicación para enviar órdenes y recibir respuestas de los satélites a la Tierra. Aunque hay muchas maneras de hacer esto, el alfabeto básico de comunicación consiste en ondas de radio.

El Sistema de Posicionamiento Global

GPS (Global Positioning System) es una constelación de 24 satélites artificiales uniformemente distribuidos en un total de 6 órbitas, de forma que hay 4 satélites por órbita. Esta configuración asegura que siempre puedan "verse" al menos 8 satélites desde casi cualquier punto de la superficie terrestre. Los satélites GPS orbitan la Tierra a una altitud de unos 20.000km y recorren dos órbitas completas cada día. Describen un tipo de órbita tal que "salen" y se "ponen" dos veces al día. Cada satélite transmite señales de radio a la Tierra con información acerca de su posición y el momento en que se emite la señal. Podemos recibir esta información con receptores GPS, que decodifican las señales enviadas por varios satélites simultáneamente y combinan sus informaciones para calcular su propia posición en la Tierra, es decir sus coordenadas de latitud y longitud con una precisión de unos 10 metros. Hay receptores más sofisticados que pueden determinar la posición con una precisión de unos pocos milímetros.

Posicionamiento con GPS

¿Qué significa exactamente determinar nuestra posición en la Tierra? En el caso que nos atañe, esto significa proporcionar las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del punto en el que nos encontramos sobre la superficie terrestre. Por tanto, la mayoría de receptores proporcionan los valores de estas coordenadas en unidades de grados (°) y minutos ('). Tanto la latitud como la longitud son ángulos y por tanto deben medirse con respecto a un 0° de referencia bien definido.

Latitud:

La latitud es la distancia angular medida desde el centro de la tierra en una dirección Norte-Sur a través de noventa grados y designa "N" y "S" para indicar la dirección de la medición que se hace a partir del paralelo base (*Ecuador*) hasta el paralelo de un lugar en la Tierra.

Longitud:

Longitud es la distancia angular medida desde el centro de la Tierra en dirección Este-Oeste a través de ciento ochenta grados y designa "E" u "W" para indicar la dirección de la medición que se hace a partir del primer meridiano (Greenwich) tomado como origen y el meridiano de un punto de la Tierra.

Con la *Latitud* y la *Longitud*, se da a entender que cualquier punto sobre la superficie terrestre, esta formado por la intersección de un *meridiano* y un *paralelo*.

Meridianos:

Los meridianos son círculos máximos de la Tierra, que pasan por los polos. El Ecuador divide a cada *meridiano* y a la Tierra misma en dos mitades exactas, es decir, el Ecuador pasa alrededor de la Tierra en ángulo recto a su eje de rotación. Para cada grado alrededor de la Tierra hay un *meridiano*, para el efecto, la Tierra se dividido en 360 *meridianos*, razón por la cual se necesitaba la existencia de un *meridiano* el punto de partida para su numeración esta situación hizo que la mayoría de las naciones marítimas decidieran que debería ser el meridiano sobre el cual se halla situado el Observatorio Real de Greenwich, Inglaterra, convirtiéndose así en el *meridiano* "cero o de origen" y los *meridianos* que están situados desde este punto al Este (E) y al Oeste (W) se numeran de 0 a 180°.

Paralelos:

Son cada uno de los círculos menores paralelos al Ecuador del que toman su nombre y que disminuyen progresivamente a medida que se alejan de él y se acercan al Polo, conteniendo cada uno 360°. El punto de partida para la numeración de los *paralelos* es el Ecuador, considerado como el *paralelo* origen, los *paralelos* se numeran de 0 a 90°, al Norte o al Sur del Ecuador. No se debe pensar que existen 360 *meridianos* y 180 *paralelos*, si no que hay un *meridiano* y un *paralelo* para cada uno de los 21,600 minutos ó 1 '296,000 segundos alrededor del círculo completo de la esfera terrestre; el número de *meridianos* y *paralelos* es infinito; existiendo uno para cada punto de la Tierra del cual se desee conocer su situación geográfica.

Trilateración.

Después de este breviario geográfico es necesario conocer el concepto de *Trilateración*, para comprender cómo funciona el sistema de satélites para GPS, Veamos un ejemplo sobre cómo funciona la trilateración.



Figura 42.

Digamos que usted está en algún lugar de la república mexicana y está totalmente perdido no tiene ninguna idea sobre dónde está. Usted se encuentra con una persona amigable a la cual pregunta, "¿Dónde estoy?" y la persona le dice, "usted está a 118 Km. de Tlaxcala." Esta información no es de mucha ayuda para usted. Usted podría estar en cualquier punto de un círculo imaginario alrededor de Tlaxcala que tenga un radio de 118 Km., como este:

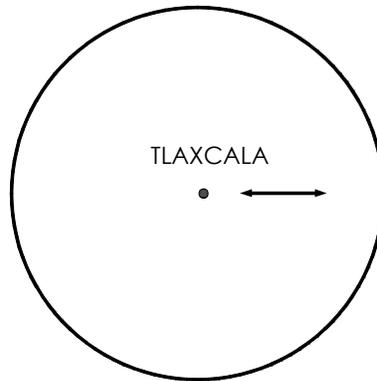


Figura 43.

Usted sabe que está a 118 Km. De Tlaxcala, usted podría estar en cualquier punto del círculo. Figura 43

Usted decide preguntarle a otra persona, y le responden, "Usted está a 123 Km. de Cholula Puebla". Esto es de mayor ayuda, si combina esta información con la información de Tlaxcala, usted tiene dos círculos que se interceptan. Ahora usted sabe que está en uno de dos posibles puntos, pero usted no sabe en cuál de los dos, como este:

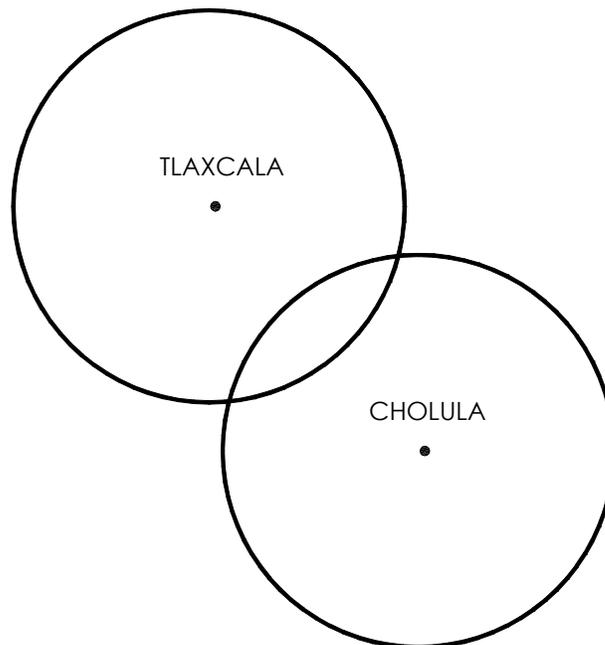


Figura 44.

Si usted sabe que esta a 118 Km. y a 123 Km. de Cholula, entonces usted sabe que está entre dos posibles puntos interceptados. Figura 44.

Si una tercera persona le dice que usted está a 89 Km. de Cuernavaca Morelos, usted puede determinar en cuál de los puntos usted está:

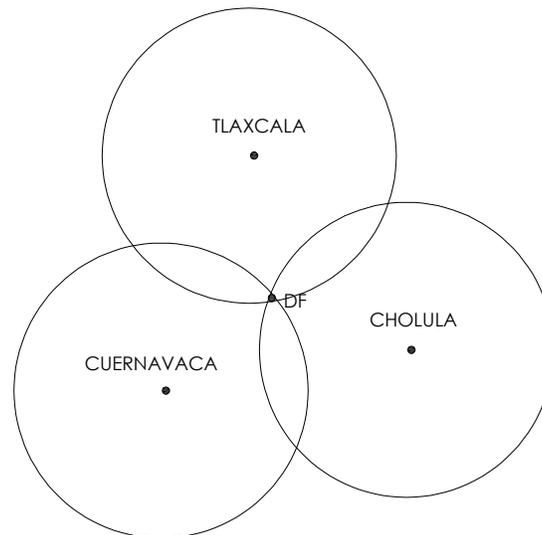


Figura 45.

Con tres puntos conocidos, usted puede determinar que su posición exacta es en algún lugar cerca del D. F. Figura 45.

Con los tres puntos conocidos, usted puede ver que está cerca del Distrito Federal.

Trilateración es un principio básico de geometría que le permite encontrar un lugar si conoce su distancia de otros puntos conocidos. La geometría detrás de esto es muy sencilla de comprender en un espacio bidimensional.

El mismo concepto funciona idéntico en un espacio tridimensional, pero aquí usted está trabajando con esferas en lugar de círculos. Usted también necesita 4 esferas en lugar de tres círculos para encontrar su ubicación exacta. El corazón de un receptor de GPS es la habilidad para encontrar la distancia entre el mismo receptor y 4 (o más) satélites de GPS. Una vez que determina su distancia de los cuatro satélites, el receptor puede calcular su ubicación exacta y altitud sobre la Tierra. Si el receptor solamente puede encontrar tres satélites, entonces utilizará una esfera imaginaria para representar la tierra y podrá darle la información de ubicación pero no la de altitud.

Para que un receptor de GPS pueda encontrar su ubicación, debe determinar dos cosas:

- ❖ La ubicación de por lo menos tres satélites sobre usted.
- ❖ La distancia entre usted y cada uno de los satélites encontrados.

Midiendo Distancias

Los satélites de GPS envían señales de radio que su receptor de GPS puede detectar. Pero, ¿cómo esta señal de radio permite al receptor conocer que tan lejano están los satélites? La sencilla respuesta es: Un receptor de GPS mide el tiempo que le toma a la señal viajar desde el satélite hasta el receptor. Puesto que sabemos lo rápido que viajan las señales de radio son ondas electromagnéticas y por lo tanto (en el vacío) viajan aproximadamente a la velocidad de la luz, alrededor de 186,000 millas por segundo (299337.984 Km. /s), entonces, podemos imaginarnos qué distancia han recorrido por medio de verificar qué tiempo les tomó llegar.

Medir el tiempo sería sencillo si supiéramos exactamente en qué momento la señal abandona el satélite y en qué momento llega a su receptor, y resolver este asunto es el problema principal para los Sistemas de Posicionamiento Global. Una forma de resolverlo sería colocando relojes extremadamente precisos Y, en sincronía en los satélites y los receptores. El satélite iniciaría transmitiendo un patrón digital; llamado *pseudo-random code*, como parte de su señal aciertos intervalos de tiempo, digamos medianoche. El receptor inicia ejecutando el *mismo* patrón digital, exactamente a medianoche. Cuando las señales del satélite alcanzan al receptor, su transmisión del patrón dejará un bit detrás del patrón ejecutado por el receptor. El tiempo de retraso es igual al tiempo que viaja la señal. El receptor multiplica este tiempo por la velocidad de la luz para determinar que tan lejos ha viajado la señal. Si la señal ha viajado en línea recta, esta distancia sería la *distancia* al satélite.

La única forma para implementar un sistema como este requeriría un nivel de precisión disponible solamente en *relojes atómicos*. Esto es así porque los tiempos que se miden en estos cálculos corresponden a escalas en nanosegundos. Para que un GPS funcione con relojes sincronizados, se necesitarían relojes atómicos no solamente en los satélites, sino que también en los receptores mismos. Los relojes atómicos normalmente cuestan entre \$50,000 y \$100,000 dólares, que los excluye para el uso común de día a día.

El Sistema de Posicionamiento Global tiene una solución muy efectiva para este problema un receptor de GPS no posee un reloj atómico en absoluto. Posee un reloj normal de cuarzo (*quartz clock*). El receptor analiza todas las señales que recibe y utiliza cálculos para encontrar el tiempo exacto y la posición simultáneamente. Cuando se miden distancias a cuatro satélites encontrados, se pueden dibujar cuatro esferas que se interceptan en un punto. Cuatro esferas de este tipo no se interceptarán en ningún punto si se han medido incorrectamente. Puesto que el receptor realiza todos estos cálculos de tiempo, y por lo tanto, sus medidas de distancia, utilizando el reloj que posee internamente, todas las distancias serán proporcionalmente incorrectas. El receptor puede, entonces, fácilmente calcular el ajuste de distancia que permitirá que las cuatro esferas puedan interceptarse en un punto. Por esta razón, un receptor de GPS mantiene tiempos muy precisos, por el orden de los relojes atómicos presentes en los satélites.

Un problema con este método es la medida de la velocidad. Como vimos anteriormente, las señales electromagnéticas viajan en el vacío a la velocidad de la luz. La Tierra, por supuesto, no es vacío, y su atmósfera frena la transmisión de señales de acuerdo a condiciones particulares de un área, el ángulo de entrada de la señal, y cosas por el estilo. Un receptor de GPS determina la velocidad empleando modelos matemáticos complejos de un rango de condiciones atmosféricas. Los satélites pueden también transmitir información adicional al receptor.

En términos generales los hechos más importantes sobre el Sistema de Posicionamiento Global son:

- ❖ El Sistema de Posicionamiento Global emplea 24 satélites para garantizar que al menos 4 de ellos estén sobre el horizonte en cualquier punto sobre la tierra en cualquier momento. En términos generales siempre existen 8 satélites o más visibles para el receptor de GPS en cualquier momento.
- ❖ Cada satélite posee un reloj atómico.
- ❖ Los satélites envían señales de radio a los receptores de GPS para que estos puedan determinar qué tan lejos está cada satélite. Debido a que los satélites están orbitando a una distancia de 11,000 millas (17702.784 Km.), las señales llegan débiles al receptor. Esto significa que debe estar en un área abierta para que su receptor pueda funcionar.

Encontrando los Satélites

El otro componente crucial en los cálculos del GPS es conocer dónde están los satélites. Esto no es difícil puesto que los satélites viajan a órbitas altas y predecibles. Los satélites están lo suficientemente lejos de la Tierra que no se ven afectados por nuestra atmósfera. El receptor de GPS simplemente almacena un *almanaque* que le dice dónde debe estar cada satélite en cualquier momento. Factores como la gravedad de la Luna y del Sol pueden cambiar levemente la órbita de los satélites, pero el Departamento de Defensa de los Estados Unidos monitorea constantemente sus posiciones exactas y transmite cualquier ajuste a todos los receptores de GPS como parte de la señal de los satélites.

Encontrando la Posición

La función más esencial de un receptor de GPS es tomar la transmisión de al menos cuatro satélites y combinar la información presente en esas transmisiones con información presente en el almanaque electrónico, para poder matemáticamente determinar la posición del receptor en la Tierra. La información básica que provee un receptor es latitud, longitud y altitud (o un tipo de medida similar) de su posición actual. Algunos receptores combinan estos datos con otra información, como mapas, para convertir al receptor en un aparato más amigable. Usted puede utilizar los mapas almacenados en la memoria del receptor, conectarlo a una computadora que posee mapas más detallados o simplemente comprar un mapa detallado de su área y utilizar el receptor para trazar su ubicación.

Los geógrafos han cartografiado cada esquina de la Tierra, así que puede encontrar mapas con el nivel de detalle que usted prefiera. Usted puede confiar en el GPS como una forma extremadamente precisa de obtener datos posicionales, que pueden ser aplicados a datos geográficos que se han acumulado a través de los años. Los receptores de GPS son una excelente herramienta de navegación, con aparentemente una cantidad interminable de aplicaciones.

Los siguientes son algunos de los más populares modelos de GPS disponibles:

- ❖ DeLORME
- ❖ Eagle Electronics
- ❖ Garmin
- ❖ Lowrance
- ❖ Magellan
- ❖ Topcon
- ❖ Trimble

Lo anterior es una descripción sencilla pero justa para este trabajo del funcionamiento del GPS.

Como ya mencionamos, del conjunto de trabajo topográfico de precisión se deriva una serie de datos, los cuales generan una red de puntos que son los vértices de una poligonal de apoyo para la restitución, ahora hablaremos del uso del GPS para trabajos topográficos.

La topografía con GPS puede ser sumamente productiva, pero también puede causar ratos de depresión y desilusión.

El GPS se concibió como un sistema de navegación (posicionamiento). Sabiendo las posiciones de los satélites y midiendo la distancia entre su antena y cuatro o más satélites, un solo receptor de GPS puede calcular su posición tridimensional, velocidad, y dirección de viaje. Los errores inherentes en el sistema, diluyen la exactitud horizontal de la posición computada aun nivel de 10 a 100 metros. Es decir, su posición real estará en alguna parte dentro de un círculo que tiene un radio que mide de 10 a 100 metros.

La exactitud vertical no es tan buena, y se reconoce que es de 2 a 2.5 veces peor que la exactitud horizontal. Además del error normal, el gobierno americano está introduciendo los errores artificiales en el sistema bajo un programa que es obscuramente titulado Disponibilidad Selectiva o SA. Con SA activa, 10 metros de exactitud es lo mejor que usted puede esperar en este momento para un receptor de GPS autónomo, y que para un simple navegador GPS (que casi siempre es utilizado para recreación) esta muy bien. Afortunadamente, hay maneras de reducir grandemente el error normal y los errores impuestos por SA.

Este nivel de exactitud es suficientemente bueno para la navegación y permitirá ciertamente que su cuadrilla topo gráfica llegue al sitio de trabajo sin perder tiempo. Las aplicaciones del GPS para topografía (GIS), normalmente requieren la exactitud al nivel de un metro o mejor.

Este tipo de exactitud puede lograrse a través del uso de correcciones diferenciales que pueden aplicarse a los cálculos del receptor en tiempo real o después del hecho (post-proceso). El precio pagar para una mayor exactitud es la necesidad de más equipo. Las técnicas de corrección diferencial requieren el uso de un receptor GPS extra. El receptor extra, normalmente llamado estación base, se pone en una referencia establecida conocida y las coordenadas se programan en el receptor de la estación base. Simplemente se comparan las coordenadas programadas con las coordenadas

derivadas de la transmisión de GPS, la estación base calcula las correcciones para cada satélite que se está rastreando para empatar la posición del satélite a la posición programada. Estas correcciones pueden ser usadas por cualquier receptor que está rastreando los mismos satélites que la estación base. Dado que los errores cambian con el tiempo, cada corrección se etiqueta con un número de secuencia. Las correcciones en tiempo real son aplicadas usando un eslabón de comunicaciones entre la estación base y los receptores en el campo; permitiéndonos usar las posiciones corregidas conforme avanzamos. Debido a que las correcciones se etiquetan en el tiempo, estas también pueden aplicarse después del hecho usando un programa de post-proceso que elimina el problema y gasto de un eslabón de comunicaciones. Sin embargo; incluso al usar a los receptores de código de navegación más buenos con las correcciones diferenciales, la precisión más fina que nosotros podemos esperar es el metro. Para conseguir la exactitud topográfica con GPS, nosotros debemos usar una herramienta diferente. Debemos cambiar del cronómetro a la cinta métrica.

Nuestra cinta de medición es la señal subyacente en que el código C/A y el mensaje de navegación se modulan. Esta señal subyacente se llama portadora. De igual manera que el distanciómetro, algunos receptores de GPS pueden medir una distancia determinando el número de longitudes de onda de una cierta frecuencia que existen entre dos puntos. La frecuencia básica usada por la mayoría de los receptores GPS es llamada frecuencia L1; se transmite a 1575.42 MHz. Esto significa que hay aproximadamente, 1500 millones de ciclos, o longitudes de onda, cada segundo. La longitud de onda, o la distancia representada por un ciclo de esta frecuencia, es aproximadamente de 19 centímetros. Esta longitud de onda de 19 centímetros es la unidad básica de nuestra cinta métrica.

Usando una analogía en topografía, el receptor es el cadenero que lee la porción de la cinta para la medida fraccionaria. Es decir, el receptor determina la porción fraccionaria de una sola longitud de onda, y esta medida es la porción milimétrica de nuestra medida total. Pero a diferencia de su distanciómetro convencional, con un reloj y una señal reflejada, el receptor de GPS no tiene ninguna manera de contar cuántas longitudes de onda enteras hay de esta medida fraccionaria. No puede decir lo que el cadenero de atrás está sosteniendo. Por esta razón, se usan varias técnicas del proceso para determinar el número de ciclos enteros asociado con la medida fraccionaria. Después de que se hace la medida fraccionaria inicial, el receptor guarda huella del cambio en el rango (el cambio en el número de ciclos) entre medida y medida. Esta información, junto con las posiciones cambiantes de los satélites, permite al programa de procesamiento determinar el número entero de ciclos asociado con la medida fraccionaria original.

Habiendo hecho esto, el programa obtiene las diferencias hechas a todos los satélites visibles entre dos receptores, y resuelve el vector entre ellos. Es este paso el que proporciona la exactitud topográfica del GPS. El proceso en efecto quita todos los errores comunes en los satélites y en las mediciones del receptor. Nuestra medición entre los puntos del estudio es bastante precisa aunque es indirecta. ¿Que significa todo esto? Significa que usted necesita tener un número suficiente de mediciones de un número suficiente de satélites para lograr la exactitud al centímetro con GPS. Si usted no obtiene las mediciones suficientes entonces no lo logrará. ¿Cuál es un número suficiente? Varía, más adelante se mencionaran algunos tips para determinar esto.

Comparando topografía convencional con GPS.

La medición GPS es un vector tridimensional de marca a marca. Contiene distancia, dirección y diferencia en la altura entre nuestros puntos del estudio. Generalmente el software reportará el vector como la diferencia entre las coordenadas X, Y, Z de un

sistema coordinado centrado y fijo en el centro de la tierra. Un vector GPS puede definirse también usando un sistema local de coordenadas E, N, Elev; o una distancia geodésica, el Acimut, y la Altura. El receptor hace sus mediciones desde el centro eléctrico de su antena, y nosotros usamos las alturas de la antena para corregir la medida al punto abajo del instrumento (nuestra marca). ¿Qué nos dice esto? Nos dice que la altura de la antena es una parte muy importante de nuestra medida. En la topografía convencional nosotros separamos a menudo las partes de las dimensiones en horizontal (el ángulo y la distancia) y vertical (la elevación). Sin embargo una medida GPS es totalmente tridimensional, y nosotros no podemos separar las partes. El componente vertical afecta al horizontal y viceversa, es por esto que es crítico usar una baliza con altura fija para realizar todo el trabajo de GPS. Los trípodes convencionales están bien para el trabajo en modo estático, pero el operador debe ser sumamente cuidadoso al tomar la medida y registrar la altura de la antena correctamente en cada punto. Una baliza de altura fija necesita ser verificada periódicamente por el desgaste o si hay un cambio en la antena en uso. Usar una baliza de altura fija ayudará a eliminar la posibilidad de errores de altura de antena en nuestras mediciones.

Las mediciones topográficas convencionales involucran un ángulo relativo y una distancia. Es esta dirección relativa, o dependencia en un punto de atrás lo que causa a nuestros vectores convencionales a estar fuertemente atados entre los puntos de inicio y fin en una poligonal. Los errores de cierre en una poligonal convencional son típicamente eliminados, distribuyendo el error del cierre angular igualmente y prorrateando los errores restantes en las longitudes de la poligonal. Este método asume que los errores ocurren sistemáticamente y uniformemente a lo largo de la poligonal que en la realidad raramente es el caso. Pero sin ninguna información adicional que nuestro error de cierre, nosotros no podemos asumir nada más. Si usted ha intentado ajustar una serie de poligonales dependientes usando la regla del compás alguna vez, usted habrá visto que los errores de cierre empiezan a aumentar significativamente después de tan solo dos poligonales. Esto ocurre porque los errores se han prorrateado en lugar de repartirse en dónde ellos realmente ocurrieron.

Por otro lado, los vectores GPS son independientes de cualquier requisito del punto de atrás, y usted puede ponerlos en cualquier formato que usted quiera.

Idealmente, usted debe reunir sus vectores de GPS en redes interconectadas que le permitirán hacer mediciones múltiples a cada uno de sus puntos. Estas mediciones múltiples le permitirán identificar y tratar con cualquier vector que contiene un error significativo. Si no hay ningún error significativo, los errores residuales (los errores cometidos al azar) se ajustarán usando el método de ajuste por mínimos cuadrados que le proporcionará las posiciones ajustadas más exactas posibles. Si usted une sus vectores de GPS como una poligonal convencional entre dos puntos, sus estaciones simplemente se ajustarán como una poligonal convencional, y usted perderá la fuerza y exactitud del método de ajuste por mínimos cuadrados. Las sesiones tradicionales de múltiples receptores en modo estático nos han proporcionado los ladrillos para crear las redes fuertes. Con el advenimiento del modo cinemático o dinámico en tiempo real (RTK Real Time Kinematic) y un acercamiento más radial al GPS, hemos dejado de ver algunas de las ventajas de la fuerte estructura de red usada en sesiones estáticas con múltiples receptores. Nosotros necesitamos tener el cuidado para usar técnicas que rendirán posiciones más exactas y seguras posible con estos métodos GPS. Para abreviar, como topógrafos de GPS, nosotros queremos pensar en una red, no en una poligonal. Queremos usar el poder de un buen diseño de red y el método de ajuste por mínimos cuadrados para proporcionar la exactitud y confianza que necesitamos, y cuando no es posible tener una estructura de red buena, como con los estudios radiales dinámicos o estáticos,

queremos proporcionar bastante redundancia para darnos confianza en la exactitud de nuestros puntos.

La topografía con GPS es por naturaleza radial, es decir, estamos haciendo radiaciones relativas a una estación base. En las aplicaciones dinámicas post- procesadas, podemos utilizar múltiples estaciones base en el proceso de proporcionar redundancia y confianza, pero la mayoría de las aplicaciones en tiempo real usan sólo una estación base. Nunca deben usarse los estudios radiales para establecer estaciones base.

Estas pueden, sin embargo; pueden ser muy útiles para las tareas de la topografía general como planimetría, control fotográfico, el estacado de lotes, etc. Recuerde que una posición de GPS dinámica no es como una radiación topográfica. Usted no tiene ningún chequeo sólido a menos que usted visite el punto dos veces. Por consiguiente, es una buena práctica visitar sus puntos radiales dos veces, y aun mejor mover al receptor base a una estación de control diferente antes de la segunda visita.

Tradicionalmente la parte de mayores tropiezos en el uso del GPS ha sido sus limitaciones para establecer la elevación. El problema básico es que es imposible medir directamente las diferencias de elevación directamente con GPS. Con GPS, nosotros podemos medir directamente solamente la diferencia de altura elipsoidal. Para medir la diferencia de elevación directamente, nosotros necesitamos usar el nivel topográfico convencional. Esto es, que es posible obtener muy buenas elevaciones GPS derivadas con la ayuda de un buen modelo del geoide. Este sistema de alturas dual ha sido uno de los conceptos más duros de entender, y nosotros intentaremos explicarlo tan simplemente como sea posible.

Se define la elevación como la altura de un punto sobre una superficie de gravedad. Históricamente nosotros hemos usado el concepto de nivel medio del mar para describir el punto cero, o referencia, para la elevación. Hoy, nosotros estamos usando una superficie definida por los valores de gravedad, debido a la dificultad de determinar el nivel medio del mar de costa a costa. Esta superficie de gravedad es irregular porque varía, dependiendo de la fuerza de gravedad en un área determinada. La superficie de una patata es un buen modelo para describir una superficie de la gravedad alrededor del mundo. Bajo la influencia de la gravedad, el agua busca su nivel más bajo (el nivel medio del mar). Es decir, el agua fluye en declive de un nivel más bajo de gravedad a una gravedad más alta. La única manera de medir la diferencia de altura con precisión sobre esta superficie ondulante de gravedad es usar un nivel topográfico y efectuar una nivelación diferencial.

La altura elipsoidal es la altura de un punto sobre un elipsoide de referencia. Las posiciones GPS son referidas al elipsoide **WGS84**. El centro de este elipsoide de referencia coincide con el centro de masa de la tierra que también es el punto de origen x, Y, Z del sistema de coordenadas cartesiano. Nosotros podemos determinar la altura elipsoidal de un punto fácilmente determinando su distancia del centro de la tierra y substrayendo el radio del elipsoide de ésta. Podemos con mucha precisión determinar la diferencia de altura elipsoidal entre puntos usando GPS, pero debido a los errores del posicionamiento absolutos inherentes en el sistema, necesitamos referenciar estas diferencias a puntos de altura elipsoidal conocida de igual manera en que referimos nuestro nivel topográfico aun banco de nivel.

El problema fundamental es que estos dos sistemas de altura están completamente separados. Nosotros no podemos medir las alturas directamente en un sistema con las herramientas del otro sistema. Nosotros podemos, sin embargo; modelar las ondulaciones de la superficie geoidal y extrapolar la separación entre esta superficie y la superficie del elipsoide WGS84. Estas diferencias pueden usarse para derivar las elevaciones de nuestras alturas elipsoidales. Actualmente en los Estados Unidos tienen un muy buen modelo de la superficie ondulante del geoide que es referida a nuestra superficie elipsoidal WGS 84 sobre un decímetro de exactitud absoluta. Si nosotros usamos este modelo y atamos nuestras mediciones GPS a los puntos de elevación conocida, nosotros podemos obtener muy buenas elevaciones relativas GPS derivadas para nuestros puntos topográficos en muchas áreas del país. Hay lugares dónde el modelo no es suficientemente exacto (por ejemplo, en las zonas montañosas) para medir las elevaciones con la precisión topográfica, pero en muchos lugares es bastante posible lograr mediciones de elevación relativos con un centímetro de exactitud.

Una de las tareas como topógrafos es encontrar referencias buenas de bancos de nivel al que nosotros podamos referir nuestro modelo, y encontrar y usar un número suficiente de ellos para alinear las dos superficies con precisión. Si nosotros tenemos sólo una referencia de banco de nivel, o si nuestras referencias están distribuidas en una línea, nosotros no podremos alinear el geoide propiamente con el elipsoide, y podríamos tener errores inaceptables en nuestras elevaciones GPS derivadas. Estos errores aumentarán cuanto más nos alejemos de nuestras elevaciones de control. Nosotros debemos tener un mínimo de tres referencias de control bien espaciadas si nosotros queremos usar GPS para derivar las elevaciones, aunque el número mínimo recomendado es cuatro. Teniendo cuatro referencias nos permite un poco de redundancia y nos proporciona alguna indicación de la exactitud de nuestras referencias de control.

Definición de los términos Estático y Dinámico para la Topografía con GPS.

Aclaremos el aire un poco y definamos las técnicas topográficas de las que *nosotros* vamos a *hablar* más adelante. La jerga del GPS ha sido inflada por los fabricantes que intentan individualizar las técnicas similares usando nombres diferentes para ellos. Vamos a simplificar esto y usaremos sólo dos nombres:

Estático y Dinámico. Incluido en la lista de nombres usados para las diferentes técnicas topográficas GPS son la estática, corta estática, rápida estática, la pseudo- cinemática, la pseudo-estática, ocupación repetida, la cinemática, stop and go cinemática, y por último pero no menor, la cinemática en tiempo real o dinámica en tiempo real.

Un estudio estático involucra a dos o más receptores que están colectando datos en diferentes puntos durante una cantidad suficiente de tiempo común para resolver el vector(s) entre ellos a nivel centímetro o milímetro. Los receptores se encienden al principio de la sesión de la medida y se apagan al final de la sesión. Cada receptor tiene un archivo separado para cada ocupación, y ningún dato es colectado mientras se mueven entre los sitios del estudio. El modo estático, rápido estático-, y el estático corto todos se refieren ala técnica estática clásica descrita. Sólo el tiempo de ocupación varía. Aquí nosotros debemos de introducirnos a los principios del GPS. Los satélites transmiten los datos en dos frecuencias que se conocen como L1 y L2. Recuerde que nosotros dijimos que la velocidad de la señal GPS es cerca, pero no igual a, la velocidad de la luz. Esto es porque la velocidad y el trayecto de la señal son afectados por la atmósfera de la tierra. La ionosfera es especialmente problemática porque su composición puede cambiar rápidamente, qué a su vez afecta la cantidad de error que contribuye a las mediciones

de rango. Sin embargo, el efecto de la ionosfera es diferente para las diferentes frecuencias. Poniendo en correlación el efecto de la ionosfera en la frecuencia L1 y la frecuencia L2, nosotros podemos eliminar los errores de la ionosfera matemáticamente en sólo unos minutos. Este es una de las ventajas de usar un receptor de frecuencia dual; es decir, un receptor que puede rastrear L1 y L2. Los receptores de una sola frecuencia también pueden resolver los errores provocados por la ionosfera en tiempo real, pero les toma más tiempo, en algunos casos mucho más tiempo para hacerlo. La capacidad de frecuencia dual es el requisito básico para lograr tiempos de ocupación corta, pero con el número de satélites ahora disponible, y con los receptores mejorados y mejores algoritmos de proceso, los tiempos de ocupación han sido también reducidos para la mayoría de los receptores de una frecuencia usados en topografía.

La pseudo-cinemática, pseudo-estática y ocupación repetida, todos se refieren a la misma técnica de una sola frecuencia. Esta técnica es un esfuerzo por obtener la eficacia de frecuencia dual y ocupaciones estáticas cortas repitiendo observaciones cortas del mismo punto. Las observaciones están separadas por algún intervalo de tiempo (normalmente el tiempo de una sesión estática normal) esto permite un cambio suficiente en la geometría del satélite para fijar las mediciones a un nivel al centímetro. Es como una observación estática larga, pero la parte de en medio se ignora. En cambio, durante la parte media, usted está ocupando otros sitios. Con métodos "pseudo" o métodos de ocupación repetida, el receptor normalmente está encendido mientras se mueve entre los sitios del estudio. El programa ignora los datos colectados mientras se está en movimiento y usa sólo los datos recogidos por los receptores mientras está ocupando los puntos topográficos. Éstas "pseudo" técnicas son sólo variaciones de la técnica estática. Es decir, sólo los datos recogidos mientras se está ocupando las estaciones del estudio se usan en el proceso.

Las técnicas mencionadas al principio de este párrafo son variaciones de la técnica estática.

Las técnicas dinámicas requieren el uso de datos en movimiento o en trayectoria. El término cinemático se ha usado para describir la topografía de GPS dinámica tradicionalmente. El término cinemático se refieren a ambos el modo cinemático "verdadero" donde sólo la trayectoria es de interés, y al modo stop and go cinemático donde solo algunos puntos a lo largo de la trayectoria son de interés. El modo cinemático en tiempo real (RTK) simplemente relega el procesamiento de los datos al momento de la colección de los datos, proporcionando información relacionada a la calidad de las mediciones en campo mientras usted está tomando las medidas. Esto elimina la necesidad del post-proceso, permitiendo hacer estacado mientras se está en movimiento. Una palabra de cautela: el modo cinemático en tiempo real agrega una nueva dimensión de problemas relacionados al arte de la radiocomunicación de la topografía dinámica con GPS. Agregue al viejo adagio, usted no consigue nada gratuitamente.

Las técnicas dinámicas de GPS permiten observaciones muy cortas en los puntos de estudio, pero estos requieren alguna forma de inicialización para lograr la precisión al centímetro rápidamente. Una vez inicializado, debe mantener contacto con un número suficiente de satélites para mantener la exactitud al centímetro mientras se está en movimiento y cuando se encuentra sobre los puntos del estudio. Si durante el levantamiento se pierde contacto con demasiados satélites al mismo tiempo, usted tendrá que reinicializar el levantamiento. Cómo usted reinicialice el estudio dependerá del tipo de receptor que usted esté usando. Un receptor de frecuencia dual se reinicializará simplemente colectando datos limpios suficientes, mientras que un receptor de una frecuencia tendrá que ser reinicializada ocupando un punto del estudio conocido, o con

alguna otra técnica que usa una línea base conocida. Todos estos atributos aplican igualmente a levantamientos en tiempo real como para levantamientos con post-proceso. Los requisitos requeridos hacen que la topografía dinámica sea conveniente sólo en las áreas de terreno abierto. Es mejor para superficies como los desiertos, praderas y cuerpos de agua. En las áreas con árboles y edificios altos, su uso está sumamente limitado. En resumen, todos los términos confusos para las técnicas citadas anteriormente pueden ser clasificadas en dos categorías: estáticas o dinámicas. Con los métodos estáticos sólo los datos capturados en tiempo común a nuestros *puntos* de interés se *usan* para resolver los vectores entre dichos puntos. Con los métodos dinámicos, los datos colectados mientras el receptor está en movimiento son de igual importancia. Después de inicializar para lograr la exactitud al centímetro, los datos de la trayectoria nos permiten mantener esta exactitud mientras nos movemos de punto a punto. De esta manera, sólo períodos muy cortos se requieren para obtener los puntos de interés. Con los receptores de frecuencia dual nosotros podemos usar los datos móviles para simplemente resolver la exactitud al centímetro, permitiendo la inicialización "en el momento" (OTF On The Fly) y eliminando la necesidad de inicializar en un vector previamente conocido. Las técnicas "en el momento" (OTF) han hecho del modo cinemático en tiempo real una herramienta de productividad topográfica viable en terrenos razonablemente abiertos, así como permite el uso realista de posicionamiento dinámico al centímetro en aviones y barcos. El GPS dinámico sólo es conveniente para el uso en áreas abiertas, incluso al usar a los receptores de frecuencia dual con la capacidad de OTF. Si hay muchas obstrucciones entre el receptor y los satélites en el área que usted desea inspeccionar, usted deberá usar la estación total en lugar del GPS dinámico. Usar la herramienta correcta para un ambiente o tarea en particular es la clave. Entre más herramientas usted tenga y más flexible sea usted seleccionando la adecuada, más eficaz será logrando sus tareas topográficas. Ninguna sola herramienta es correcta para todos los usos.

Topografía con GPS estática.

GPS estático es la técnica original usada en posicionamiento topográfico con GPS. Es fiable y precisa. Históricamente se han usado *receptores* múltiples para construir redes fuertes de puntos que facilitan el uso de técnicas de ajuste por mínimos cuadrados para proporcionar posiciones sumamente exactas. Ésta es la fuerza del GPS estático. La desventaja es que toma mucho más tiempo para posicionar un punto que si nosotros usamos los métodos dinámicos. La velocidad y eficacia contra la exactitud y confianza.

Nosotros desearemos usar los métodos GPS estáticos cuando estemos estableciendo nuevos puntos de control.



Figura 46.

Control.

La primera cosa que nosotros debemos hacer al prepararnos para un estudio GPS estático es averiguar dónde está el punto de control, quién lo estableció, y cómo fue establecido. Recomendamos que usted use sólo puntos de control de buena calidad establecidos con métodos GPS para sus necesidades horizontales, y bancos de nivel de primer orden para su control vertical. Conozca su fuente. El mejor lugar para encontrar puntos de control es el banco de datos del INEGI ⁷.

Los datos de puntos de control en una región están disponibles por una modesta cuota. Cuando usted haya seleccionado el punto de control que le gustaría usar, usted necesitará verificar que es capaz de ser usado para las ocupaciones de GPS. Un banco de nivel cerca de una pared de un edificio no servirá, y una estación de triangulación puesto bajo un roble grande también será un problema. En estos casos, si usted no tiene otras opciones disponibles, usted tendrá que poner estaciones excéntricas que puedan ocuparse por su sistema GPS.

¿Tenemos suficientes puntos de control? El mínimo número de puntos de control para hacer un ajuste tridimensional son dos puntos de control horizontales y tres puntos de control verticales. Recomendamos un mínimo de tres horizontales y cuatro verticales. Esto proporciona un poco de redundancia y nos permite calcular algunas estadísticas que darán una mejor indicación de la exactitud del punto de control. Si su proyecto es grande, usted puede muy bien tener más del número mínimo de puntos de control disponibles. Úselos. Más es mejor; pero usted no querría terminar con una red que tiene más puntos de control que estaciones nuevas.

¿Nuestro punto de control está bien posicionado? Debe quedar fuera de, o cerca de los bordes de nuestro proyecto. Debe estar bien distribuido, geoméricamente. Nosotros no queremos todos los puntos de control aun solo lado del proyecto. No queremos todos nuestros puntos de control vertical en misma línea. Nuestros resultados pueden distorsionarse con puntos de control pobremente distribuidos. La topografía con GPS no es mágica, pero si nosotros realizamos bien nuestras observaciones y controlamos nuestros ajustes propiamente, podremos lograr una exactitud que es imposible de obtener usando los métodos de la topografía convencionales más rigurosos incluso.

Hemos determinado los puntos de control que vamos a usar. Ahora necesitamos conectar nuestros nuevos puntos a los puntos de control en una forma coherente. Aquí es donde la habilidad entra en juego. Empiece en un punto de control. Conecte líneas a, y entre, todos los puntos que se ocuparán por los receptores en una sesión. Si usted sólo tiene dos receptores, esa será una línea entre dos puntos. Si usted tiene cuatro receptores, esto equivaldrá a seis líneas entre cuatro puntos o una sesión. Ahora, dejando un receptor por lo menos como el punto pivote, mueva (brinque) los otros receptores a los nuevos puntos, y repita el dibujo de las líneas. Continúe los saltos de esta forma hasta que usted haya-conectado todos sus nuevos puntos y su punto de control en una red fuerte. Hay dos principios para recordar al hacer esto:

⁷ Actualmente se tiene a disposición de los usuarios información geodésica, en discos compactos C011 datos por entidad federativa de vértices GPS, bancos de nivel y general de estaciones gravimétricas. Todos estos datos son extraídos del banco de datos geodésicos de la Dirección Geografía (DGG). La información es el resultado de las mediciones realizadas sobre la superficie del territorio nacional.

- 1) Conecte los puntos
- 2) Mida las líneas cortas

Normalmente siguiendo el primer principio provee el cumplimiento del segundo. En otros términos, no mida líneas largas que pasan por puntos intermedios. Siempre intente conectar los puntos adyacentes.

Como usted puede ver, usando cuatro receptores nos proporcionarán rápidamente una red muy fuerte que tiene mucha redundancia para nuestro ajuste por mínimos cuadrados. El uso de sólo dos receptores para lograr la misma cantidad de redundancia probablemente sería de un costo prohibitivo desde un punto de vista en tiempo. Si usted está usando sólo dos receptores usted necesitará proporcionar algún número rentable de lazos cruzados para proporcionar exactitud mejorarla y confianza en sus posiciones del proyecto. Por favor resístase a usar el GPS a simplemente levantar de punto de control a punto de control.

Observaciones.

De acuerdo, nosotros tenemos el plan de cómo nuestros puntos van a ser conectados. ¿Ahora que? Nosotros necesitamos establecer un horario para observar nuestras estaciones. Necesitamos verificar que podemos ocupar las nuevas posiciones con nuestros receptores GPS, y necesitamos establecer cuánto tiempo necesitamos ocuparlos para asegurar mediciones exitosas. Los tiempos de ocupación requeridos para conseguir buenos resultados variarán basados en el tipo de receptores que nosotros tengamos, la longitud de las líneas base que estemos midiendo, la cantidad de obstrucciones a la visibilidad de los satélites a los sitios, y de otros tipos de interferencias con nuestra señal GPS. La interferencia puede presentarse en la forma de multipath (reflejo de señal), perturbaciones ionosféricas (tormentas solares), o transmisores de microonda cercanos. Eche una mirada alrededor de su sitio. ¿Parece malo para usted? En ese caso extienda su sesión. Recuerde que todos los receptores que participan en la sesión tendrán que también extender sus observaciones. ¿Ambos sitios de una línea base parecen malos? Si es así, extienda la sesión aun más. El tiempo de ocupación recomendada para receptores de frecuencia sencilla y dual se asume con condiciones medioambientales limpias. Esto plantea otro punto importante: buena comunicación entre los operadores permiten a las cuadrillas topográficas ser flexibles en el horario de observación.

Una vez usted ha determinado la duración de cada sesión, usted necesitará hacer un horario para los operadores. Este programa incluirá las estaciones a ser ocupadas y la hora de inicio y parada de los tiempos de las sesiones. El horario se hará usando el plan de la red como una guía, teniendo presente el tiempo de viaje entre los puntos del estudio. Nosotros queremos ocupar nuestros puntos en una sucesión que proporcione una buena estructura. Factores que afecten la facilidad de viajar entre los puntos necesitarán ser tomados en cuenta, como hora del día y tipo de terreno. Los factores del terreno pueden influir en la estructura de la red causando la reconfiguración de su red básica. Otro factor importante es la visibilidad a los satélites. Hoy en día con el número de satélites disponibles, la visibilidad de los satélites se ha vuelto menos importante en la planificación de sesiones en áreas dónde el terreno es bastante abierto. Sin embargo; todavía es importante en áreas dónde hay numerosas obstrucciones a la señal de los satélites.

La parte dura se ha hecho. Los operadores tienen sus horarios y ellos se marchan. Todos están preparados para la primera sesión. Ellos encuentran sus marcas correctas. Ellos

ponen sus antenas sobre de las marcas y cuidadosamente miden las alturas de la antena (si están usando un trípode normal, deben registrar dos alturas tomada de lados diferentes de la antena por lo menos). Los receptores se encienden, los nombres del sitio son registrados, y los comentarios son anotados. Después de que el tiempo de la sesión especificada ha expirado, los receptores se apagan y los receptores se mueven a sus nuevos puntos. Estos pasos se repiten hasta que todas las sesiones planeadas se han grabado y todos los puntos se han posicionado. Es maravilloso cuando pasa así de fácil, pero la realidad es que nuestra sesión planeada cambiará debido a cosas como caminos dañados y vehículos averiados, así como alturas de la antena incorrectas, o interferencia de señal, etc. Si las cuadrillas tienen comunicación, ellos normalmente pueden hacer los ajustes a lo inesperado. Si no, los cambios tendrán que ser hechos al final del día para la aplicación el día siguiente. Incluso los planes bien hechos casi siempre cambiarán.

El trabajo de gabinete.

Las cosas pequeñas a veces tienen consecuencias grandes. Un buen trabajo de gabinete es muy importante en un estudio de GPS exitoso. Las cosas como el mantenimiento de la batería y la disponibilidad suficiente de memoria del receptor pueden tener efectos profundos en la productividad. No es divertido volver del trabajo de un día para encontrar que nada había sido grabado porque la memoria del receptor estaba llena. Igualmente, no es divertido llevar un equipo empacado y hallar que las baterías no se encuentran suficientemente cargadas para completar sus sesiones o no tiene reemplazo para sus baterías alcalinas.

Otro pequeño factor que puede causar problemas es el intervalo de grabación del receptor. Si usted está esperando post- procesar la ocupación corta de datos estáticos, y el intervalo de grabación esta puesta a 20 segundos en lugar de 5, usted estará grabando menos datos de los que usted estaba considerando, y su ocupación no podrá tener el éxito. De igual manera, si usted desea usar el GPS en modo dinámico y ocupar el punto por 5 o 10 segundos, usted tendrá resultados muy pobres si su intervalo de grabación esta puesto a 20 o 30 segundos. Asegúrese de que su intervalo de grabación es correcto para la técnica que usted está usando, y que los intervalos de grabación de todos los receptores en la sesión son idénticos.

Uno de los errores más comunes que los nuevos usuarios de GPS cometen es usar un nombre ligeramente diferente en una ocupación repetida de un punto. Un ejemplo seria llamar un punto CO12 en una ocupación y 012C en otro. La computadora no puede decidir que éste realmente es el mismo punto, y por consiguiente dos puntos separados existirán. Otro problema de la denominación sería usar el mismo nombre para dos puntos diferentes. Esto causará que el ajuste "explote". Cuando los errores residuales y estadísticas en un ajuste son considerables, dos puntos con el mismo nombre normalmente es la causa.

Debemos usar uno y sólo un nombre para cada punto en nuestro estudio. Debe haber un método lógico y consistente para nombrar los puntos, y todos los operadores deben ser conscientes de ello. No es raro tener un punto que no puede ocuparse, y una estación excéntrica tendrá que ser puesta o un punto no programado tendrá que ser ocupado. Algo saldrá más de vez en vez, pero queremos intentar mantenerlo al mínimo. Tenga un "check-list" para las cuadrillas. Una lista de actividades para la mañana y una lista para la tarde podrían ser apropiadas. Todos nosotros necesitamos los recordatorios a veces.

Topografía con GPS dinámica. Las técnicas topográficas dinámicas se están volviéndose populares rápidamente. Todos están hablando sobre topografía con RTK en estos días. Se

han simplificado la inicialización y re inicialización con el advenimiento de receptores de frecuencia dual y sistema dual (GPS/GLONASS). Las antenas, las técnicas de reducción de multipath, y los algoritmos de procesamiento se han mejorado para proporcionar mejor desempeño bajo los árboles. Pero "mejor desempeño" no significa exactitud al centímetro.

Bajo el dosel de árboles tupidos, lo mejor que nosotros podemos esperar en este momento, incluso con los receptores más sofisticados, es la aproximación al metro. Mientras que el GPS dinámico puede ser. Eficaz y exacto para algunos trabajos topográficos, nosotros necesitamos ser conscientes de sus limitaciones así como sus ventajas. Tan fiable como es en las áreas abiertas, hay muchos lugares dónde no funcionará bien. Tomemos una mirada al proceso, así como lo bueno y lo malo, de la topografía de GPS dinámica.

El Proceso Dinámico.

En el GPS estático, nosotros resolvemos la ambigüedad de la fase (la lectura del cadenero del punto de atrás) y obtenemos la exactitud al centímetro colectando muchos datos. Para hacer un estudio dinámico nosotros necesitamos ocupar los puntos por un período de tiempo muy cortos obteniendo la exactitud al mismo centímetro. Para hacer esto nosotros debemos inicial izar nuestro levantamiento dinámico. Esto significa que nosotros debemos resolver nuestra posición al centímetro antes de que nosotros empecemos a visitar cualquier nuevo punto del estudio. La mejor manera de hacer esto es poner al receptor base y al receptor móvil en dos puntos conocidos, como una línea base conocida. La línea base conocida debe tener una medida de GPS directa entre sus puntos extremos. El programa usará esta información conocida para resolver y arreglar las ambigüedades de la fase en simplemente unos pocos segundos de colección de datos. Una vez que nosotros hemos ocupado la línea base conocida y la exactitud al centímetro es obtenida, el receptor móvil puede moverse a los puntos de interés. Con tal de que el receptor móvil mantenga la señal a cuatro o más satélites, el receptor obtendrá la exactitud al centímetro. Esto significa que durante nuestra trayectoria, los datos colectados mientras se está en movimiento, también están al centímetro el nivel de exactitud, y nosotros podemos usar el GPS dinámico para hacer perfiles y secciones exactos. Si el receptor no mantiene la señal en por lo menos cuatro satélites, usted tendrá que reinicializar el trabajo. Si usted pierde la señal demasiadas veces, el GPS dinámico se vuelve rápidamente tan improductivo y frustrante como unas llantas en el fango. En terreno abierto puede ser como navegar a favor del viento.

Ponga un receptor en el punto base conocido. Ponga al otro receptor (la unidad móvil) en otro punto relacionado al punto base conocido. Esto es en el otro extremo de la barra inicializadora. Para asegurar la integridad de la inicialización, usted debe usar un trípode en ambos extremos de la barra. Un intervalo de grabación bueno para estudios dinámicos dónde nosotros sólo estamos interesados en los puntos topográficos y no la propia trayectoria, es un intervalo de dos a cinco segundos. Encienda los receptores e ingrese las identificaciones apropiadas de los sitios (IDs) y el tiempo de observación. Una observación de cinco minutos se recomienda al usar la barra inicializadora. Al final del tiempo de observación, cuatro signos de interrogación (????) reemplazan la identificación del sitio. Estos signos de interrogación le dicen al programa que, desde este momento, los datos son una trayectoria en movimiento. Después de que los signos de interrogación se han cambiado, el operador quita la antena del receptor móvil del trípode (cuidadosamente, para mantener la señal con todos los satélites), la pone en la baliza cinemática, y se mueve al próximo punto. De nuevo, tenga mucho cuidado de mantener la antena vertical y evitar, tanto como sea posible, cualquier obstrucción arriba hacia los

satélites. En el nuevo sitio, el operador ingresa la identificación correcta del sitio para el punto y espera a coleccionar algunas épocas de datos en él.

Después del periodo de tiempo prescrito, el programa vuelve a poner los signos de interrogación (????) en el campo de la identificación del sitio (ID), y el operador se mueve al próximo punto en estudio. Este procedimiento se repite hasta que se hayan visitado todos los nuevos puntos del estudio. Si el estudio se extiende por más de 30 minutos, se recomienda que el operador ocupe nuevamente el punto de la inicialización, u otro punto relativo conocido al punto base. Esto también debe hacerse al final del trabajo.

Esto nos da la habilidad de verificar nuestras re-inicializaciones y nos proporciona puntos de la inicialización múltiples para procesar. Múltiples receptores móviles pueden usarse en la misma sesión.

Debido a la naturaleza radial del GPS dinámico, se recomienda que se hagan repetidas observaciones con bastante tiempo entre ellas para permitir un cambio en la constelación de los satélites. Es incluso mejor si estas observaciones repetidas se realizan usando un punto diferente para la estación base.

Ventajas Dinámicas.

Una de las ventajas del GPS dinámico es que nos proporciona una herramienta para rápidamente posicionar puntos en la tierra. Si nosotros también usamos el equipo en tiempo real, nosotros tenemos la habilidad de rápidamente replantear o estacar puntos de coordenadas prediseñados. El uso de tiempo real tiene otros dos beneficios.

Nosotros podemos decir exactamente cuanto tiempo necesitamos en un punto, y podemos estar seguros de que tenemos una posición buena cuando regresemos a la oficina. Tenga presente que el beneficio de saber exactamente cuando también tenemos suficiente tiempo aplica a los métodos estáticos. En las áreas con muchas obstrucciones, si usted está usando equipo en tiempo real, usted debe pensar como si usted usara tiempo real estático, en lugar de apegarse a intentar usar métodos de tiempo real dinámicos. Quédese en el punto el tiempo suficiente, pero no más. Nosotros podemos usar el GPS dinámico para eliminar la mayoría, si no todo, el control terrestre en proyectos de Fotogrametría aérea. El GPS dinámico también puede ser usado para elaborar estudios de hidrología con alta precisión. Con la combinación con una ecosonda, el GPS dinámico nos proporcionará las elevaciones del fondo directas sin tener que preocuparse por el nivel de la marea.

La ventaja primaria del GPS dinámico en la tierra es la velocidad. Los métodos estáticos son más exactos.

Desventajas no tan Dinámicas. La desventaja principal de GPS dinámico es que requiere de una buena visibilidad de los satélites. No funciona bien en los bosques, centros urbanos y barrancas. Nosotros necesitamos tener los datos bastante limpios en todo momento de un mínimo absoluto de cuatro satélites para obtener la exactitud al centímetro que requieren los estudios con GPS dinámico. Cada vez que nosotros nos quedamos debajo del número mínimo de satélites, el levantamiento debe ser reinicializado. Con un receptor de una frecuencia significa que tenemos que ocupar un punto (simplemente podría ser el *último* punto inspeccionado) que es conocido con respecto a la estación base. Si somos suficientemente afortunados para tener los receptores de frecuencia dual, sólo necesitamos movernos adónde nosotros tengamos buena visibilidad de los satélites y esperar hasta que el receptor adquiera la exactitud al centímetro. Este modo de

inicialización “en el momento” (OTF) es el beneficio primario de usarlos receptores de frecuencia dual en los estudios de GPS dinámicos. Otra desventaja de GPS dinámico para el topógrafo es que es una técnica radial. A menos que nosotros volvamos a visitar los puntos o nosotros preparemos estaciones base adicional y post- procesemos los datos, nosotros tendremos una sola radiación del punto posicionado sin ninguna redundancia. A la fecha, no hay ningún sistema en tiempo real que use múltiples estaciones base. La mayoría del tiempo todo trabaja bien y conseguimos resultados excelentes. Pero las mediciones GPS simplemente son otro tipo de medida, ya veces como cualquier otra medida, son inexactos. ¿Así que, que es lo que el topógrafo prudente debe hacer? Verifique su trabajo. Esto es verdadero tanto para GPS como es para la topografía convencional. Como dijimos antes, el GPS es similar aun distanciómetro. No es mágico. En muchos casos el GPS dinámico proporciona una solución mejor que usando una estación total convencional, hay también sin embargo muchos casos dónde la estación total podría ser más conveniente.

Redes y Ajustes por Mínimos Cuadrados

La topografía con GPS nos proporciona los vectores precisos, pero no los vectores perfectos. Podemos mejorar la exactitud y confianza en nuestras mediciones usando los procedimientos de ajuste.

Históricamente los topógrafos se han acostumbrado a los métodos topográficos para ir del punto A al punto B (o del punto A regresando a A), y ha usado alguna clase de ajuste proporcional, como son el método del Compás, del Tránsito, o Crandall, para ajustar el error de cierre. Estos métodos son bastante buenos para poligonales simples y pequeñas, pero en los estudios grandes con polígonos interconectados este método se queda corto, y nosotros podemos terminar con cierres muy pobres usando los métodos proporcionales. Para juegos de polígonos interconectados, el uso del método de ajuste por mínimos cuadrados es necesario. El método estático tradicional de hacer mediciones GPS que usan receptores múltiples nos proporciona lo que esencialmente es una serie de poligonales interconectadas, 0 sesiones.

Debido a esto, el método de ajuste por mínimos cuadrados ha sido siempre la técnica de ajuste preferida.

El método de ajuste por mínimos cuadrados ajusta la posición de un punto para que las diferencias entre mediciones hechas a él sean tan pequeñas como sea posible. Si una medida en particular no encaja con las otras, su movimiento será mayor y su valor residual será más alto; indicando más error. Si este error es demasiado puede marcarse como un pico estadístico, y nosotros podremos decidir eliminar la medida de nuestro estudio. La habilidad de eliminar los vectores de baja precisión de nuestro ajuste depende del nivel de redundancia que nosotros hayamos construido en nuestra red. Entre más redundancia tengamos en nuestras mediciones de la red, mayor será la flexibilidad que nosotros tendremos quitando los vectores de baja precisión de nuestra red sin tener que regresar al campo para repetir observaciones. Entre mayor sea la redundancia que nosotros tengamos en nuestras mediciones de la red, más exactos serán nuestros puntos, y más alto será nuestra confianza en esas posiciones. Al planear un estudio para un ajuste por mínimos cuadrados, tenga presente la importancia de conectar los puntos y medir las líneas cortas. Hay un tercer principio para considerar: Más es normalmente bueno. En algún punto en cualquier proyecto es ineficaz y antieconómico hacer mediciones adicionales. Esto variará de proyecto a proyecto dependiendo de los requisitos de exactitud y el uso final de los puntos inspeccionados. Si usted sigue los dos principios básicos no debe necesitar agregar más mediciones.



Figura 47.

Imagen de un receptor GPS estático utilizado en ambos procedimientos (cinemático y dinámico), el cual se monta sobre un punto de control conocido. Figura 47



Figura 48. Imagen de un GPS cinemático (L 1), con trípode y antena.



Figura 49. En la imagen se muestra el equipo utilizado en un procedimiento dinámico, GPS estático, GPS dinámico (L1, L2), antena, baliza cinemática y mochila.



Figura 50.



Figura 51.

Las imágenes muestran un equipo GPS versátil, funciona para ambos procedimientos, además funciona como GPS estático (figura 50) o móvil con la baliza (figura 51).



Figura 52. La imagen muestra un navegador GPS, cuya precisión es de 10 metros.

Diseñando una Red.

Fuerza Geométrica de una Figura. La fuerza geométrica de una figura puede imaginarse mejor como una estructura de andamio (armadura) y su fuerza estructural relativa. Las figuras más fuertes son el triángulo equilátero o el cuadrilátero asegurado doble (Figura 53). Celosías compuestas de estas figuras serían análogas a una red.

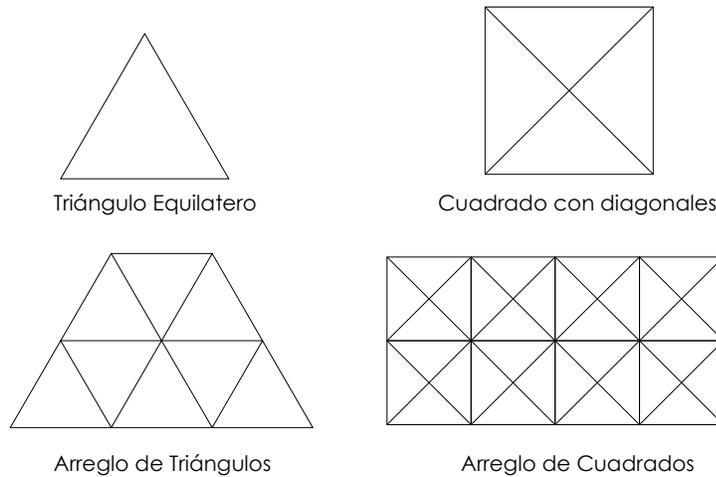


Figura 53.

En una red de control topográfica como con una estructura de andamio, entre más agudos los ángulos sean, más débil será la estructura. Mientras esto era más crucial para la triangulación que en la trilateración o en las mediciones con GPS, los principios todavía son válidos. Entre mayor sea la rigidez que una red tiene, más seguro usted puede estar que las posiciones ajustadas son precisas.

No sólo es importante la fuerza de las figuras geométricas individuales, sino también la manera en que estas se interconectan y relacionan entre sí en la red es vital. Considere el ejemplo en la Figura 53:

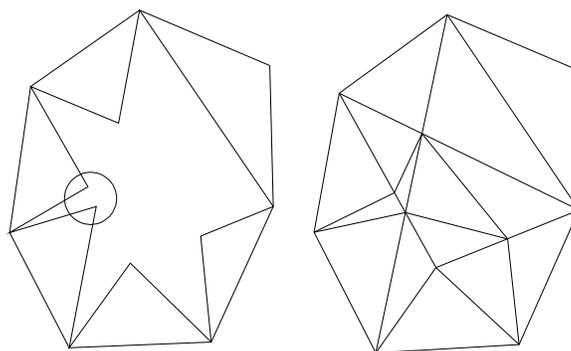


Figura 54.

En la Figura, la red de la izquierda está compuesta de figuras geométricamente fuertes, pero su interconexión está pobremente estructurada, sobre todo en el área circulada donde no se conectan dos estaciones que están muy juntas. ¿Usted estaría de pie en un andamio construido esta manera? Usted no querría confiar en las posiciones computadas en una red estructurada así. La estructura de arriba puede mejorarse significativamente agregando algunas líneas como muestra en el lado derecho. Las líneas punteadas probablemente no se requerirían, aunque ello proporcione una fuerza adicional.

Como usted puede ver, las líneas adicionales fortalecieron la red considerablemente. En topografía catastral, muchos estados han promulgado legislación de las normas mínimas que, requieren que todas las líneas de límites sean medidas directamente, lo contrario al realizar un estudio radial. Un estudio radial es dependiente de una sola observación que puede o no contener un error significativo, y aunque una poligonal a lo largo de un límite tendría el potencial similar para el error; el descubrimiento de semejante error sería más simple. Con las redes, la redundancia adicional proporciona no sólo la integridad (la fuerza), también permite un análisis estadístico de dónde los errores han ocurrido a través del uso del ajuste por mínimos cuadrados.

No hay que pensar en esta redundancia como trabajo extra. No lo es. Se necesita la redundancia para descubrir y eliminar los errores. En la medición de un ángulo, una sola observación puede ser groseramente errónea, por lo que las técnicas de "envolvimiento" de los ángulos (con un tránsito) y "lecturas repetidas" (con el teodolito) se desarrollaron. Lo mismo es verdad en la medición de distancias. Normalmente se repiten mediciones encadenadas, y la exactitud de la medición de un distanciómetro puede aumentarse midiendo una línea desde ambos extremos. No importa cuán preciso el equipo pueda ser, la verdadera exactitud de las mediciones es desconocida sin la redundancia suficiente.

Efectos de las Estaciones de Control en la Geometría de la Red.

La localización de las estaciones conocidas ("fijas" o "de control") afectará la calidad de la red, normalmente de una manera positiva. Si usted tiene una red suficientemente fuerte antes de que los puntos conocidos se agreguen al ajuste, usted puede descubrir "malos" puntos de control (con coordenadas erróneas).

También, en situaciones dónde las mediciones redundantes son sumamente caras (como en estaciones a que sólo se pueden llegar por helicóptero, por ejemplo), la localización apropiada de las estaciones conocidas puede reforzar una red débil. Como un ejemplo, considere la Figura 55:

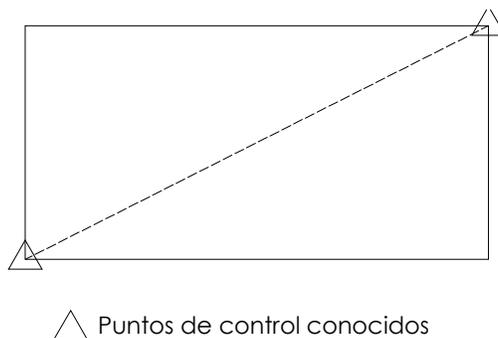


Figura 55.

La Figura 53 no es una red, ni dos estaciones conocidas serían suficientes para realizar un ajuste completo, pero usted puede ver que la figura está rígida por el arreglo de las dos posiciones conocidas. Sin por lo menos dos puntos fijos, ésta no es una estructura rígida.

No es un buen procedimiento basarse en puntos de control conocidos para apuntalar una red diseñada deficientemente. Por otro lado, un control pobre puede distorsionar mediciones correctas. De nuevo, el mejor procedimiento es diseñar una estructura de la red que está rígida por *si* sola, conteniendo tantas estaciones conocidas como sea posible. El control suficiente permite que estaciones conocidas de poca precisión sean rechazadas.

Hay que tener presente que el GPS no es la solución para cada trabajo topográfico. Como cualquier otra herramienta, tiene ventajas y desventajas.

Simplemente es una de las muchas herramientas que deben estar en la "mochila" del topógrafo.

3.3. ESTACIÓN TOTAL.



Figura 56. Equipo Topográfico de alta precisión.

Como ya se comentó en el punto 3.1, referente al apoyo terrestre, que se requieren trabajos topográficos de alta precisión, para la ejecución de planos por medios fotogramétricos, describiremos ahora a la *estación total*, que al igual que el GPS forma parte del equipo de alta precisión que se utiliza en campo para la obtención de puntos de control y/o poligonales en el terreno, que auxiliarán en gabinete en la restitución fotogramétrica. La *estación total* como su nombre lo indica, es un equipo topográfico completo de alta precisión, en cual se encuentra el *teodolito* para la medición de ángulos horizontales y verticales, un *distanciómetro* electrónico, principalmente de luz infrarroja, un nivel para la altimetría, un procesador para el cálculo confiable de ángulos, distancias y coordenadas, memoria suficiente para coleccionar los datos obtenidos, entre otras prestaciones que la tecnología actual y en desarrollo proporcionan para calcular y dibujar de una forma rápida, precisa y sencilla.

Como ya se comentó en el punto 3.1, referente al apoyo terrestre, que se requieren trabajos topográficos de alta precisión, para la ejecución de planos por medios fotogramétricos, describiremos ahora a la *estación total*, que al igual que el *GPS* forma parte del equipo de alta precisión que se utiliza en campo para la obtención de puntos de control y/o poligonales en el terreno, que auxiliaran en gabinete en la restitución fotogramétrica.

La *estación total* como su nombre lo indica, es un equipo topográfico completo de alta precisión, en cual se encuentra el *teodolito* para la medición de ángulos horizontales y verticales, un *distanciómetro* electrónico, principalmente de luz infrarroja, un nivel para la altimetría, un procesador para el cálculo confiable de ángulos, distancias y coordenadas, memoria suficiente para coleccionar los datos obtenidos, entre otras prestaciones que la tecnología actual y en desarrollo proporcionan para calcular y dibujar de una forma rápida, precisa y sencilla.

La estación total también puede:

- ❖ Calcular alturas de objetos remotos.
- ❖ Calcular la distancia entre dos puntos
- ❖ Proporcionar información coordenada a un punto.
- ❖ Ser utilizado para marcar con estacas un edificio u otros puntos.
- ❖ Ser utilizado para reunir detalles u otros puntos (levantamiento de fachadas).

La estación total requiere de una persona par su operación y una persona adicional que sostenga el prisma o reflector, esto se debe a que los fabricantes de estos aparatos han incorporado un software bastante amigable para su manejo.

En forma general los diferentes modelos de estaciones totales, tienen las siguientes características:

- ❖ Base para fijar el tripie.
- ❖ Tripie.
- ❖ Teclado.
- ❖ Agarradera.
- ❖ Batería de uso rudo (interna y externa).
- ❖ Prisma.
- ❖ Eje de inclinación.
- ❖ Telescopio.

Para su operación:

- ❖ Mirillas de uso rudo, utilizadas para apuntar aproximadamente.
- ❖ Enfoque de centro reticular (hilo cruzado).
- ❖ Enfoque telescópico; permite enfocar sobre el prisma.
- ❖ Marca para la altura del instrumento (en caso de nivelaciones), localizado en ambos lados de la estación total
- ❖ Seguro del movimiento vertical.
- ❖ Ajuste de movimiento vertical. (manual y/o motorizado).
- ❖ Ajuste del movimiento horizontal. (manual y/o motorizado)
- ❖ Puertos de serie y USB para conexión con diversos equipos.
- ❖ Plomada óptica y/o láser.
- ❖ Burbuja "ojo de buey".

En el teclado:

- ❖ *Botón de conexión y desconexión.*
- ❖ *Modo de medición sm (modo de medición estándar de 3.4 segundos), TRK (modo de rastreo de 0.4 segundos).*
- ❖ *Modo de operación normal.*
- ❖ *Reloj.*
- ❖ *Asterisco: esta exhibición se presenta únicamente cuando se hace contacto con el prisma.*
- ❖ *Teclas numéricas.*
- ❖ *Teclas de función: para acceder a información, para continuarla o editarla.*
- ❖ *Tecla menú: para acceder a valores preestablecidos.*
- ❖ *Tecla del programa: para cambiar el modo de operación.*
- ❖ *Tecla de entrada: para aceptar valores tecleados.*
- ❖ *Tecla de corrección: permite la corrección de valores tecleados antes de presionar la tecla de entrada.*
- ❖ *Tecla A/M: durante el modo de medición normal (estándar) la tecla A/M (apunte y mida) activa el distanciómetro del aparato.*

- ❖ Tecla REG: esta tecla permite guardar valores de medición en la memoria.
- ❖ Tecla de nivel electrónico: permite el acceso al modo de nivelación después de iniciar completando el procedimiento.
- ❖ Tecla luz de rastreo: la luz de rastreo es un sistema opcional para ubicar a la persona con el bastón.
- ❖ Control de volumen de señal del prisma: cuando se hace contacto con el prisma sonará un indicador audible, el volumen es controlado por una perilla giratoria o tecla +/- según sea el caso.

La *estación total* esta equipada con diferentes programas para hacer el trabajo de topografía más eficiente. Como todo equipo que maneja software, al iniciar una sesión de trabajo se debe configurar el sistema en función al trabajo a realizar , es decir, introducir valores como la fecha, hora, en algunos equipos la temperatura, el modo en que se va a trabajar, ya sea en 2D ó 3D, revisar la memoria, es decir, si se continua con un trabajo o se inicia uno nuevo, habrá que limpiar la memoria o continuar ingresando datos, altura de aparato en caso de nivelaciones, etc.~ Además del procedimiento común de nivelación del equipo que en la *estación total* se hace con un nivel electrónico y plomada láser, que es cada vez más común en estos



Figura 57.

Fotografía Estación total con GPS integrado Leica SmartStation Nuevo y revolucionario sistema topográfico. Primicia mundial: TPS y GPS perfectamente combinados. Una estación total de altas prestaciones con un potente receptor GPS. Sin necesidad de puntos de control, largas poligonales ni intersecciones inversas. Sólo hay que estacionar la SmartStation y dejar que su GPS determine la posición, y luego a medir o replantear con la estación total. Así las tareas topográficas se resuelven de modo más sencillo, rápido y con menos estacionamientos. Los sistemas TPS y GPS se pueden utilizar por separado cuando haga falta. La SmartAntenna se coloca sobre un bastón como una estación móvil RTK. El TPS se puede utilizar como una estación total estándar. El diseño modular de la SmartStation ofrece todas las opciones para acometer cualquier tipo de trabajo. Ahorre tiempo y dinero, aumente su productividad y sus beneficios. Todas las estaciones totales TPS1200 se pueden actualizar a SmartStation.

profesionales para las obras civiles, esto solo se podrá cubrir con personal afín a la topografía siendo el ingeniero civil el que con su perfil puede cumplir con esta afinidad.

3.4 EQUIPO FOTOGRAMÉTRICO.

Hemos hablado ya del equipo de apoyo terrestre necesario para obtener los puntos de control que utilizaremos para el proceso de restitución; en este capítulo hablaremos del equipo que se utiliza para llevar a cabo la restitución y así obtener las ortofotos necesarias para la elaboración de planos ortogonales a escala en los cuales se proyectará la obra civil.

En la *fotogrametría actual* el equipo es digital (que consiste principalmente en escáneres con características especiales, una estación de trabajo, que normalmente es una PC, en la cual se encuentra el software que hace posible la restitución una vez escaneado el par estereoscópico, entre otras aplicaciones que más adelante trataremos), pero aun se sigue utilizando el equipo mecánico-óptico e inclusive hay equipo que utiliza una combinación de ellos, por lo tanto comenzaremos este capítulo hablando del equipo mecánico-óptico para la restitución de un par estereoscópico.

Comenzaremos con el equipo de transferencia de puntos. El PUG-4 está constituido por dos placas de vidrio que sirven como porta fotogramas, un dispositivo de iluminación y un mecanismo de marcaje, la finalidad de este instrumento es la transferencia de puntos, mediante la observación estereoscópica de las áreas de sobreposición donde se marcan con gran precisión y bajo control estereoscópico fotopuntos bien definidos en los dos fotogramas; la aproximación de un mismo detalle en cada fotograma se realiza moviéndolos simultáneamente con las dos manos. La sobreposición exacta de los detalles se efectúa con los controles "X- Y" del aparato, que permite orientar los fotogramas. Este ajuste se obtiene al ajustar las imágenes a través del sistema óptico, que está constituido por unos binoculares y prismas interiores que pueden girarse voluntariamente del operador para eliminar el paralaje; este sistema óptico permite efectuar un aumento variable de cualquier imagen con el fin de igualar el tamaño de los detalles cuando los fotogramas son de diferente escala.

Logrando la orientación precisa de los fotogramas, se oprime un botón que acciona el dispositivo de marcaje (buril) con movimientos giratorios hasta que este toque el fotograma, levanta la emulsión y deja un pequeño punto traslucido. Esta acción se repite tantas veces como número de puntos existan para transferir.

Coordinatografo.

Es un instrumento empleado para situar puntos en sistemas de coordenadas, en el que los movimientos planimétricos (x, Y) de un modelo, quedan registrados directamente mediante una marca flotante. También pueden emplearse para trazar cuadrículas y situar puntos de apoyo sobre hojas base o planos previos. El *coordinatografo* consta de una mesa que puede ser luminosa, un eje lateral fijo sobre un tornillo sin fin sobre el que corre a su vez otro perpendicular al primero, sobre el segundo eje está montado el sistema de trazado, el cual consiste en un portaminas que se desliza. Ambos ejes pueden ser a la vez fijos o móviles. El *coordinatografo* tiene al frente una caja donde se colocan los engranes y un par de manivelas para ajustar los valores de intervalo de las líneas a trazar; en la

parte superior de cada manivela esta el sistema de medición, compuesta por dos escalas circulares giratorias una para cada manivela, ambos tienen dos tipos de lecturas, la inferior corresponde a los decímetros y la superior a los milímetros. Este sistema de escalas circulares y manivelas se emplea para ajustar la separación de las líneas (X- Y) de la cuadrícula.

Después de orientar la cuadrícula, se centra la hoja sobre la mesa del *coordinatografo*, se fija y se inicia el trazo de las líneas en cualquier sentido "X" o "Y". Después de trazar cada línea se retira el portaminas, se afila la mina del lápiz y con la manivela correspondiente se ajusta el valor para el trazo de la siguiente línea, si la cuadrícula es un intervalo de 10 cm., la lectura inferior de la escala de la escala circular deberá aumentar una unidad y la lectura superior 10 unidades, con las manivelas se seleccionan los valores indicados haciéndolos coincidir con las marcas de ajuste que contienen el sistema de medición.

Para poder situar los puntos de control que contenga el *modelo* es preciso que se asignen valores a las líneas de la cuadrícula, estos valores dependen de la escala de restitución, generalmente el intervalo cuadrícula será de un décimo de la escala de restitución, por ejemplo:

Escala de vuelo	Escala de restitución	Valor del intervalo cuadrícula
1:80,000	1:20,000	2,000m
1:60,000	1:15,000	1,500m
1:40,000	1:10,000	1,000m
1:8,000	1:2,000	200m
1:4,000	1:1,000	100m

Tabla 1. Escalas

Los equipos fotogramétricos tienen cierta tolerancia, aditamentos y accesorios que hacen posible que con escalas de vuelos menores o mayores a las indicadas en el cuadro anterior, se puedan restituir a las escalas que se muestran. Después de determinar la escala de restitución e intervalo cuadrícula, se anotan en la hoja base los valores que corresponden a cada línea de cuadrícula, de modo que permitan situar por coordenadas todos los puntos de control que se usaran en los modelos a restituir en ella sin olvidar que el origen será el ángulo inferior izquierdo. A partir de este, las "X" aumentan de Oeste a Este y las "Y" de Sur a Norte. El último paso en la preparación de la hoja base en el *coordinatografo*, es el trazo de una franja lateral que contenga los detalles ya restituidos en modelos contiguos. A estos datos se les da el nombre de liga de modelos. A sí mismo, esta acción no siempre se requiere, ya que generalmente al iniciar un trabajo no existen datos de otra restitución, pero a medida que se avanza es necesario que se inicie el dibujo de nuevos modelos, a partir de las ligas de fracciones anteriores. Para tal fin, la franja que se calca en la hoja debe tener como mínimo dos centímetros de ancho por todo lo largo del modelo restituido, a sí Como todos los detalles dibujados con sus mismas características, símbolos y colores. La liga de la hoja nueva puede ser de un solo lado y hasta de los cuatro lados, todo depende del avance de trabajo con relación a las diferentes líneas de vuelo; para lograr lo anterior solo tendrá que sobreponer la hoja nueva a la ya dibujada y hacer coincidir perfectamente las líneas de ambas cuadrículas

que tengan anotado los mismos valores "X- Y", para ello se emplea una mesa luz que facilita esta actividad.



Figura 59. VIÓGRAFO WILD B-8S – DIGITAL AERO FOTOGRAMETRÍA

El *aviógrafo* es un instrumento que se emplea para hacer la restitución de pares independientes de fotografías aéreas verticales, tomadas con objetivos gran angular o súper gran angular. Es adecuado para trabajos de pequeña y mediana escala; no obstante, si se utilizan fotografías a baja altura puede realizarse la restitución a escala grande. Las características más importantes del *aviógrafo* son:

- 1) Fácil de operar por un solo individuo.
- 2) Principio de proyección mecánica.
- 3) Observación frontal de las imágenes.
- 4) Permite emplear fotogramas de 23 x 23 centímetros.
- 5) Soportes intercambiables de las cámaras para distancias principales " f " de 152 +/- 3mm; 115 +/- 3mm; y sobre pedido especial para 125 +/- 3mm; 100 +/- 3mm; y 88.5 +/- 2.5 -4.5mm.
- 6) Mando directo del índice de medición por conducción manual.
- 7) Lectura directa de altitudes del terreno, equipado con escalas de altura, reglillas de cristal intercambiables.
- 8) Restitución en la escala de modelo y en escala ampliada o reducida, mediante la utilización del *pantógrafo lineal* y *mesa de dibujo*.

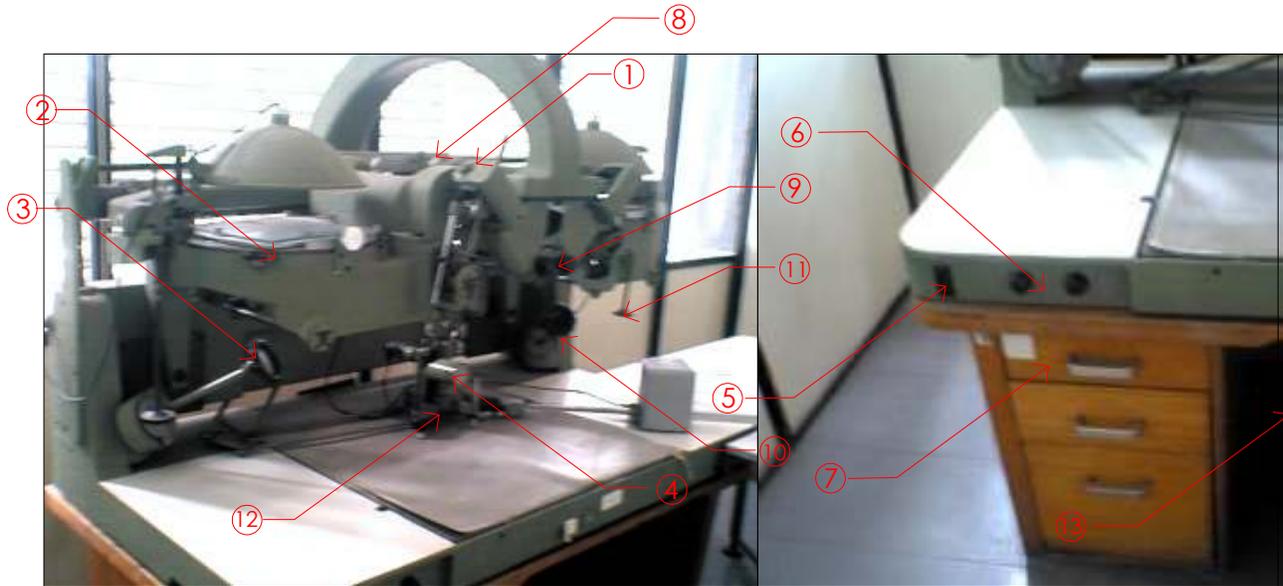


Figura 56. Nomenclatura del aviógrafo.

Nomenclatura del aviógrafo.

- 1) Micrómetros de la distancia principal.
- 2) Mandos de X' .
- 3) Rueda de maniobras de ϕ .
- 4) Micrómetros de ϕ m.
- 5) Interruptor principal.
- 6) Reóstatos de lámparas.
- 7) Gaveta superior con superficie iluminada.
- 8) Escala de la base.
- 9) Micrómetros de ω' y ω'' .
- 10) Rueda de *maniobra* de la base.
- 11) Ruedas de maniobras de ϕ' y ϕ'' .
- 12) Tambor moleteado de "Z".
- 13) Lugar para guardar los soportes de la cámara.

Para colocar los fotogramas en el instrumento, este lleva incluido un par de porta fotogramas, diseñados como soportes reversibles y consisten en un marco de metal ligero en el cual esta montada una placa de cristal de superficies rectificadas y barras guías a fin de garantizar un centrado correcto y un apoyo perfecto de tres puntos. Permite utilizar negativos o diapositivas en película, estas deben oprimirse con otra placa de cristal rectificadas que se fija a los porta fotogramas por medio de pinzas de muelle.

La conducción de las barras-guías y de los microscopios de observación de la imagen con los índices de medición, se efectúa mediante el dispositivo de guía. Para efectuar el trazo, este dispositivo se asienta sobre el propio papel de dibujo que se coloca sobre la mesa y es manejado manualmente por el operador, aunque lo más común es realizar el trazo al colocar el papel sobre la mesa adicional y dibujar los detalles con el pantógrafo lineal.

Un sistema de contrapeso garantiza un movimiento suave y regular en toda posición. La unión de las barras guías es solidaria con la extremidad superior de la columna de "Z" del dispositivo de guía; la escala de "Z" permanece perpendicular a. la superficie de dibujo y el valor de la altura puede ser cambiado con el movimiento de una pequeña palanca, situada al frente de la ranura para su desplazamiento rápido y mediante un tornillo moleteado colocado en la parte superior de la escala se ajusta la lectura con un movimiento fino.

El aviógrafo permite realizar restituciones en el que se aumentan hasta cuatro veces y media la escala de las fotografías, ya que óptimamente aumenta la imagen dos veces y con el pantógrafo lineal si se emplean los engranes 2:5 aumenta otras dos veces y media. A sí mismo permite realizar restituciones reducidas hasta 5:2 de la escala del modelo. Para la conexión del pantógrafo tiene en el extremo interior un topo y una garra circular con un tornillo que la abre para ligar el brazo al rodamiento que existe en el pie derecho del timón de mando. (Figura 61).

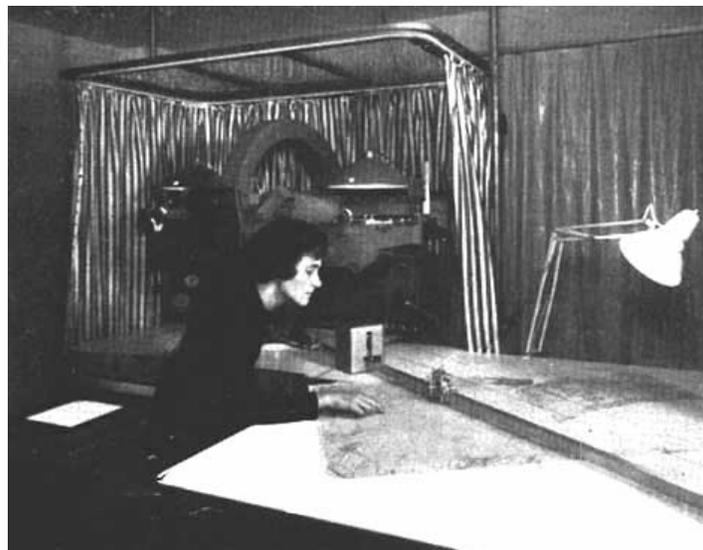


Figura 61.

El sistema óptico consta de binoculares para observar la estereoscopia. En cada uno de los oculares, el ojo observa una parte circular de la fotografía con un diámetro de 27mm. En el centro existe un pequeño punto negro con un diámetro de 0.07mm; denominado *índice de medición*, que al observarlo en el plano de la imagen tiene un aumento de seis veces. Con la orientación correcta de los puntos comunes de las imágenes, los índices de medición que se presentan en los oculares izquierdo y derecho, se funden en uno solo para formar la llamada *marca flotante*.

Ajuste del pantógrafo lineal:

- a) Se desconecta la garra del sistema de guía y se quita la tapa de la caja de los engranes.
- b) Se recorre la vara corredora del pantógrafo en dirección del eje polar hasta el tope, se cuida que el tornillo de ajuste del lado posterior de la garra haga contacto con la caja de los engranes, ya que en esta posición el pantógrafo esta adaptado de fabrica, de tal manera que la distancia del centro de la garra circular al centro del eje polar sea de 120mm.
- c) El punto de origen que es el centro de la garra, el polo y la punta de portaminas están sobre una misma recta. Si el ajuste del pantógrafo es correcto, la relación que existe entre las distancias garra-polo y polo-portaminas es igual ala relación de ampliación modelo plano. El portaminas debe entonces colocarse a tal distancia del polo, que corresponda a la que se requiere para obtener la relación de ampliación deseada. Esta distancia se lee en la escala graduada del brazo del pantógrafo.
- d) Los juegos de engranes suministrados en el equipo son diez de diferente graduación mismos que se emplean tanto para ampliación como para reducción, de acuerdo a la base del pantógrafo ya la colocación de los engranes. .
- e) Para determinar la lectura a que se debe ajustar la escala del pantógrafo, se toma en cuenta el factor base de ampliación del pantógrafo que es de 120mm. y se multiplica por el factor de ampliación de los engranes.

Ejemplo 1. Ajustar la escala del pantógrafo para ampliación con engranes 2:5.

Datos:

$$\text{Factor base de ampliación} = 120\text{mm. Engranes } 2:5 \quad \frac{120 \times 5}{2} = \frac{600}{2} = 300$$

Escala del pantógrafo = 300mm.

Ejemplo 2. Ajustar la escala del pantógrafo para ampliación con engranes 3:4.

Datos:

Factor base de ampliación = 120mm. Engranes 3:4

$$\frac{120 \times 4}{3} = \frac{480}{3} = 160$$

Escala del pantógrafo = 160mm.

Para cualquier juego de engranes se multiplica 120mm; por el segundo número o denominador de los engranes y se divide entre el numerador, el resultado es la lectura a que se debe ajustar la escala del pantógrafo.

Determinada la lectura para los engranes respectivos, se procede a ajustar el índice del carro de portaminas con el valor correspondiente sobre la escala del pantógrafo.

En una primera aproximación el índice debe quedar con una precisión de +/- 1mm.

Después se recorre la vara corredora hasta topar con la caja de los engranes, se colocan y fijan estos (engrane grande en el eje interior y engrane pequeño en el eje exterior). (Figura 62)

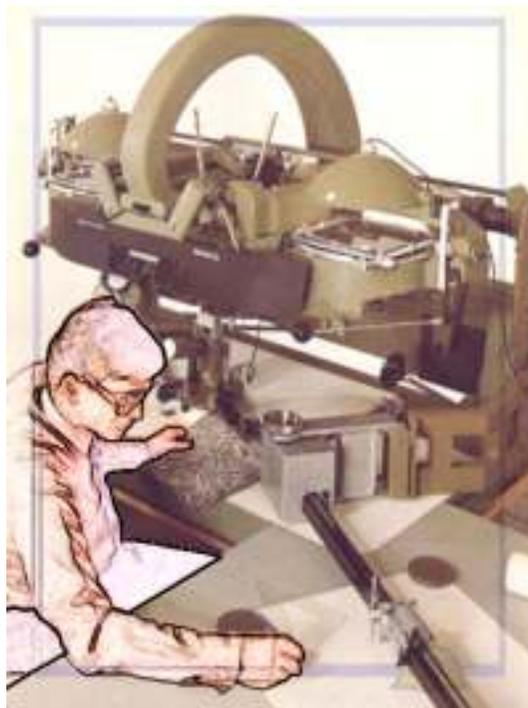


Figura 62.

A continuación al ajuste riguroso por medio del tornillo moleteado que esta situado en la parte superior del carro del portaminas.

Se coloca el lapicero en el carro del portaminas, se verifica el ajuste al accionar la vara corredora del pantógrafo y el pedal del chicote del portaminas. Si todo esta correcto, el pantógrafo esta listo para trazar.

El procedimiento para ajustar el pantógrafo para reducciones es el mismo al anteriormente descrito, únicamente cambiando los valores de los engranes, la posición de los mismos y el ajuste con el calibre metálico (barra plana de hierro con tres pernos cilíndricos) con relación al pantógrafo, donde la distancia garra- polo, que es la base de reducción, 300mm; por lo tanto, para determinar las lecturas de la escala del pantógrafo, se toma este valor y se multiplica por el segundo número del valor de los engranes, el resultado se divide entre el primer número del valor antes dicho.

Ejemplo 1. Ajustar la escala del pantógrafo para reducción, con engrane 5:2.

Datos:

Factor base de reducción = 300mm. Engranes 5:2

$$\frac{300 \times 2}{5} = \frac{600}{5} = 120$$

Escala del pantógrafo = 120mm.

Ejemplo 2. Ajustar la escala del pantógrafo para reducción, con engrane 4:3.

Datos:

Factor base de reducción = 300mm. Engranes 4:3

$$\frac{300 \times 3}{4} = \frac{900}{4} = 225$$

Escala del pantógrafo = 225mm.

La colocación de los engranes en este caso, corresponde al engrane pequeño en el eje interior y el engrane grande en el eje exterior.

Selección de la escala de cristal.

El aviógrafo se suministra con escalas de cristal en diferentes relaciones de valores, para medir las alturas del terreno que se observan en los modelos a restituir. Para seleccionar y utilizar la escala correcta en cada trabajo, el operador debe consultar la tabla que para tres distancias principales indica el manual del aviógrafo. En dicha tabla se toma encuentra la altura de vuelo, la escala de restitución y los engranes.

Otra forma de saber que escala de cristal corresponde al modelo por restituir, si no se tiene la tabla de escalas, es a través de las siguientes operaciones.

Se toma el valor de la escala de restitución, se multiplica por el segundo número de los engranes colocado como denominador y se divide por el primero o numerador.

Ejemplo 1. Que escala de cristal se utilizara para efectuar una restitución escala 1:5000, si se tienen engranes 2:5. Datos:

Escala de restitución 1:5000 Engranes 2:5

$$\frac{500 \times 5}{2} = \frac{25000}{2} = 12500$$

Escala de cristal = 1: 12500

Ejemplo 2. Que escala de cristal se utilizara para efectuar una restitución escala 1:15000, si se tienen engranes 3:4.

Datos:

Escala de restitución 1: 15000 Engranes 3:4

$$\frac{15000 \times 4}{3} = \frac{60000}{3} = 20000$$

Escala de cristal = 1:20000

Esta regla se aplica para determinar que escala vertical se utilizará en la elaboración de la restitución, es decir, para la medición de las alturas del terreno que contengan los respectivos modelos.

Como trabaja el aviógrafo.

Orientación interna. Comprende la reconstrucción, del haz de rayos en el momento de la exposición, mediante el reestablecimiento de la posición del punto principal de la imagen y la introducción de la distancia principal exacta de la cámara, además de colocar las diapositivas en los porta fotogramas, para lograr la coincidencia de las marcas fiduciales de ambos elementos quedando perfectamente centradas.

Al iniciar las operaciones en el aviógrafo, es necesario asegurarse de introducir correctamente el modelo indicado; para esto se tornan las fotografías y sus diapositivas correspondientes, sobreponiéndolas en su zona de traslape (sobreposición interior). Estas deben quedar en la misma forma al ser colocadas en el cuerpo de la cámara correspondiente.

Se retiran los porta fotogramas o. porta placas de su colocación en las cámaras del aparato, se les da un giro vertical de 180° hacia el frente del operador, de tal forma que los tornillos y brazos sujetadores queden hacia arriba para poder maniobrarlos. Se colocan los porta-placas sobre la mesa luz o gavetas luminosas. Se aflojan los tomillos de las pinzas que sujetan las cubiertas de cristal, se retiran estas y se coloca las diapositivas con emulsión hacia abajo, es decir, pegada al porta fotograma, colocándoles encima las cubiertas de cristal.

Se colocan las lupas sobre las marcas fiduciales y se efectúa la coincidencia exacta entre esta y las impresas en el cristal del porta fotograma. (Figura 63) obtenida la orientación interior en las cuatro esquinas del fotograma o en el centro en forma precisa, se fija la cubierta de cristal con las pinzas sujetadoras y se coloca el porta placas sobre la cámara correspondiente, dándoles antes un nuevo giro de 180° en el sentido vertical, del tal modo que la diapositiva queda debajo del porta placas; esta acción se ejecuta en ambas cámaras, dando por terminada esta fase.

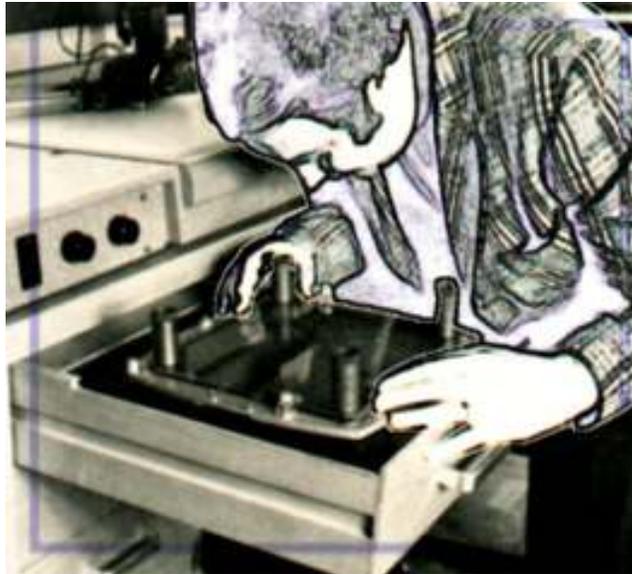


Figura 63.

Introducción de la distancia principal o local. Esta última etapa de la orientación interior consiste en introducir el valor de la distancia focal correspondiente en cada uno de los cuatro micrómetros que tiene para el efecto las cámaras de proyección del instrumento. Esta acción se ejecuta cada vez que se inicia un trabajo, por lo que es importante conocer previamente este dato, principalmente cuando se tiene fotografías tomadas con diferentes cámaras aéreas. Las más comunes para la toma de fotografías son las de objetivo tipo gran angular $f: 150$ a 154mm ; debe colocarse el valor exacto antes de iniciar la orientación relativa.

Orientación relativa. Consiste en colocar las marcas de restitución en la misma posición relativa que guardaba la cámara fotográfica en el momento de las exposiciones, con el fin de que los rayos luminosos proyectados se intercepten en el espacio de un punto determinado. El conjunto de estas intercepciones forman el modelo estereoscópico que permite la observación tridimensional, es decir, en relieve.

Para lograr la orientación relativa en el aviógrafo las cámaras (proyectores) de este disponen de los siguientes movimientos:⁸

⁸ Nota: antes de iniciar la orientación relativa, las escalas de lecturas de los movimientos arriba mencionados, así como los ".Phi común" (rueda de maniobra y tomillo micrométrico), deberán colocarse a media carrera, es decir., hacer coincidir el cero "0" del nonio (escala inferior), con el 100 de la escala superior de cada movimiento.

- a) $Kappa'$ y $Kappa''$ (K) giro o movimiento horizontal (deriva).
- b) Phi' y Phi'' (ϕ) inclinación longitudinal
- c) (cabeceo).
- d) $Omega'$ y $Omega''$ (ω) inclinación transversal (banqueo).
- e) Un apóstrofo (') indica que se trata de la cámara izquierda.
- f) Dos apóstrofes (") indica que se trata de la cámara derecha.

Por medio de una corrección sistemática de estos elementos de orientación, se eliminan los desplazamientos de las imágenes o paralaje.

Para el efecto se toman como referencia cinco puntos característicos del modelo, en los cuales debe situarse el índice de medición al momento de efectuar los movimientos de ajuste. Después de corregir los desplazamientos en estos cinco puntos, el modelo queda debidamente orientado. (Ver figura. 64)

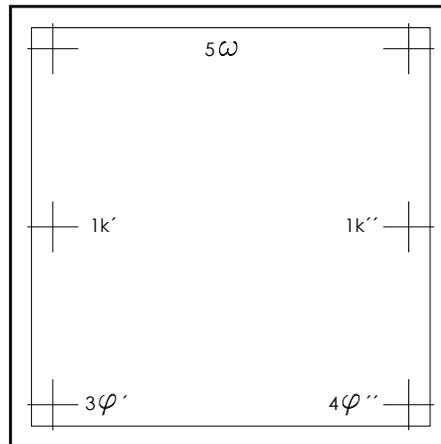


Figura 64.

Puntos característicos para la orientación relativa. Al colocar los porta fotogramas con las diapositivas sobre las cámaras, las imágenes quedan desplazadas dentro del modelo y no es posible observar el relieve, por lo que deberá localizarse un detalle sobresaliente fácil de distinguir en ambas fotografías. Esto se consigue al abrir y cerrar los ojos alternadamente hasta identificarlo. A continuación se procede a efectuar las correcciones para eliminar el paralaje.

Corrección de giro o Kappa (K). Esta corrección se ejecuta al situar el dispositivo de guía sobre el punto "1" del modelo figura 64, se procede a mover simultáneamente el tambor maletado de "Z" y el mando de k'' (cámara derecha) hasta lograr que los detalles se fundan en una sola imagen, lo que permite observar la tercera dimensión en esa zona, después se continúa con el mismo procedimiento con movimientos finos hasta que se logre la fusión de los índices de medición en uno solo (marca flotante), sobre la superficie del terreno. En seguida se sitúa el sistema de guía sobre el punto "2" del modelo, repitiéndose el procedimiento anterior pero ahora se utilizará el mando de k' (cámara izquierda) y el tambor moleteado de "Z".

Corrección de Phi (ϕ) Cuando se ha logrado la corrección anterior, en el área restante del modelo existe gran cantidad de paralaje, para continuar la eliminación de este, se coloca el dispositivo de guía en el punto "3" del modelo, la rueda de maniobra de ϕ (cámara derecha) se gira el número de veces necesario hasta lograr que la imagen se observe en tercera dimensión y los índices de medición se unan. Es importante tener en cuenta que este movimiento de ϕ también es simultáneo con el tambor moleteado de "Z" con el cual se debe buscar la visión estereoscópica, por lo que la "Z" puede subir o bajar según se requiera.

Cuando ya se percibe la estereoscopia en el área y se tiene la marca flotante tangente al terreno, se traslada el dispositivo de guía al punto "4" del modelo y con la rueda de maniobra de ϕ (cámara izquierda), se procede a corregir el paralaje y se siguen los pasos descritos anteriormente hasta observar el relieve en esta zona y unir los índices de medición de ambas cámaras en uno solo.

Corrección de omega (ω). La corrección de ω , que equivale a la inclinación transversal de las fotografías según el sentido de vuelo, consiste en desplazar el sistema de guía al punto "5" del modelo (figura 64). Esta corrección se puede ejecutar con cualquier micrómetro de omega derecho o izquierdo, pero es importante que siempre se utilice el mismo hasta terminar la orientación relativa. Para corregir el desplazamiento en ω por primera vez, se mueve el tambor moleteado de "Z" para lograr la estereoscopia, si esta ya se ve y se aprecia el índice de medición de ambas cámaras, se observaran dos puntos alineados de frente al operador.

Con cualquiera de los micrómetros con el que se efectúa la corrección, se deberá unir los puntos antes mencionados, hasta que se elimine completamente el paralaje. El otro micrómetro debe quedar inmóvil.

Al efectuar la corrección de m en el punto "5", el paralaje total del modelo sufre nuevamente alteraciones en los cuatro puntos corregidos anteriormente, pero de menor magnitud a los iniciales, por tal razón se inicia nuevamente la orientación completa con los mismos movimientos anteriormente descritos. Esta secuencia de eliminación de paralaje en el modelo espacial en cualquier instrumento fotogramétrico trazador de planos (no solo en el aviógrafo), se repite un número indeterminado de veces y en el orden indicado, hasta lograr que en cualquier área del modelo donde se situó la marca flotante, se observe nítidamente un solo punto. Por último se comprueba la ausencia de paralaje en los puntos de K, P y m, dando por terminada la orientación relativa, misma que se lleva a cabo en un tiempo indefinido, considerando la experiencia del operador y la dificultad particular de cada modelo.

Orientación absoluta. Este proceso consta de dos fases: ⁹

- ❖ Ajuste horizontal (escala).
- ❖ Ajuste vertical (nivelación).

Ajuste horizontal. Debemos conocer la ubicación en el modelo estereoscópico de dos puntos opuestos diagonalmente, así como su situación en el plano.

⁹Nota: antes de llevar a cabo los ajustes mencionados, deberá calcularse el juego de engranes, escala de pantógrafo y escala de cristal de acuerdo a la escala de restitución amplificada o reducida. A continuación, se sitúa la marca flotante sobre el terreno en uno de los modelos señalados en el modelo espacial y la punta del porta lápiz en el mismo punto situado en la hoja de dibujo.

La hoja de dibujo se coloca por debajo del dispositivo de guía en caso de restitución directa, se coloca sobre la mesa de dibujo por debajo del lápiz del pantógrafo en el caso de una restitución

Con el dispositivo de guía se lleva la marca flotante al segundo modelo y se observa que el porta lápiz queda desplazado sobre este punto situado en la hoja. Para corregir ese desplazamiento, se fija la hoja al presionar con un dedo el primer punto y se le da un giro lateral a esta para alinear el segundo punto. Si quedo más corto o más alejado de la punta del porta lápiz, con la rueda de maniobra de la base (movimiento Bx), se aumenta o reduce la base del modelo espacial, según lo requiera la distancia gráfica entre los dos puntos. Al ajustar la base y realizar nuevamente el procedimiento anterior se comprueba que la coincidencia entre los puntos del modelo y los puntos correspondientes situados en la hoja se aproximen, lo cual tal vez requiera un pequeño ajuste más, para la determinación precisa de la escala.

Como se expreso anteriormente, para esta fase debe de existir por lo menos dos puntos de apoyo horizontal dentro del área del modelo, pero lo recomendable es que existan cuatro puntos ubicados preferentemente uno en cada esquina del modelo; una vez obtenida la escala, se comprueba con los otros dos puntos que forman otra diagonal. (Ver figura 65).

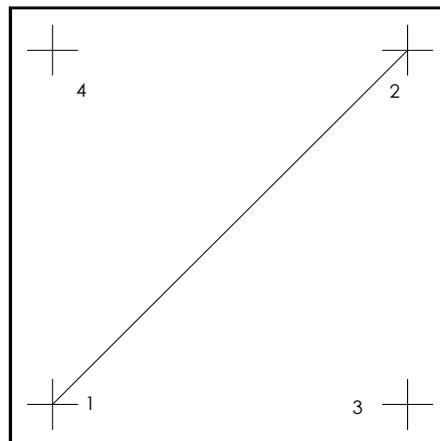


Figura 65. Puntos de control horizontal

Ajuste vertical. Después de ajustar el modelo a escala, se procede a su nivelación con el objeto de determinar las coordenadas angulares, es decir, la inclinación longitudinal ó " ϕ " común e inclinación transversal u "omegas", necesarias para darle al modelo su posición correcta en el espacio; para ello deberá disponerse de tres puntos de control vertical como mínimo, de los cuales se conoce su verdadera altura sobre el nivel medio del mar, estos deben estar dentro del área estereoscópica del modelo lo más alejado entre sí, de tal manera que las líneas de unión entre ellos formen más o menos un ángulo recto. (Figura 66).

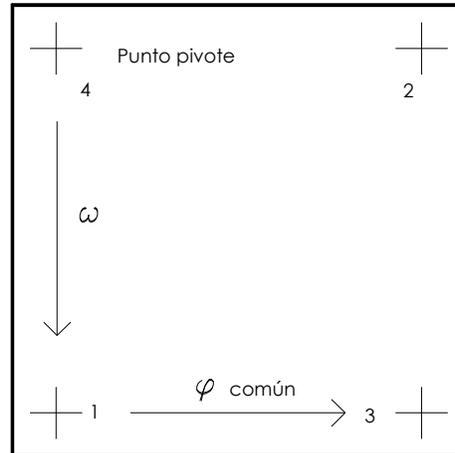


Figura 66. Nivelación general del modelo

Nivelación en ω . Para efectuar la medición de las cotas en el terreno, debe colocarse la escala de cristal que indica las alturas correspondientes del modelo; posteriormente se sitúa la marca flotante sobre el terreno en un punto de control del modelo (punto pivote) que este alineado con otro, en el sentido de ω (figura 66). La escala de altura se calibra con el "tornillo de ajuste fino", al colocar con precisión la cota del punto ocupado; con esta referencia se traslada la marca flotante al siguiente punto de la línea, se sitúa sobre el terreno y se lee la escala de alturas. Si la lectura de escala no coincide con la cota del punto, existirá una diferencia en metros importante y deberá corregirse la inclinación transversal al mover simultáneamente los dos micrómetros de w en el mismo sentido, ya sea que se aumente o disminuya la inclinación según se requiera. Para este proceso se coloca en la escala de alturas el valor que resultó, y se suma o se resta la mitad de la diferencia entre dicha lectura y la cota que corresponda a la corrección por efectuar, por ejemplo, si la cota del segundo punto es de 850 m; y la lectura resultante es de 750 m; se coloca la lectura de 800 m; y se observa la marca flotante se eleva sobre el terreno, entonces con los dos movimientos de w se inclina el modelo hasta que terreno toque dicho punto de medición. Deben moverse en el mismo sentido los dos omegas para evitar que se presente paralaje al modelo. Realizada la corrección en omegas, se inicia nuevamente la calibración antes descrita, en forma completa; si es necesario se repite el proceso varias veces hasta lograr exacta coincidencia en ambos puntos del valor de la rejilla con el de sus cotas.

Nivelación en ϕ . El punto tomado para calibrar la escala vertical en el paso anterior o "punto pivote" sirve de base para iniciar la nivelación. A partir de él, se desplaza el sistema guía hacia el tercer punto de modo que la posición este, con respecto a los dos anteriores, formen una letra "L" (figura 66), ya que esta es una nivelación en el sentido longitudinal.

Se coloca la marca flotante sobre el terreno en el tercer punto y se toma nota de la diferencia entre la cota del punto y la que indica la escala vertical. Antes de efectuar esta corrección es muy importante colocar el dispositivo de guía al centro del equipo, esto es, con las barras guías en el plano vertical, para evitar que estas se dañen al girar la rueda de maniobra de " ϕ común". A continuación, se da un giro a la rueda de maniobra en el sentido correspondiente, según la diferencia en la lectura de escala y cota del punto, se toma en cuenta que al girar la rueda en sentido de las manecillas del reloj,

bajara el lado derecho del aviógrafo y viceversa. La graduación en la escala circular de " ϕ común", equivale aproximadamente a un metro en el terreno, por lo tanto, se gira la rueda proporcionalmente a la diferencia de lecturas. Es importante hacer notar que el dispositivo de guía sigue colocado al centro del equipo, y que no se debe mover de esta posición hasta introducir el nuevo valor la escala circular de " ϕ común" a través del tornillo micrométrico de este mismo movimiento, situado en la parte superior derecha del sistema de guía.

Obtenida la igualdad anterior, se lleva el dispositivo de guía hacia el punto de calibración inicial y se vuelve a ajustar la lectura, en seguida se regresa al tercer punto para ver la nueva diferencia, que será menor que la obtenida al principio; nuevamente se repite el proceso señalado en el párrafo anterior con las precauciones indicadas, hasta obtener el valor de las cotas correspondientes al situar el punto en tierra.

Después de efectuar la primera corrección en ϕ , se inicia nuevamente la calibración en el primer punto y la comprobación en el segundo punto; en caso de existir diferencia entre la cota del punto y la lectura de la escala del aparato, se vuelve a corregir e iniciar dicha calibración en el número de veces que sea necesario, hasta conseguir la coincidencia exacta en ambos puntos del modelo y sus equivalentes situados en la hoja del dibujo por medio del control terrestre.

Al concluir la nivelación en los dos sentidos, transversal y longitudinal, todo el modelo queda nivelado y listo para iniciar el trazo. Es conveniente verificar la escala, ya que si las correcciones son fuertes, esta se ve afectada.

El trazo de la planimetría y la altimetría son la última fase de la restitución fotogramétrica de un modelo o de una serie de modelos, se sigue el modelo que a continuación se describe:

- a) Planimetría.
- b) Hidrografía.
- c) Vegetación.
- d) Curvas de nivel.

En la cartografía todos estos conceptos son trazados en colores y símbolos que diferencian a cada uno de ellos. En los *planos ortogonales a escala u ortofotos*, utilizados en proyectos para ingeniería civil, la cantidad de información a trazar dependerá del tipo de proyecto; lo que al ingeniero civil le interesa es una exacta restitución, una buena calidad en las imágenes aéreas, para la fotointerpretación, las curvas de nivel y si es posible que estén geoposicionados, esto claro se logra con los equipos de última generación.

Fotogrametría digital.

En fotogrametría digital la imagen sustituye a la diapositiva como soporte de los procesos Fotogramétricos. Por imagen se entiende una estructura matricial en la cuál sus elementos son píxeles. La imagen difiere de la fotografía convencional en las características geométricas y radiométricas.

La obtención de imágenes digitales en la actualidad es posible mediante cámaras aéreas digitales que están comenzando muy despacio a introducirse en el mercado. Pero dichas cámaras todavía no han llegado a resolver de un modo satisfactorio la captura de imágenes digitales de forma directa, además del elevado costo que suponen.

Frente a la obtención directa la alternativa es la digitalización. La digitalización supone la transformación de fotografías aéreas en imágenes digitales mediante la utilización de un escáner fotogramétrico.

La película fotográfica en estos momentos es el soporte de mayor importancia debido a su alta calidad desde el punto de vista del poder de resolución, contraste, estabilidad y rango dinámico. Estas características del soporte se unen a la aparición de los escáneres fotogramétricos especializados a finales de los años 80, con lo que puede observarse un desarrollo gradual y una mejoría en la calidad de los escaneos resultantes.



Figura 67. Imagen digital obtenida del escaneo de una diapositiva.

Originalmente, la especificación más importante para estos escáneres fotogramétricos era la precisión geométrica del escáner pero cada vez, debido a unos resultados óptimos en este campo, existe una mayor preocupación por el buen color y el rendimiento radiométrico.



Figura 68. Escáner fotogramétrico marca DSW 500.

Será fundamental el control y análisis de las precisiones obtenidas en las imágenes digitales, ya que se han detectado problemas producidos en procesos fotogramétricos digitales como pobres resultados en orientaciones y aerotriangulación, errores en la generación de modelos digitales del terreno (MDT), diferentes deformaciones radiométricas y pérdidas de calidad en la imagen. Dichos errores eran causados en el pasado por la insuficiente calidad radiométrica y geométrica en el momento de la digitalización.

Como ya se ha hecho referencia, será al final de la década de los años 80 cuando comienza a desarrollarse de una manera lenta la tecnología de digitalización que permitirá transferir la precisión geométrica de la película a la imagen digitalizada. Hasta entonces no había surgido la idea de la utilización en Fotogrametría de los escáneres. Todos estos estudios determinaron y justificaron la utilización de los escáneres planos con un formato lo suficientemente grande para aceptar el tamaño de una imagen aérea y suficientemente precisa y estable geoméricamente para poder trabajar en procesos fotogramétricos.

Los escáneres planos utilizan una metodología de captura de la imagen de la siguiente forma: La película se coloca sobre una superficie de cristal y se asegura la posición de ésta mediante la presión con otro cristal. La cabeza óptica se moverá, pegada al cristal que sirve de base, a lo largo del documento mientras que por encima incidirá un haz de luz del mismo tamaño que la cabeza y pegado al cristal superior. En condiciones ideales estos escáneres deberían digitalizar las imágenes fotogramétricas con un único paso de la cabeza óptica, lo cual no es posible en la actualidad por limitaciones técnicas y las imágenes se deben digitalizar por partes formándose estas a partir del montaje de pequeños cuadrados o pasadas.

Para la automatización del proceso de digitalización ya son muchos los escáneres que incorporan un sistema de arrastre o alimentador, tanto automático como manual, que permite la digitalización desde el rollo. Normalmente este sistema es utilizado en grandes proyectos y permite un ahorro importante tanto de tiempo como económico.

De la misma manera, la digitalización directamente desde el rollo supondrá un aumento en la calidad de la imagen final obtenida. Se habrá evitado en la película un gran número de ralladuras, polvo y manchas de grasa que se suelen transferir tanto en el proceso de cortado como en el de obtención de la diapositiva. Esto incide en el ahorro considerable de posibles problemas en aerotriangulaciones automáticas posteriores, modelos digitales automáticos o posibles retoques o ediciones de las Ortofotos antes de su entrega final.



Figura 69. Imagen de un escáner fotogramétrico a color.

Los equipos informáticos que acompañan a los escáneres fotogramétricos deben ser de última generación, ya que las imágenes digitales obtenidas tienen gran cantidad de información que se traduce en archivos de gran tamaño, y su tratamiento, procesamiento, transmisión y almacenamiento podrían suponer un grave problema.

La totalidad de los equipos montados, además de poseer la capacidad de almacenar y gestionar una gran cantidad de información, deben dar mucha importancia a las tarjetas gráficas y los monitores que utilizan. Los equipos, además de llevar programas propios de escaneo, deben estar dotados de la posibilidad de ecualizar y corregir histogramas de datos radiométricos, convertir a diferentes formatos de imágenes digitales o hacer balances de color. También permitirán la transformación de película negativa a imagen digital positiva tanto en Color como en Blanco/Negro.



Figura 70. Datos de entrada negativos y salida de datos positivos en película B/N.



Figura 71. Datos de entrada negativos y salida de datos positivos en película a color. Los escáneres tienen una serie de características que son definitorias para poder determinar su condición de fotogramétricos. Estas son:

- I. Constructivas.
- II. Resolución Geométrica
- III. Resolución radiométrica.

Constructivas. Será de especial importancia la estabilidad en todo el sistema. Por ello, como característica constructiva se pide estabilidad en la energía y estabilidad mecánica en los desplazamientos del sensor. Se espera uniformidad en el sistema de iluminación (estabilidad energética) ya que la cantidad de luz deberá de ser constante durante el proceso de digitalización y esa falta de estabilidad produciría serios defectos radiométricos. Esta se consigue mediante el control de la temperatura en diferentes partes del escáner. Los sistemas de refrigeración del sensor permiten que no se produzca un aumento de ruido en la imagen. La estabilidad geométrica es fundamental para obtener las precisiones requeridas en estos tipos de trabajos. Los desplazamientos del sensor pueden perder calidad geométrica influenciada por el polvo, por falta de calibración mecánica o defectos de engrase, los cuáles producirán defectos graves geométricos sobre las imágenes digitales.

Resolución geométrica. La resolución geométrica determina la precisión de las imágenes digitales y por tanto la precisión del escáner. Dicha característica viene dada por la resolución y la geometría.

La resolución constituye la explotación métrica de las imágenes por parte del escáner, es decir la resolución máxima que alcanza el escáner. Una mayor resolución significa un menor tamaño de píxel, siendo éste la unidad elemental de información gráfica.

Con la geometría se determina la precisión con la cuál el escáner coloca o posiciona cualquier elemento, punto o píxel dentro de la imagen.

La resolución geométrica del escáner va a depender fundamentalmente de la versión ala que pertenezca el escáner así como del trabajo que se pretenda realizar.

Resolución radiométrica. Para evaluar la calidad radiométrica de una imagen digital será necesario evaluar un parámetro denominado "bit number" el cuál es la unidad básica de información digital y se expresa de la siguiente manera:

$$bit = \log_2 1$$

Donde 1 es la cantidad de intensidad luminosa que llega al film expresada en lux.

El número de niveles de grises o de niveles de información se expresa como:

$$G = 2^m$$

Donde m es el bit, y Se acepta comúnmente que $m=8$ debido a que de esta manera se hace corresponder la unidad de información gráfica el píxel con la unidad de almacenamiento informático el byte, y además porque el ojo humano solo es capaz de distinguir hasta 200 niveles de grises y la mejor correspondencia son los 256 que se obtienen de esta manera.

La resolución o calidad radiométrica es un factor fundamental ya que para los siguientes procesos en los que intervendrán las imágenes digitales, sobre todo procesos automáticos, pueden producir falta de precisión geométrica. La definición o ruidos de estos valores pueden influenciar en la precisión de la medición.

Se deberá tener mucho cuidado a la hora de utilizar las imágenes aéreas digitalizadas en la realización de trabajos fotogramétricos, imponiendo la exigencia de digitalización con escáneres que realmente aseguren las precisiones geométricas y radiométricas. Errores producidos en la digitalización se propagaran a través de todos los procesos fotogramétricos posteriores.

El escáner a emplear debe ser plano, con precisión cartográfica, y con posibilidad de realizar una auto calibración, para comprobar su precisión. Debe tener una capacidad de resolución menor de 10 micras y una precisión geométrica de 2 micras. Deberá ser obligatorio el proceso de autocalibración para poder conocer la precisión del instrumento antes de iniciar el proceso de barrido.

Así mismo este escáner debe tener la capacidad de dar tanto una salida en B/N o escala de grises, cómo una salida a Color. Los valores de la escala de grises están expresados por un rango numérico de 0 a 256, siendo el primero el correspondiente al negro y el último el correspondiente al blanco. Lo mismo ocurrirá con el color pero con esta distribución numérica para las bandas del rojo, verde y azul (RGB).

En el siguiente subcapitulo hablaremos del Digital video Plotter (DVP); que es una estación fotogramétrica digital producida por Leica, el cual forma parte de los equipos de nueva generación utilizados en restitución.

3.5 LA DVP (DIGITAL VIDEO PLOTTER).



Figura 72. Imagen de la estación fotogramétrica digital DVP.

El Digital video Plotter (DVP), es una estación fotogramétrica digital de la empresa suiza *Leica*, en la cual el proceso de restitución se hace a través de procesos matemáticos de software especialmente diseñados para tal fin, en lugar de medios mecánicos como en el *Aviógrafo*.

El DVP requiere del siguiente hardware:

Computadora. Una PC compatible con procesador 80486 o superior (*Pentium*) con procesador matemático y 8 a 16 MB de RAM (en el caso de computadoras con *Pentium* se requiere 32 MB).

Tarjetas gráficas:

- ❖ Primer monitor: ATI Mode o VESA Mode.
- ❖ Segundo monitor: ATI 8514-ULTRA o ATI VANTAGE o ATI ULTRA PRO o Matrox o ATI VGA 1024 DXL.

Trackball. (Opcional).

Tableta de digitalización. Cursor de cuatro botones.

Impresora o Plotter. (Opcional)

Escáner: de color o de niveles de gris que tengan 256 niveles de gris con 8 bits por píxel y de color con 24 bits por píxel en formato TIFF no comprimido; formato mínimo de 23 x 23 cm.

Accesorios: llave de hardware (dongle).

Estereoscopio de espejos: enfocados al infinito y con diámetro suficiente para acomodar cualquier distancia interpupilar "normal". Para equipo con *Windows NT* existe la opción de usar el sistema de lentes activos de *Crystal eyes*.

El DVP requiere del siguiente software:

En forma general:

- ❖ *Ensamblador*: para los dispositivos y para la entrada/salida.
- ❖ *Fortran*: para las operaciones matemáticas.
- ❖ *Basic*: para todas las rutinas.

Módulos del DVP.

DVP-MP. Es la versión para PC de la estación fotogramétrica digital y consiste de los módulos siguientes:

DVPM. Módulo de inicialización.

- ❖ *DVPO*: Realiza las orientaciones interior, relativa y absoluta de cada modelo.
- ❖ *DVPN*: Realiza la estéreo compilación digital, importación/exportación de archivos ASCII y DXF, a sí como generar modelos digitales de elevaciones (MDE).

DVP-SPOT: Es el equivalente del *DVP* para imágenes de satélite *SPOT* y consiste de los módulos:

- ❖ *DVPM*. Módulo de inicialización.
- ❖ *SATO*: Realiza la importación de imágenes *SPOT* pancromáticas al formato usado por *DVP*.
- ❖ *SATO*: Realiza la orientación de los modelos estereoscópicos *SPOT*:
- ❖ *SANT*: Efectúa la estéreo compilación digital a partir de la imágenes *SPOT*.

DVPC. Permite la utilización de fotografías a color digitalizadas a 24 bits (8 bits por cada color: rojo, verde y azul).

DVPS. Cuando se establece un modelo estereoscópico, el software solicita un archivo de calibración del escáner. Al introducir el archivo de calibración en el *DVP*, el software corrige automáticamente las coordenadas de foto conforme a los valores de corrección del archivo. Consiste en una cuadrícula y software.

DVP-3. Permite la producción de ortoimágenes digitales a partir de fotografías aéreas en donde el modelo digital de elevación se puede crear dentro del *DVP* o puede ser operado independientemente del *DVPN*. Esta formado por los siguientes módulos:

- ❖ *DVPM*: Módulo de inicialización.
- ❖ *DVRO*: Para la resección espacial monoscópica, lo que permite operarlo independientemente, aunque un usuario de *DVP* puede usar *DVPO* para la orientación estereoscópica de los modelos.

- ❖ *DVPR*: Permite realizar las ortoimágenes por rectifica diferenciación diferencial y consta de los siguientes submódulos.

DVTIN: Generar las redes de triángulos irregulares requeridas para la rectificación diferencial. Pueden usarse líneas de quiebre para representar más adecuadamente los cambios de pendiente importantes.

DVPMOS3: Ensambalar (mosaiquear) las ortoimágenes necesarias parar formar una hoja de mapa o para cubrir una cierta región.

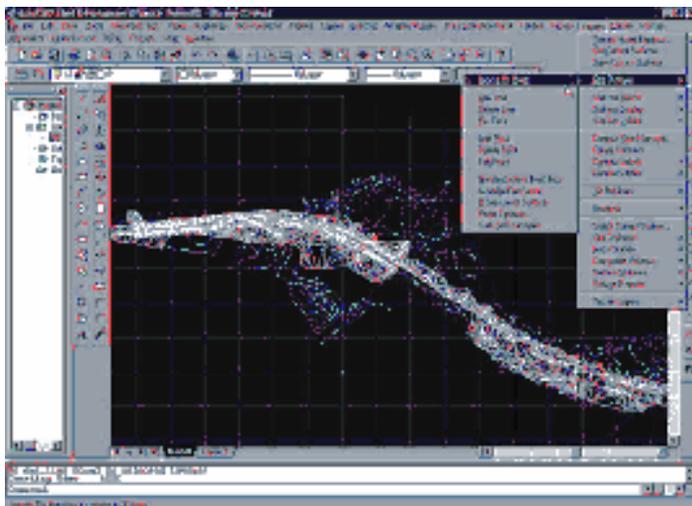
- ❖ *DVPN*: Para la compilación tridimensional en base a la ortoimagen, lo cual se logra mediante la liga del *TIN* ala ortoimagen para calcular las elevaciones.

DVP-MONO. Permite la compilación de datos digitales tridimensionales a partir de fotografías aéreas colocadas en la tableta de digitalización, apoyados en un modelo digital de elevación. Consta de los siguientes *módulos*.

- ❖ *DVPM*: Módulo de inicialización.
- ❖ *DJPTIN*: Generación de un *TIN* a partir de un *M DE*.
- ❖ *DVRO*: Módulo de orientación monoscópica.
- ❖ *DVRBA*: Triangulación y ajuste monoscópico de fotografías de contacto usando la tableta.
- ❖ *DVPN*: Vectorización en tres *dimensiones*.

DVR-2. Permite la producción de mapas a partir de fotografías tomadas con cámaras no métricas a casi cualquier ángulo. *DVR- 2N* es el módulo que permite sectorizar en dos dimensiones.

DVP-TRI. Permite operar una PC como una estación de triangulación libre de instrumentación óptico-mecánica. Prepara las coordenadas *x, y, z* de modelos independientes para el ajuste: puntos de liga, puntos de pase y centros de perspectiva. Se



acompaña del correspondiente programa para el ajuste, proporcionando los archivos de las orientaciones interior, relativa y absoluta, por lo que estas se realizan automáticamente en las etapas de puesta del modelo y de compilación.

TRADUCTORES. Cada módulo del *DVP* incluye un traductor *DXF* para importación/exportación a otros paquetes (por ejemplo *AutoCAD*, *Arclnfo*, entre otros).

Figura 73.

Calibración del escáner.

Las aplicaciones fotogramétricas requieren del uso de un escáner de alta calidad métrica y de repetibilidad confiable, características que no corresponden a todos los escáneres ópticos. El software *DVTPS* permite transformar un buen escáner en una excelente herramienta fotogramétrica.

Con el *DVPS* se crea una tabla que interactúa con la transformación bidimensional realizada por los módulos del *DVP*. Para los efectos se proporciona una cuadrícula de 24 x 24 puntos espaciados 1 cm. en material estable. Los valores de los 576 puntos fueron establecidos mediante lecturas en un estéreo restituidor analítico.

En la sesión de calibración de escáner se presentan las siguientes ventanas:

Ventana #1. Vista global.

Ventana #2. Despliegue del acercamiento parcial.

Ventana #3. Ventana de trabajo.

Ventana #4. Archivo de los parámetros de calibración.

Proceso para escanear la cuadrícula.

- 1) Establezca un punto de referencia en dónde colocar la cuadrícula y las fotografías a escanear en lo sucesivo.
- 2) Escanee la cuadrícula a la densidad apropiada.
- 3) Después de escanear la cuadrícula debe salvar el archivo *TIFF* en el disco duro.
- 4) Inicie el *DVP*.
- 5) *En el menú director seleccione la función nameModel y presione el botón #1, el nombre puede contener hasta 8 caracteres alfanuméricos.*
 - a) Si el nombre es de un modelo ya elaborado, el software se regresará al menú director. Si el nombre es uno nuevo, el software le pregunta por el tipo de modelo: seleccione *Dvps*.
 - b) La siguiente pregunta es por la ruta y el nombre del archivo de la cuadrícula escaneada previamente. Puede usar el comodín *.
 - c) A continuación solicita una descripción del modelo, la que usará para identificar el reporte final. De aquí se le regresa al menú de bifurcación.
- 6) *La función preparación del menú director inicia el DVPS; una vez seleccionado aparece el menú de calibración:*
- 7) *Seleccionar la función Calibration.*
- 8) *Seleccionar la función Go dentro del menú de la ventana #3.*

-
- 9) *El programa despliega las coordenadas de referencia del primer punto de la cuadrícula de calibración dentro de la ventana #3.*
- a) *Mueva el cursor en el primer punto dentro de la ventana #2 y presione <SB>.*
 - b) *El software hace un acercamiento al punto. Ponga el cursor en el centro del punto y presione <SB>;*
 - c) *El programa se moverá automáticamente al siguiente punto y de esta manera se leen las cuatro esquinas de la cuadrícula.*
 - d) *Una vez hecho lo anterior el software empieza a leer automáticamente los puntos restantes de la cuadrícula.*
- 10) *10) Dentro de la ventana #1 se usan colores para señalar el estado de las lecturas. El verde indica que no se requirió ninguna corrección. Rojo y verde nos dice que se requirió una corrección. El rojo nos señala que el software no encontró el punto y que la lectura fue rechazada. Es muy importante tener todos los puntos leídos.*
- 11) *Para verificar que la cuadrícula se ha colocado adecuadamente, se ha colocado un punto adicional entre los puntos 1,1 y 1,2. Cuando el programa no lo encuentra manda un mensaje de error y habrá que reiniciar el proceso procurando colocar apropiadamente la cuadrícula.*

Para verificar si algunos puntos han sido rechazados, mueva el cursor a la ventana #2 y presione <RePág> o <AvPág> para que el programa permita recorrer las lecturas y pare en la primera lectura rechazada. En caso de que no se hubiera rechazado ningún punto el programa para en la última lectura. Esto mismo puede hacerse paso a paso presionando <Inicio> o <Fin>; en este caso los puntos se despliegan uno después de otro mostrando posición del cursor en donde se hizo y grabó la lectura.

- 12) *Para puntos rechazados:*

- a) *Encuentre las coordenadas del punto.*
 - b) *Si las coordenadas no están activas mueva el cursor a las coordenadas correctas en la venta #3 y presione el botón # 1 para activarlos.*
 - c) *Si las coordenadas del punto están activas mueva el cursar alas coordenadas correctas y presione el botón # 1 para desplegar el punto en la ventana #2.*
 - d) *Seleccione la función Reject para rechazar las coordenadas del punto.*
 - e) *Mueva el cursor al centro del punto desplegado en ventana #2 y presione el botón # 1 para aceptar las nuevas coordenadas. El programa se moverá automáticamente al siguiente punto.*
 - f) *Repita el proceso tanto como sea necesario.*
-

- 13) Una vez que se ha aceptado todos los puntos seleccione la función *Compute* para crear la tabla de corrección que pueda incorporarse al archivo de corrección que usa el DVP. Deberá teclarse la información que se solicita.
- 14) Genere el reporte para ver con mayor detalle los datos y los resultados.
- 15) El último paso es guardar los resultados para lo cual debe seleccionar la función *Save*. Después de lo cual se desplegará el menú *Calibration*.

DVPO. Orientación estereoscópica.

Como ya mencionamos, la compilación fotogramétrica requiere la construcción de un modelo de la situación que existió entre el terreno y la cámara en el momento de la toma de la fotografía. Con soluciones fotogramétricos convencionales usando instrumentos analógicos, dicha reconstrucción se haría con métodos ópticos y mecánicos, siguiendo los siguientes pasos:

Orientación interior.

Orientación relativa.

Orientación absoluta.

El DVP hace la reconstrucción con métodos matemáticos.

Procedimiento.

- 1) Inicie el DVP.
- 2) Nombre del modelo: Use el comodín *, en su caso, para encontrar los archivos correctos.
- 3) Tipo de modelo: *Seleccionar DVP* para definir un modelo fotogramétrico estándar.
- 4) Ruta y nombre de las imágenes izquierda y derecha.
- 5) Descripción del modelo: Se puede emplear una descripción breve de no más de 68 caracteres.
- 6) Nombre del archivo de corrección del escáner: Se puede seleccionar con el comodín <*> o presionar <Enter> en caso de que no se hubiera utilizado ninguno.

Orientación interna.

Transformación de las coordenadas del escáner (píxeles) en coordenadas de foto a partir de las marcas fiduciales.

En la sesión de orientación interna se presentan las siguientes ventanas:

Ventana # 1: Vista global.

Ventana #2: Vista parcial (acercamiento).

Ventana #3: Ventana de trabajo, contiene los puntos que serán grabados o procesados además de los resultados de cálculo. Los puntos pueden introducirse mediante el teclado o transferirse desde otro archivo (archivo de la cámara) ¹⁰

Ventana #4: -despliegue del archivo de parámetros (*parameter file*), datos que son necesarios para la creación de reportes y para cálculos.

Ventana #5: Despliegue del archivo de la cámara (*cámara file*). Las coordenadas desplegadas se pueden transferir a la ventana de trabajo y la distancia focal a la ventana de parámetros.

Procedimiento.

- 1) seleccionar el menú pReparation.
- 2) seleccionar la función de orientation.
- 3) seleccionar la función interior:

Este menú sólo se despliega en el procedimiento de orientación interior; para regresar al menú principal presione <Ese>.

- 4) seleccionar la imagen que se quiere trabajar. El programa despliega las cinco ventanas de trabajo en la zona .I del monitor principal.
- 5) abrir el archivo de la cámara de formato *DVP*: seleccione la función File en el menú de la *ventarla #5*, que requerirá la introducción del nombre del archivo desde el teclado o su búsqueda con el comodín *. Una vez hecho esto, despliega los parámetros de la cámara en la *ventarla #5*.
- 6) usando las coordenadas de la *ventana #5*: coloque el cursor sobre el valor de la distancia focal en la *ventarla #5* y presione el botón #1 para activarlo; una vez que el valor está activado, presione el botón #1 por segunda vez para transferir el valor a la *ventana #4*.
- 7) coloque el cursor sobre las coordenadas de una de las marcas fiduciales en la *ventana #5* y presione el botón #5 para activarlo; al presionarlo por segunda vez, se transfieren las coordenadas a la *ventarla #3*, desplegadas en rojo. Automáticamente se desplegará en la *ventarla #2* la porción de la imagen centrada en los valores calculados en coordenadas píxel para la marca fiducial a la escala 1:1.
 - a) Coloque la marca de medición tan cerca como sea posible de la marca fiducial y presione el botón #1. se desplegará en la *ventarla #2* la marca fiducial con una relación de 1.0 a 1 con la marca de medición ubicada cerca de la marca fiducial.
 - b) Coloque la marca de medición exactamente sobre la marca fiducial y presione el botón #1. los valores grabados se desplegarán en amarillo en la *ventana #3*, en la misma línea de los valores de calibración.
- 8) Repita el paso 7 para grabar todas las marcas fiduciales.

- 9) Seleccione la función Compute en el menú de la ventana #3 para calcular la orientación interior. Una vez que se efectúa se desplegarán los residuales resultantes de la transformación afín en la línea correspondiente. Interpretación de los resultados: *el valor de P_y deberá ser igual o menor a 0.5 de píxel. Cuando excedan de 1.5 píxeles, debemos suponer que la imagen esta deformada.*
 - a) Una vez que se han leído todos los puntos, el usuario puede usar las otras funciones de la venta #5 para cambiar las lecturas y obtener más precisión (Add, Reject, Erase o Accept).
 - b) Seleccione el o los puntos que se va(n) a volver a medir y rechácelo(s).
 - c) Léalo(s) nuevamente.
 - d) Una vez leídos todos los puntos que juzgue necesario use la función Compute.
 - e) Borre el o los puntos que no se volvieron a activar con Erase.
- 10) Seleccione la función Save del menú de la ventana #3 para salvar los resultados en un archivo con el nombre del mismo y la extensión .DAT.
- 11) Una vez terminada la orientación interior para esta imagen, seleccione la función Quit de la ventana #3 y del menú principal de la orientación interior.
- 12) A continuación presione Esc, para seleccionar la otra imagen y proceder a orientar la imagen derecha siguiendo el mismo procedimiento desde el paso 7.
- 13) Una vez que se ha completado la orientación interior para ambas imágenes, presione <Esc> para regresar al menú principal de orientación.
- 14) A continuación podrá seleccionar la función Relative para calcular los parámetros de la orientación relativa.

Orientación relativa.

Restablecer la situación relativa entre ambas fotografías al momento de la toma. Cuando esto se ha logrado el usuario tendrá una visión estereoscópica perfecta de todos los puntos sobre el modelo. En la medida que no se hubiera logrado o que la orientación relativa no se hubiera completado se tendrá lo que en fotogrametría se conoce como *paralaje*:

Paralaje X (px): este presenta únicamente una diferencia de elevación.

Paralaje y (py): es la causa del procedimiento de la orientación relativa y esta se considera terminada una vez que el modelo esta libre de paralaje en Y.

Con el programa *DVP* la orientación relativa se efectúa leyendo puntos distribuidos. Estratégicamente en el modelo.

En cada área seleccionada el usuario lleva las dos marcas a coincidir exactamente o a sobreponerse con dos imágenes de un mismo detalle. La sobreposición puede realizarse:

- ❖ Monocularmente.

- ❖ Binocularmente usando el visor estereoscópico.
- ❖ Automáticamente usando la función de autocorrelación.

En la sesión de orientación relativa se presentan las siguientes ventanas:

Línea de estatus: muestra algunos indicadores importantes acerca del despliegue y los estados del cálculo y de la marca flotante.

Ventana #1 y #2: contiene las imágenes izquierda y derecha, respectivamente. Se pueden desplegar global mente o parte de ellas. Se usan para efectuar mediciones estereoscópicas y se activan o desactiva simultáneamente.

Ventana #3: tabla de trabajo, contiene los puntos homólogos que se han medido y también los resultados de los cálculos si estos ya se han efectuado.

Ventana #4: contiene los parámetros útiles (resultados y datos) de cálculos de las orientaciones.

Procedimiento.

- 1) Seleccione la función Relative.
- 2) Acepte presionando la tecla Enter o teclee el valor aproximado de la *photobase*. .
- 3) Seleccione la opción para el desplazamiento a los puntos estratégicos (en donde va a eliminar el paralaje) con la función Depl.
- 4) Ponga las marcas lo más cerca de un mismo detalle claro, visible y distinguible en las *ventanas #1 y #2*, con la ayuda del <Tab> o de <1>, <2> y <3> .Procure evitar casas, copas de árboles o líneas de transmisión.
 - a) Use F5 para centrar las imágenes en la posición de las marcas de medición.
 - b) Seleccione un factor de ampliación. Previamente asegúrese de que las marcar estén señalando la misma área.
 - c) Con la ayuda de <Tab> o de <1>, <2> y <3> elimine el paralaje, todo ello sin recurrir al estereoscopio.
 - d) Pueden usarse las opciones precedentes pero con apoyo del visor estereoscópico.
 - e) Se recomienda el uso de la correlación automática (<Alt>+<F7> o <Ctrl.>+<F7>) para la eliminación del paralaje, por ser más rápida. Siempre deberán verificarse estereoscópicamente los resultados, ya que será el ojo del operador decida si los resultados son válidos.
 - f) El zoom (acercamiento) se recomienda cuando las marcas de medición son un poco menores que el detalle elegido para hacer la lectura usando <F8> o el botón #4.
 - g) Presione el botón #1 para aceptar.

- h) Cuando el cursor aparece sobre la función Record de la *ventana #3*, presione el botón #1 para aceptar.
- 5) Repita este procedimiento hasta que se hayan leído todos los puntos.
- Se recomienda usar al menos 8 ó 9 puntos distribuidos uniformemente e introducidos manualmente.
- 6) Seleccione la función Compute del menú de la *ventana #3* con la ayuda del cursor. Después del cálculo se listarán los paralajes residuales para cada punto en la columna correspondiente para evaluar la calidad de los resultados.
- Interpretación de los resultados:** *el valor de P_y no debe exceder de 0.25 de píxel.*
- 7) Para corregir los puntos con valores que exceden los valores permisibles:
- Seleccione y rechace los puntos mal leídos.
 - Centre la imagen de cada punto rechazado con la barra de espaciamiento y
 - Mueva las marcas a una mejor ubicación, que no diste más de 25mm.
- 8) Aplique el procedimiento descrito en el paso 4 para todos los puntos incorrectos.
- 9) Aplique nuevamente la función Compute.
- 10) Seleccione la función Save en la *ventana #3* para salvar los resultados en el archivo nombre del modelo. DAT.
- 11) Una vez finalizada y salvada la orientación relativa seleccione Exit del menú de la *ventana #3*.
- 12) A continuación puede seleccionar la función Absolute en el menú principal de orientación para calcular los parámetros de la orientación absoluta.

Orientación absoluta.

El siguiente paso consiste en poner el modelo:

- ❖ A escala.
- ❖ En la dirección correcta.
- ❖ Y en la relación vertical precisa con el terreno.

Los primeros dos pasos se logran con el auxilio de al menos dos puntos con coordenadas conocidas en posición (x, Y) y el tercer paso requiere de conocer la elevación de al menos tres puntos. Se recomienda leer por lo menos cuatro y tres puntos, respectivamente.

En la sesión de orientación absoluta se presentan las siguientes ventanas:

Línea de estatus

Ventana #1y#2: acercamientos parciales. *Ventana #3:* ventana de trabajo, despliega los puntos a ser leídos o analizarse además de los resultados de los cálculos. Los puntos pueden introducirse manualmente o ser transferidos desde otro archivo. A fin de poder leer un punto sus coordenadas deberán aparecer en rojo en la ventana.

Ventana #4: ventana de parámetros.

Ventana #5: despliegue del archivo de control' terrestre, despliega las coordenadas de los puntos de control. Si el archivo no existe puede crearse mediante esta ventana.

Ventana de sobreposición: la orientación absoluta también puede efectuarse usando un archivo de elementos gráficos de formato DVP (XYZ). El archivo se muestra en una ventana desplegable.

Procedimiento.

- 1) Seleccione la función Absolute en el menú Orientation, que permite el despliegue de las cinco ventanas de trabajo para el par de imágenes seleccionadas.
 - 2) Seleccione la función File del menú de la *ventana #5* (despliega el control terrestre).
 - 3) Usando el comodín <*> o con el teclado introduzca el nombre del archivo de los puntos de control.
 - 4) Lectura de los puntos de control:
 - a) Coloque el cursor sobre las coordenadas de un punto en la *ventana #5* y presione el botón #1 para activar las coordenadas y vuélvalo a presionar para transferir las coordenadas del punto a la *ventana #3*.
 - b) Coloque las marcas de medición cerca de la posición del punto de control y presione el botón #1 para tener un acercamiento 1 a 1 y estar listo para medir el punto en XYZ.
 - c) La lectura de los puntos de control normalmente se hace en modo estereoscópico. Se recomienda hacer la lectura a la escala 1 a 1. Una vez que la marca de medición esta centrada sobre el punto de control es posible usar la función del factor zoom para refinar los resultados de la amplificación de 5 a 1 ó 10 a 1. Cuando se usan tales factores de amplificación, la altura de la marca flotante debe permanecer constante ya que con tales factores de acercamiento no es posible la visión estereoscópica.
 - d) Para registrar el punto presione el botón #1. el cursor se posicionará automáticamente sobre la función Record de la ventana de trabajo.
 - e) Presione el botón #10 la barra de espaciamiento para grabar las coordenadas del modelo del punto de control.
 - 5) Repita el mismo procedimiento para los demás puntos de control.
-

A partir del tercer cálculo el programa despliega, a la escala 1 a 1, en las ventanas correspondientes, las posiciones de las imágenes izquierda y derecha cerca de los puntos de control. Se va sobreponiendo un símbolo que muestra la posición de cada punto registrado. Para activarlo o desactivarlo presione <F6> o el botón #4.

- 6) Seleccione la función Compute de la ventana #3 para calcular la orientación absoluta y obtener los residuales. Los resultados actualizarán el contenido de las ventanas #3 y #4.

Para obtener residuales es necesario grabar al menos tres puntos con coordenadas conocidas xy y cuatro puntos de coordenadas Z conocidas.

Interpretación de los resultados: *los valores residuales no deberán exceder de 0.5 de píxel en X y Y; para el caso de Z no deberán ser mayores de 1 píxel.*

- 7) Para realizar las correcciones:
 - a) Seleccione y rechace los puntos cuyos valores estén fuera de tolerancia.
 - b) Aplique el procedimiento señalado en los pasos 4 a 5.
 - c) Una vez terminado aplique la función Compute nuevamente.
- 8) Seleccione la función Save del menú de la ventana #3 para salvar los resultados en un archivo nombre del archivo. DA T.
- 9) Una vez que la orientación absoluta ha sido terminada seleccione la función Quit del menú de la ventana #3 para regresar el menú principal de la orientación absoluta.
- 10) El indicador A de la bandera IRA se resaltará para indicar que la orientación absoluta esta terminada.

Orientación absoluta usando sobreposición.

En ocasiones habrá la necesidad de realizar la *orientación absoluta* en base a un mapa que este en formato digital compatible con el formato del DVP, el cual se despliega en una ventana. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando efectúa la actualización de dicho mapa.

Procedimiento.

- 1) Los pasos iniciales 1,2 y 3 son los mismos que en procedimiento para orientar en base a puntos de control terrestre.
- 2) Seleccione la función Supr.
- 3) Seleccione la función X y Z para seleccionar el archivo que se usará.
- 4) Una vez desplegado, se deberá seleccionar el área a trabaja, la cual deberá corresponder con la del modelo estereoscópico.

Tomando en consideración lo mencionado acerca de que se deben de leer por lo menos tres y cuatro puntos con coordenadas conocidas en xy y Z , respectivamente, se buscará que estos queden distribuidos uniformemente.

- a) Presionamos el botón "1" para seleccionar el elemento gráfico; aparece un pequeño triángulo en la posición donde se leyó en el modelo estereoscópico y un pequeño cuadrado en la otra esquina.
 - b) Seleccionemos el tipo de elemento. c) Seleccionemos el tipo de valor XY , ya que estamos usando un mapa de dos dimensiones.
- 5) Introducimos el número de punto y anotamos en hoja separada el valor de la cota correspondiente.
 - 6) Transferimos el control a las imágenes con la tecla Esc o con el botón #3 del cursor.
 - a) Leemos el mismo punto en el modelo estéreo.
 - 7) Repetimos el proceso de los pasos 4.1 a 5 para todos los puntos que vayamos a usar.
 - 8) Editamos el archivo GND para agregarles las coordenadas Z a cada uno de los puntos.
 - 9) Seleccionamos la función Compute para calcular los residuales.
 - 10) Una forma visual de verificar la calidad de nuestra orientación es desplegando el archivo de vectores sobre el modelo estereoscópico usando las teclas <F12> o <Alt>+<F12>
 - 11) Efectuamos las correcciones necesarias.

Salvamos y salimos para continuar con otro proceso

DVRO.

Programa para realizar la resección espacial, es decir, la orientación de fotografías aéreas. Determina en principio

La posición y la orientación en el espacio de una fotografía. La resección espacial se usa generalmente en conjunción con un *Modelo Digital de Elevación (MDE)* para la producción de ortoimágenes.

Usa una ecuación de colinearidad para efectuar la resección espacial. Las seis incógnitas son: la posición de la cámara al momento de la exposición (X_0, Y_0, Z_0) y su orientación (m, p, K). Para orientar una imagen deben leerse al menos tres puntos de control terrestre con coordenadas conocidas (X_1, Y_1, Z_1), seleccionándolas de tal manera que cubran la mayor área posible de la fotografía. Sin embargo, se recomienda usar el mayor número posible de puntos de control (cinco más), para logra la mayor exactitud posible en los parámetros de orientación exterior.

El programa es iterativo, ajuste de mínimos cuadrados, y ciertos valores son calculados por el programa en tanto que otros deben ser introducidos por el operador. En concreto, se

estima a priori, la posición y la orientación de la cámara a partir de los puntos de control y la escala de la foto. Se asigna un factor de ponderación predeterminado. Basados en la suposición de que la posición de los puntos de control es medida al píxel más cercano por el usuario, el programa toma la decisión del píxel como el nivel de precisión de las mediciones.

Una vez terminados los cálculos, el usuario puede analizar los resultados en función de la precisión requerida. La prueba estadística del factor de varianza proporciona los medios para evaluar la calidad de la orientación. Adicionalmente, la prueba confirma si el ajuste, usado para estimar los seis parámetros de orientación, trabajó adecuadamente. En caso de obtenerse resultados insatisfactorios, se puede inferir la existencia de errores gruesos o que se está usando el programa fuera de las normas de la Fotogrametría; la exactitud de los ajustes es función de varios factores:

- ❖ Resolución de barrido.
- ❖ Exactitud de los puntos de control.
- ❖ Ubicación de los puntos de control.
- ❖ Posición de los puntos de control en la imagen.

Procedimiento.

- 1) Iniciar el programa *D VP*.
- 2) Introducir el nombre del directorio de trabajo.
- 3) Selección *ModelName* y teclear el nombre del mismo.

Orientación interior.

- 4) Seleccionar *DVRO*.
 - 5) *Introducir el nombre y ruta del archivo de la imagen.*
 - 6) Introducir, si se desea, una descripción breve de 68 caracteres como máximo. Presione la tecla *Intro* en caso contrario.
 - 7) Introducir, si se usó, el directorio y el nombre de escáner del archivo de la tabla de corrección y presionar la tecla *Intro*. Se puede usar la tecla *** como comodín o las teclas de flechas para buscar el archivo correcto. Presione la tecla *Intro* en caso contrario.
 - a) Se desplegará la primera línea de la primera tabla en la línea de diálogo; el usuario puede moverse dentro del archivo con la ayuda de las teclas de flechas hasta localizar la tabla deseada. Presione la tecla *Intro* para seleccionar.
 - 8) Seleccione la función *pReparation* dentro del menú principal.
 - 9) Seleccione la función *Orientation*.
-

10) Seleccione Interior. El programa despliega cinco ventanas en la *zona 1* del monitor.

- a) Seleccione File del menú de la *ventana #5*.
 - ❖ Introduzca el nombre del archivo de la cámara.
- b) Usando las coordenadas de la *ventana # 5*:
 - ❖ Coloque el cursor de la tableta sobre el valor de la distancia focal con el botón #1 para seleccionarlo; vuelva a presionarlo para transferir el valor a la *ventana #4*.
- c) Coloque el cursor sobre las coordenadas de una marca fiducial y presione el botón #1 para seleccionarla y para transferir los valores a la *ventana #3*.

La porción de la imagen correspondiente a las coordenadas seleccionadas se despliega automáticamente en la *ventana # 2* a la escala de la 1 y el cursor se ubica en la proximidad de la posición verdadera de la marca fiducial.

- ❖ Ponga el cursor sobre la marca fiducial lo más exactamente posible y presione el botón #1 del cursor. La imagen de la marca fiducial se desplegará en la *ventana #2* en una relación de 10 píxeles del monitor al de la imagen, con el cursor relativamente cerca de la marca fiducial.
 - ❖ Apunte exactamente a la marca fiducial y presione el botón #.1. Se grabarán las coordenadas y se desplegarán en la *ventana #3*, en la línea correspondiente a los valores calibrados.
- d) Repita el procedimiento para cada una de las marcas fiduciales.
 - e) Seleccione la función Compute del menú de la *ventana #3*. Se desplegarán los residuales para cada coordenada en las líneas correspondientes.
 - f) Salve los resultados con la función Save.
 - g) Use la función Quite del menú de la *ventana #3*.

Resección espacial.

11) Seleccione la función Resection. El programa despliega cinco ventanas de trabajo en la *zona 1* del monitor.

- a) Seleccione File del menú de la *ventana #5*.
- b) Introduzca desde el teclado, el nombre del archivo del control terrestre. Se desplegará en la *ventana #5* o use la tecla * y una vez localizado el archivo, use Intro.
 - ❖ Posicione el cursor sobre las coordenadas de un punto de control para transferir sus coordenadas a la *ventana # 3*, correspondiente a la tabla de trabajo de la resección. En ésta se desplegarán las coordenadas en rojo.

- ❖ Ponga el cursor cerca de la ubicación del punto de control en la *ventana # 1*. La imagen se desplegará en la *ventana # 2* cerca de la ubicación del cursor en una relación de 1 píxel del monitor por 1 de la Imagen.
 - ❖ Ponga el cursor lo más cerca del punto de control en la *ventana # 2* y presione el botón #.1. la imagen se despliega en una relación 2: 1. con los botones #2 y #3 podrá hacer acercamientos o alejamientos.
 - ❖ Ubique el punto de control lo más exactamente posible y presione el botón #.1. Se graban las coordenadas del punto, en coordenadas de imagen y de foto, y se despliegan en la *ventana #3* en la misma línea de coordenadas de tierra. En la base de la *zona #2*, el factor de ampliación se indica bajo $S=$ (*escala*). Cuando se han grabado más de dos puntos, el cursor se situará en las proximidades del siguiente punto de control.
- c) Repita el procedimiento hasta leer todos los puntos de control terrestre. El agregar o borrar puntos desde la ventana de trabajo no afecta el archivo de puntos de control, en caso de ser usado.
- 12) Seleccione la función Compute del menú de la *ventana #3* el programa solicita el error estándar de la imagen.
- a) Presione Esc para borrar el valor determinado (en milímetros, que representan la dimensión del píxel de la imagen) e introduzca el nuevo valor. Presione después Intro. .
 - b) El programa el error estándar de los puntos de control, el cual debe ser conocido por el usuario,
 - c) Presione Esc para borrar el valor predeterminado o el último valor introducido e introduzca el nuevo valor. Presione después Intro. Si los cálculos de la resección espacial se hicieron bien, la prueba estadística en el factor de varianza deberá decir PASSED, de lo contrario dirá FAILED, en cuyo caso el usuario deberá verificar:
 - ❖ Si los puntos de control estuvieron bien identificados y leídos.
 - ❖ Si era realista el error estándar de los puntos de control terrestre.
 - ❖ Si el error estándar de las coordenadas de imagen era realista. Igualmente, el usuario podrá juzgar la calidad de los resultados observando la exactitud de las coordenadas de los puntos perspectivas y los ángulos de orientación de la cámara. Cuando se tienen resultados insatisfactorios, puede usar las funciones Add, Reject, Erase o Accept en la ventana de trabajo hasta obtener resultados satisfactorios.
 - d) d) Una vez obtenidos resultados aceptables, use Save del menú de la *venta #3*.
 - e) Seleccione Quite. Se desplegará el menú principal de orientación.
 - f) Seleccione Menú. Se desplegará el menú Shunting.

DVPR.

El software *DVR-3* produce una ortoimagen a partir de una colección de puntos en el terreno, un *Modelo Digital de Elevación, M DE*, y una imagen orientada con *DVPO*, si son modelos estéreo, o con *DVRO*, si solo se trabaja con una imagen. El *MDE* puede ser obtenido con *DVPN* o a partir de un archivo externo de formato *ASCII*.

Se emplea la técnica de la rectificación diferencial para elaborar la ortoimagen, es decir, para transformar la proyección central en una ortogonal. La rectificación se hace en base a pequeños triángulos derivados del *M DE, TIN*; que es una red de triángulos generados automáticamente mediante el algoritmo de Delaunay; los triángulos son equiláteros tanto como sea posible.

Procedimiento.

- 1) Iniciar el programa *DVP*.
- 2) Introducir el nombre de directorio de trabajo.
- 3) Seleccionar la función *ModelName* y teclear el nombre del mismo.
- 4) Seleccione la función *TIN*. Se despliega el menú principal del programa *TIN*.

Elaboración de TIN.

- 5) En la función *TIN* :
 - a) Introduzca el nombre del archivo de los elementos a cargar, que puede ser un archivo *ASCII* o un archivo *.XYZ*.

Se despliega el conjunto de puntos del *MDE* especificado para la creación del *TIN*, así como el número de puntos grabados en la caja de dialogo.

Si se encuentra un archivo *ASCII*, se deberá teclear tanto el nombre como la extensión del mismo.

- b) A continuación se debe especificar la región que deberá conservarse de los puntos del *M DE* para la generación del *TIN*; ya que esta región se usara para la creación de la ortoimagen, es importante proporcionar la región correspondiente.
 - c) El programa solicita el nombre del archivo. *TGL* en donde se salvara en *TIN*.

A continuación el programa calcula el perímetro y forma el *TIN* con relación a los puntos seleccionados. Después de salvar el programa regresa automáticamente al menú principal.

- d) En este momento el progr le permite agregar líneas de quiebre al archivo *.TGL*. El programa le pregunta por el nombre del archivo *.TGL* que con tenga el *TIN* calculado y al que desea adicionar dichas líneas.
 - e) A continuación pregunta por el nombre del archivo que contiene las líneas de quiebre en formato *DVP* o *ASCII*.

- f) Después de los cálculos el programa automáticamente salva el archivo TIN y regresa al menú de TIN.
- 6) Seleccione el Menú para regresar al menú de preparación.
- 7) Seleccione la función Rectification.
- a) El programa solicita el nombre del archivo .TGL a cargar.
Introduzca el nombre del archivo donde se salvo el TIN.
- b) El programa solicita el nombre del modelo a rectificar. Introdúzcalo.
- c) El programa solicita el nombre de la imagen usada. Cuando la ortoimagen se crea a partir de una sola imagen, se debe usar la izquierda. Seleccione con el botón #1 del cursor Left o Right o teclee R o L.
- d) A continuación se despliega el nombre de la imagen que se usa como fuente así como el nombre propuesto para la imagen rectificadas.
- e) Enseguida se especifica el tipo de remuestreo que se va a aplicar:
- ❖ Vecino más próximo.
 - ❖ Interpolación bilineal.
 - ❖ Convolución cúbica.
- f) El programa pide que se especifique la zona de puntos a conservar para la rectificación.
- g) A continuación se especifica la escala. Esta se expresa en unidades terrestres por píxel y es una función de la escala de graficación o de representación de la ortoimagen.
- h) En seguida se debe decidir si la rectificación será en lote o directamente.

Durante la rectificación el programa muestra en la esquina superior izquierda el TIN y las celdas de rectificación y en la derecha la celda bajo proceso. Durante el proceso muestra el proceso transcurrido.
- 8) Una vez terminado el proceso, el software despliega en la parte central superior la imagen rectificadas; hasta que el usuario toque una tecla, se regresa al menú de preparación.

Mosaico.

Permite la agrupación dentro de un mismo archivo de los archivos de las imágenes rectificadas.

Procedimiento.

Existen dos maneras para iniciar el software de mosaicos:

- 1) Estando en el directorio de *DVP* en la ruta de *DOS* y el directorio actual, el directorio de trabajo, teclear *MOS3* y presionar la tecla *Intro*.
- 2) O seleccione la función Útil en el menú director (*Shunting Menú*).
- 3) Seleccione la función *Mosaic?*
- 4) A la pregunta *Mosaic?* , introduzca el nombre del mosaico resultante sin extensión y presione la tecla *Intro*.
- 5) Definir si se desea poner límites al mosaico resultante (rectangular). Si la respuesta es sí:
 - ❖ Introduzca las coordenadas de la esquina inferior izquierda.
 - ❖ Introduzca las coordenadas de la esquina superior derecha.
- 6) A continuación o si es que se decidió no introducir límites regulares al mosaico, se solicitan los nombres de los archivos de las imágenes rectificadas.

Se introduce cada uno de los archivos de las imágenes rectificadas sin extensión. Una vez que se ha introducido el último presione una vez más la tecla *Intro*.

Rectángulos de color muestran, a escala, la posición de cada archivo dentro del mosaico.

- 7) Se tecléa *Ya* la pregunta de iniciar el ensamblado: *Start assembling (Y/N)?* para crear el archivo requerido para vectorización.

8) DVP- TRI.

El *D VP -TRI* permite realizar aerotriangulación de manera digital en su totalidad. Independientemente de lo anterior, ésta puede hacerse en *pugs* sean analógicos o digitales y es posible seleccionar un *pug* mecánico.

Esta versión requiere:

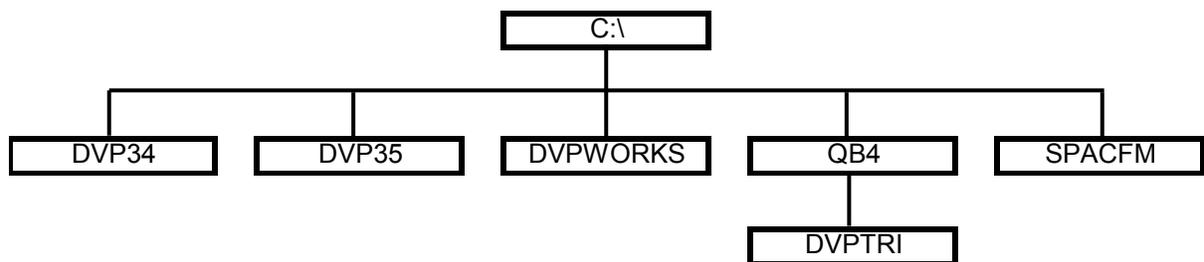
- 1) Realizar la orientación interior dentro de la versión 3.5 de *DVP--MP*, para de esta manera poder usar los archivos *_CAM* e *_INFO*, que corresponde a los archivos de calibración de la cámara; se puede asimismo usar el módulo *DVPS* para emplear la calibración del escáner.

Esta actividad puede realizarse dentro de *DVP-TRI* pero no es posible usar el archivo de la cámara ni el archivo que incluye las deformaciones del escáner.

- 2) La orientación relativa y la triangulación se efectúan en el módulo DVP-TRI.
- 3) Para el ajuste se usara Spacem.
- 4) Finalmente y previo a la vectorización se deberá usar la versión 3.4 del módulo DVP-MP para realizar los cálculos pertinentes a la orientación relativa y absoluta y contar, así, con los archivos requeridos para este propósito.

Esta versión permite trabajar con puntos picados mediante transferidores de puntos mecánicos, tipo *PUG*, o usando puntos digitales, virtuales; esta posibilidad representa ahorros de tiempo y costo. Aunque requieren un mayor cuidado y planeación en la etapa de preparación.

Dadas sus características. Todos los modelos a trabajar serán establecidos en el directorio *DVPWORKS*; la organización de los directorios y subdirectorios es de la siguiente manera:



El DVP, es un ejemplo de la Fotogrametría que hay en la actualidad, como se ve, predomina el uso de computadoras, es decir, el DVP no es más que un conjunto de programas los cuales realizan cada uno de los procedimientos fotogramétricos para la restitución que sustituyen a los equipos analógicos u óptico-mecánicos, siendo el escáner una herramienta importantísima ya que es por medio de este que nosotros introducimos la principal fuente de información, las fotografías aéreas.

Aunque en la actualidad ya se cuenta con cámaras aéreas digitales, todavía su uso no es muy difundido, aunque muchos de estas cámaras ahorran trabajo en el procedimiento de restitución, ya que muchas de ellas integran software que durante el proceso de la toma van corrigiendo el paralaje conforme avanza el avión entre toma y toma, y si agregamos el uso del GPS abordo del avión y con estaciones GPS fijas en puntos de control, elimina muchos de los

pasos anteriormente descritos ya que prácticamente al bajar del avión ya se lleva un 60% del trabajo hecho; pero el costo de estos equipos es lo que hace que sus usos se limiten.

3.6 SOFTWARE.

Este capítulo trata del software que de manera general se utiliza en complemento con la restitución, en el apoyo terrestre, y después de la restitución, cuando ya tenemos las ortofotos u ortoimágenes con curvas de nivel, para proyectar sobre ellas una determinada obra civil en el caso claro, de la ingeniería civil.

En la realización de un proyecto es primordial la planeación para ello contamos con el software de Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) Un sistema de información geográfica es una herramienta computacional para el mapeo y el análisis de los elementos y eventos que ocurren en la tierra. La tecnología GIS integra operaciones comunes de bases de datos, tales como consultas y análisis estadísticos, con los beneficios propios de la visualización y el análisis geográfico que ofrecen las cartografías.

Estas capacidades distinguen los GIS de otros sistemas de información y lo hacen más valiosos para empresas públicas y privadas de diversa índole para explicar eventos, predecir salidas y en la planificación de estrategias.

Los principales desafíos que enfrenta el mundo actualmente es la sobrepoblación, la contaminación, la deforestación y los desastres naturales y todos ellos poseen una dimensión geográfica crítica. Ya sea que se esté buscando el mejor suelo para cultivo o se esté determinando la mejor ruta para una carretera, una línea de conducción, o el área para el vaso de una presa, los problemas locales también tienen un componente geográfico. Es por ello de la importancia de los GIS en los proyectos de ingeniería civil.

Junto con el GIS, tenemos los programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés), los cuales son programas que sustituyen al restirador, escuadras, reglas, lápices, estilógrafos, etc., son un sistema automatizado para el diseño, dibujo, despliegue, edición y construcción geométrica de objetos gráficos. Este tipo de sistema no está diseñado para el análisis geográfico, por lo cual se requiere un modelo de datos extendido para proveer una base de datos espacial geográficamente referenciada sobre la cual las operaciones de un SIG puedan ser ejecutadas. Los CAD son utilizados en el apoyo terrestre, en el trazo del anteproyecto y proyecto final.

Los software CAD están estandarizados, es decir, son compatibles con las estaciones fotogramétricas digitales, manejando extensiones como *DXF*, *DWS*, *ASCII*; entre otros.

Tanto los GIS como los CAD almacena la información en capas que pueden enlazarse. Este concepto simple pero extremadamente poderoso y versátil ha probado ser crítico en la resolución de muchos problemas, registrando los detalles de la aplicación de planificación hasta el modelamiento de la circulación atmosférica global (en el caso del GIS).

En el caso de los CAD, las capas contienen puntos coordenados, líneas, ángulos, etc., que son los componentes gráficos con el que representamos al proyecto, estos datos son obtenidos en el terreno, y que en pantalla se orientan con un sistema coordenado ya sea cartográfico (UTM), geográfico (latitud, longitud), o uno personalizado que el mismo software permite establecer.

Las capas de los GIS almacenan información temática que se ligan geográficamente. La información geográfica contiene una referencia geográfica explícita tal como la latitud y la longitud, coordenadas nacionales o una referencia implícita tal como una dirección, un

código postal, el nombre de un área censal, el identificador de un área boscosa o el nombre de un camino. Ver figura 74.

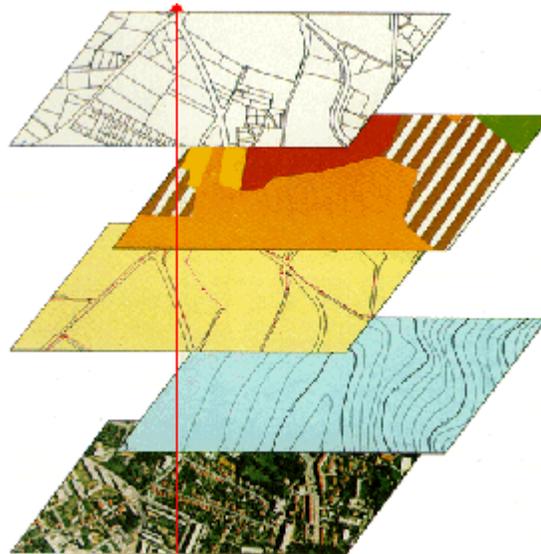


Figura 74.

Para crear referencias geográficas explícitas (múltiples ubicaciones) a partir de referencias implícitas (descripciones tales como direcciones) se utiliza un proceso automatizado llamado geocodificación. Estas referencias geográficas permiten localizar elementos en la superficie terrestre para ser analizados, por ejemplo, bosques o eventos tales como un terremoto.

Tanto los GIS como los CAD trabajan con dos tipos fundamentales de modelos, el "*modelo vector*" y el "*modelo raster*".

En el *modelo vector*, la información de puntos, líneas y polígonos es codificada y almacenada como una colección de coordenadas (x,y). La ubicación de un elemento punto puede ser descrito como una *simple* coordenada (x, y). Los elementos lineales tales como caminos y ríos pueden ser almacenados como una colección de coordenadas de puntos. Los elementos poligonales, por ejemplo territorios de venta o cuencas de ríos, pueden guardarse como loops cerrados de las coordenadas. El modelo vectorial es extremadamente útil para describir elementos discretos, pero no lo es tanto para describir elementos de variabilidad continua como los tipos de suelos o el costo de accesibilidad de un hospital.

El *modelo raster* ha evolucionado para modelar elementos continuos. Una imagen *raster* está integrada por una colección de celdas (grillas) más bien como una cartografía o una ortoimagen importada. Tanto los modelos raster como los vectoriales poseen ventajas y desventajas propias para el almacenamiento de datos geográficos. Los GIS y CAD modernos tienen la capacidad de manejar ambos modelos.

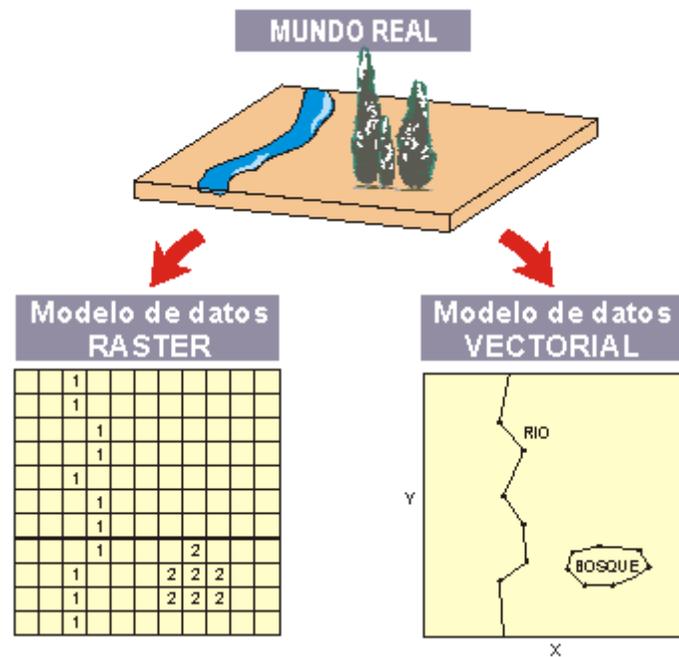


Figura 75. Modelo raster y modelo vector de la realidad.

En los GIS, la información es netamente geográfica la cual nos ayudara para planear el proyecto; antes de que se puedan utilizar los datos geográficos en un GIS, los datos deben convertirse al formato digital apropiado. El proceso de conversión de los datos de una cartografía (formato análogo) a archivos computarizados es denominado digitalización.

La tecnología moderna puede automatizar completamente este proceso utilizando el escaneo, los trabajos más pequeños pueden requerir digitalización manual (utilizando una mesa de digitalización). Hoy existen muchos proveedores que ofrecen datos geográficos en formatos compatibles con los GIS, como el INEGI, y al adquirirlos se pueden cargar directamente en el GIS.

En el caso de los CAD, la información que necesitamos es la ortoimagen obtenida en la restitución en la que nos basaremos para proyectar.

Los sistemas CAD evolucionaron para crear diseños y planes de construcción e infraestructuras. Esta actividad requiere, que para crear la estructura completa se ensamblen componentes de características fijas. En ellos se encuentran herramientas que nos sirven para manipular coordenadas, ángulos, líneas y demás elementos gráficos con los que dibujaremos el proyecto. Estos sistemas requieren escasas reglas de especificación de ensamble de componentes y tiene capacidades analíticas muy limitadas. Los sistemas CAD han sido extendidos para soportar mapas pero por lo general poseen poca utilidad en el manejo y análisis de las bases de datos geográficas de gran tamaño que en realidad es la gran diferencia entre los CAD y los GIS, por ejemplo, los CAD presentan la integración de diferentes capas de datos en su forma más simple, este podría ser una operación visual, pero las operaciones analíticas requieren que se unan físicamente una o

más capas de datos, esta unión espacial puede integrar información de suelos, pendientes, vegetación entre otros.

Mientras que en los sistemas GIS aparte de la integración de estas capas se pueden agregar otras capas donde se tienen, el uso de suelo, la tenencia de la tierra o una evaluación de impuestos.

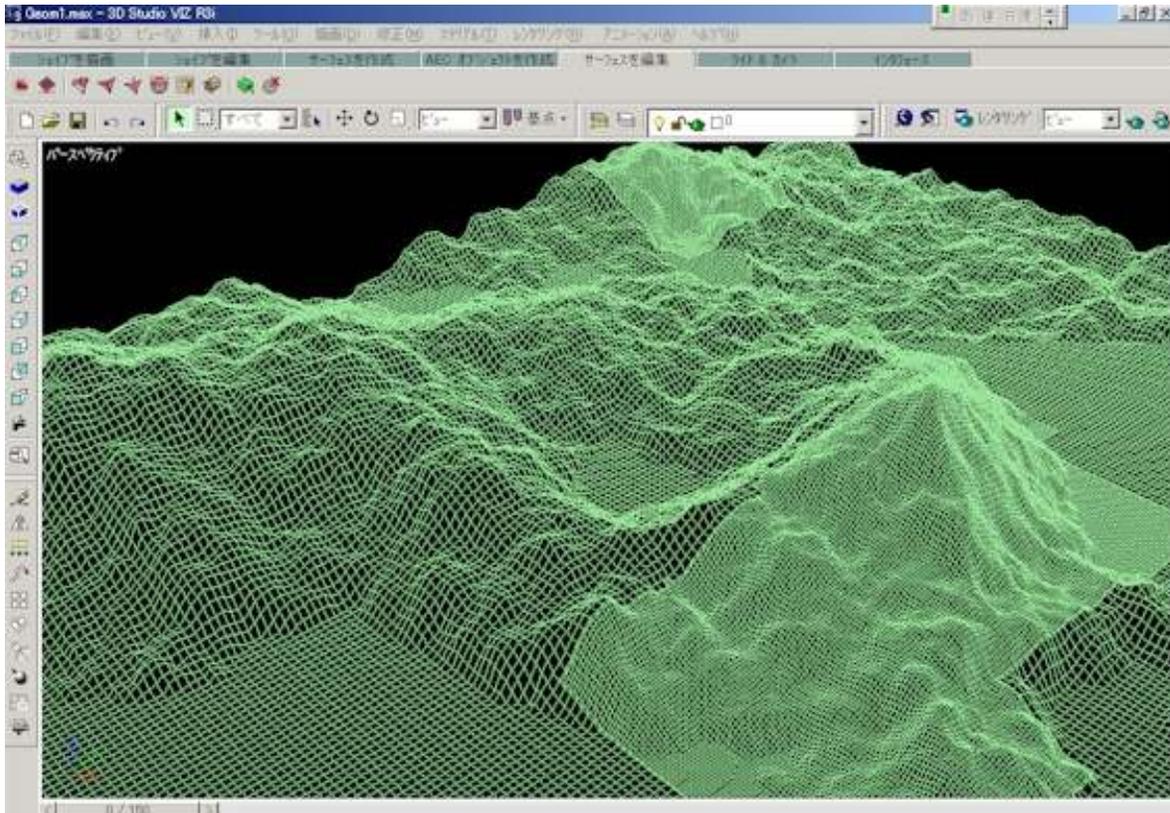


Figura 76. Estructura CAD

Los GIS son muy propicios en lo que se refiere a captura, ingreso, almacenamiento, transformación, análisis y despliegue (salida) de datos geográficos del mundo real para propósitos específicos siendo considerados en la actualidad como sistemas de base de datos capaces de manipular información geográfica. (Ver Figura). El ingreso de datos a un GIS incluye imágenes de satélite, fotografías aéreas, vectores topológicos, datos de terreno y muchos otros tipos más de datos. Hoy en día, el mejor software de Sistemas de Información Geográfica están diseñados con el objetivo de integrar esta amplia gama de datos espaciales, permitiendo al usuario el acceso a toda la información necesaria para efectuar en forma rápida, precisa y eficiente su trabajo.

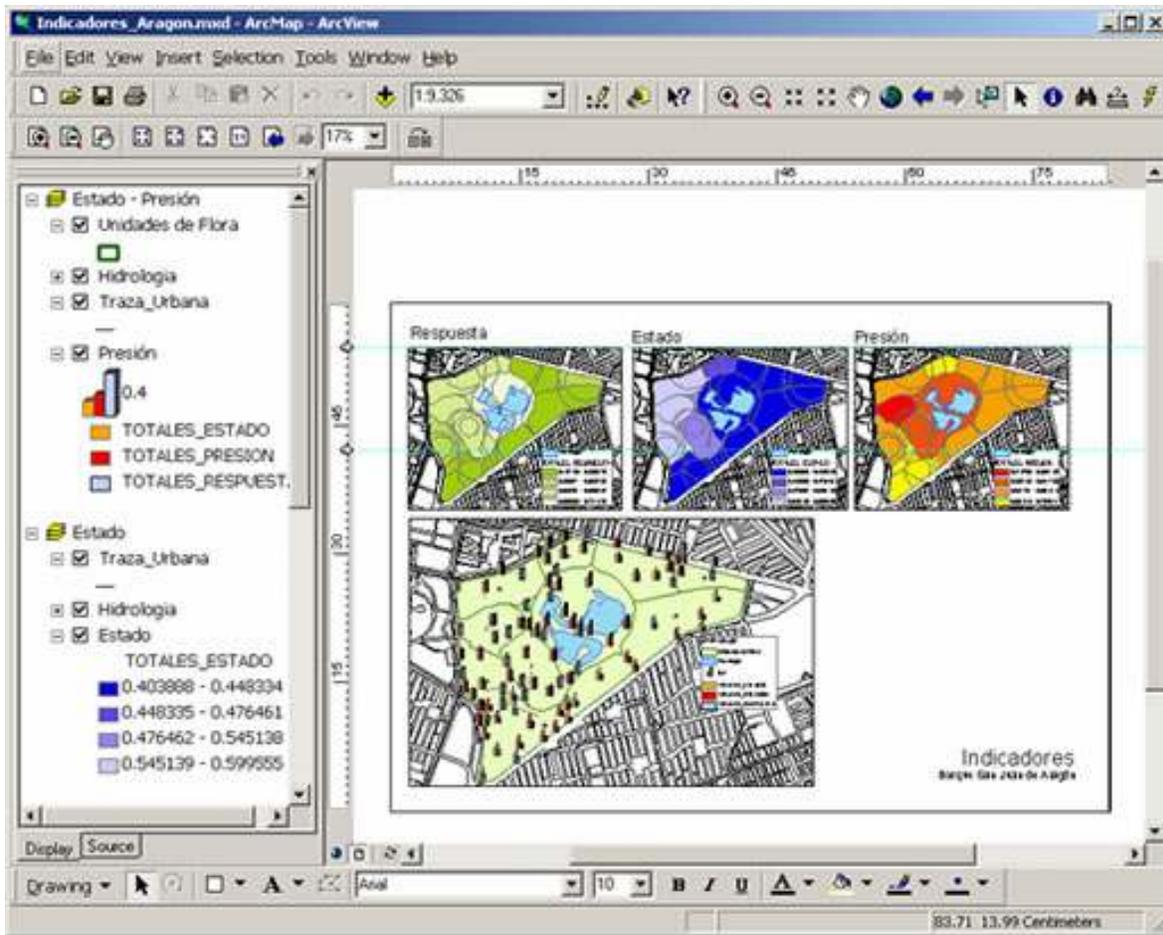


Figura 77. Estructura GIS.

En resumen requerimos de los GIS para planear y en la toma de decisiones, las cuales influirán en la planificación de los recursos, impacto ambiental y alcance social que nuestra obra alcanzara; y de los CAD para trabajar propiamente en el diseño del anteproyecto y en el proyecto final de nuestra obra, todo esto basados en la información que la Fotogrametría nos proporciona a través de las ortofotos, ortoplanos u ortoimagénes.

Podríamos mencionar una variedad de programas CAD y GIS, sin embargo solo mencionaremos los más conocidos por su gran funcionalidad, por ejemplo entre los CAD más conocidos y usados se encuentra el AutoCAD, que es una plataforma general de dibujo, pero que cuenta con complementos que nos ayudan a trabajar con ortofotos y con los datos obtenidos con la estación total y el GPS, como el CivilCAD, el Map, el Land Desktop, entre otros tantos, estos programas se venden por separado debido a que como ya mencionamos AutoCAD, es una plataforma de dibujo general, es decir, es utilizada por diferentes especialidades.

Entre los GIS más utilizados se encuentran el ERDAS y el Arc/info., que a su vez estos programas se dividen indiferentes módulos que proporcionan diferentes herramientas para un nivel de funcionalidad apropiado para cada trabajo.

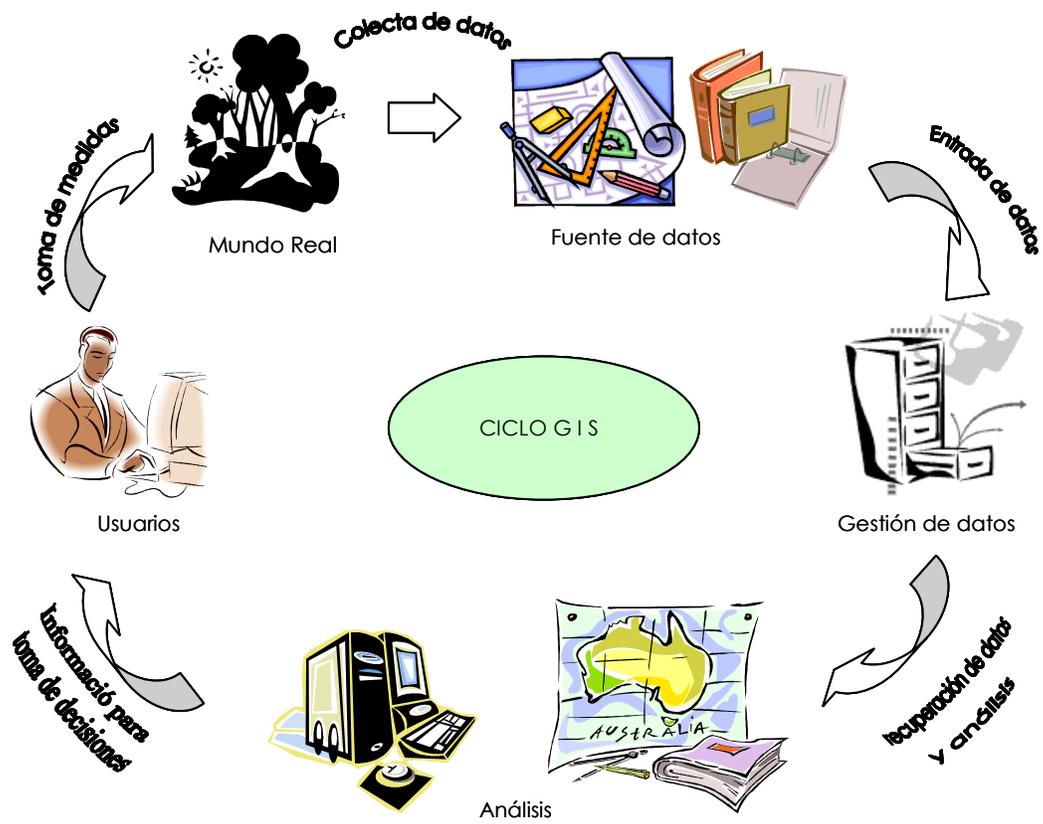


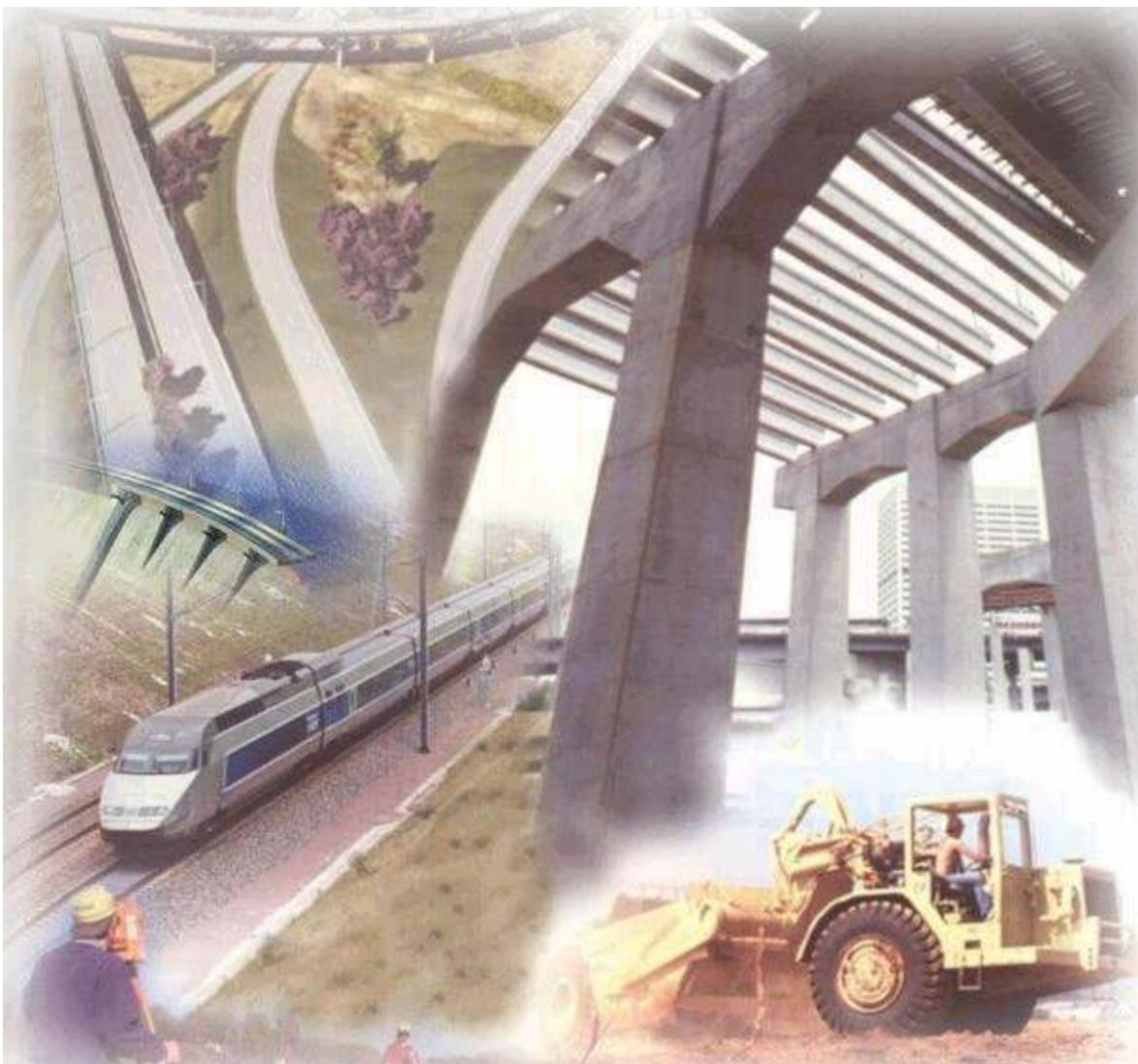
Figura 78. Ciclo de un sistema de información geográfica. (Aronoff 1989).

Bibliografía:

- **T. CABALLERO AQUINO 1978 FOTOGRAMETRIA EDIT. ESTUDIOS Y PROYECTOS MÉXICO PAGES. 63 A 97.**
- **TRIMBLE, 2001, 5700 GPS RECEIVER, EDIT TRIMBLE EUA, PAGES. 36 A 87.**
- **GEODIMETER 1998 GEODIMETER SYSTEM CONSTRUCTOR EDIT. GEOTRONICS AB SUECIA, PAGES 1.1.6 A 1.2.14.**
- **LEICA 1998 ESTACION DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL EDIT. LEICA "AG" SUIZA PAGES. 86 A 113.**

CAPÍTULO 4: LA FOTOGRAMETRÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL.

Objetivo: ubicar la Fotogrametría en la Ingeniería Civil y comprender la importancia del uso de las nuevas tecnologías en este campo.



4.1 LA FOTOGRAMETRÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL.

A lo largo del desarrollo de esta tesis hemos descrito la historia y desarrollo de la Fotogrametría, explicamos los conceptos principales de esta ciencia, describimos también sus métodos tanto analógicos como digitales, hablamos de los trabajos extras que complementan el trabajo fotogramétrico, como el apoyo terrestre, así como el presente y la tendencia de esta ciencia a futuro, todo esto para lograr la restitución de un conjunto de fotografías aéreas de un determinado lugar en estudio, para poder obtener información de ellas que nos sirvan para vislumbrar un objetivo.

El objetivo de este capítulo es ubicar el uso de la Fotogrametría en la Ingeniería Civil, es decir, por que debe usarla, en que puede un ingeniero civil hacer uso de la Fotogrametría y la importancia de mantenerse actualizado, no solo en esta ciencia, sino en general con las nuevas técnicas y tecnologías para el desarrollo de la ingeniería civil.

Recién que comienza uno como alumno a estudiar la carrera de Ingeniería Civil, se nos dice cual es el objetivo de esta, el de planear, proyectar y construir estructuras diversas que sirvan para el desarrollo de un país, en todas y cada una de las actividades que intervienen en dicho desarrollo, transformando los recursos con los que cuenta un país para ello.

En los tiempos actuales la percepción de nuestro mundo y sus habitantes, esta cambiando radicalmente por lo que la planeación y administración de dichos recursos es de vital importancia.

La información que proporciona la Fotogrametría, forma parte del conjunto de herramientas que permiten dicha planeación y administración, en el caso del ingeniero civil en la toma de decisiones en el momento de planear y proyectar dichas estructuras, claro tomando en cuenta una amplia gama de factores tales como conflictos en el uso potencial del suelo, medidas de protección del medio ambiente, evaluación de impacto ambiental, etc.

Estructuras.

Carreteras, presas, líneas de transmisión (corriente eléctrica, telecomunicaciones, etc.), líneas de conducción (gasoductos, oleoductos, agua potable y alcantarillado, etc.), edificios, puentes, túneles, puertos, aeropuertos, entre otros, son algunas de las estructuras que un país requiere para su desarrollo y en las que el ingeniero civil participa, la Fotogrametría, en su justa dimensión, proporciona la información que requerimos para planear y proyectar este tipo de estructuras. Por ejemplo, hablemos de la planeación y proyección de un gasoducto, claro de una forma simple pero concisa ya que este sería un tema para una tesis si lo tratáramos de una forma más precisa, que en estos momentos se encuentra en su fase de construcción, el proyecto consta de tres fases, la primera es de un gasoducto de 48" de diámetro y parte de la Laguna de Tamiahua en Naranjos Veracruz, donde se encuentra el yacimiento de gas natural, y concluye en Tamazunchale San Luis Potosí, donde se construirá una termoeléctrica que en si es la segunda fase, y es ahí donde se aprovechara el gas para la generación de corriente eléctrica, el gas excedente se mandara ala estación reguladora de Palmillas Querétaro (cercas de la caseta de cobro de Palmillas), a través de un gasoducto de 42" de diámetro que forma la tercera fase.

Para la planeación y proyección se contó con diferentes cartas topográficas, fotografías aéreas y ortofotos con curvas de nivel además de varias brigadas compuestas por topógrafos, geólogos e ingenieros civiles con diferentes especialidades como vías terrestres y geotecnia.

En las cartas topográficas, como primer panorama, se planeo un primer trazo desde el yacimiento hasta el lugar donde se construirá la termoeléctrica, y de ahí a la estación reguladora en Palmillas, dicho trazo se fue corrigiendo con reconocimientos aéreos con vuelos en helicóptero y/o avioneta, con la fotointerpretación de las fotografías aéreas y con las brigadas en recorridos en sitios que planteaban problema o dudas con respecto a topografía, orografía, hidrografía, etc., que con ayuda de los equipos ya mencionados como la estación total, GPS, desde navegadores hasta geodésicos de gran precisión recopilaron la información necesaria para lograr las ortofotos con las que se proyectó.

Una vez recopilado la información necesaria en la planeación se prosigue a proyectar sobre las ortofotos, claro siguiendo con todas las normas que involucra la construcción de un gasoducto como el tipo de materiales a utilizar, procesos constructivos, normas ambientales, etc., así como los netamente dependientes de la geometría del terreno (línea apelo de tierra, trazo y unión de tangentes, cadenamiento de línea, perfiles, etc.), y que gracias a la fidelidad del terreno presentado en las ortofotos las cuales han sido georeferenciadas en el geode WGS84 y con coordenadas UTM y que con la ayuda de los diferentes software, se pudo trazar sobre las ortofotos el gasoducto con sus respectivo derecho de vía, quiebres, pendientes, así

como la termo eléctrica y la llegada a la estación regulad ora proyectando sobre esta el equipo necesario que complementa la llegada del gas excedente, gracias al raster ya la vectorización.

Pero el trabajo fotogramétrico también se aplico en otras fases que complementa la construcción de este gasoducto como por ejemplo en la gestoría, es decir, la fase que se encarga de gestionar con las autoridades y con la gente que será afectada por la construcción del gasoducto, a través de las ortofotos, ya con el trazo del gasoducto en ellas, se checa por todas las comunidades por donde se proyecto el gasoducto y se evalúa a través de la fotointerpretación y la corroboración en sitio de vegetación, parcelas y estructuras como linderos de piedra o hileras de púas, corrales, etc., que serán afectados por la construcción para su posterior indemnización; también se utiliza para ubicar los diferentes caminos o terrecerías que hay para el acceso de la maquinaria al lugar donde se trazo el gasoducto, y en caso de no haber para la construcción de caminos de acceso.

Este es uno de tantos ejemplos en que la Fotogrametría auxilia al ingeniero civil, la cual podríamos aplicar para el trazo de una carretera, una línea de transmisión o para ayudar en el trazo de trazas urbanas para catastro o planeación de una red de agua potable, la planeación del área a inundar para el embalse de una presa o la colocación de diques, etc., la Fotogrametría al presentar fielmente el terreno fotografiado, una vez restituído, tiene muchas aplicaciones tanto en ingeniería civil como en otras actividades.

4.2. VENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRÍA ACTUAL.

La Fotogrametría es empleada en proyectos donde las practicas topográficas por si solas no bastarían, las fotografías aéreas abarcan en tiempo y espacio más información que la que abarcaríamos con las practicas convencionales de topografía, aquí empezamos a observar las ventajas de la Fotogrametría; la visión estereoscópica es otra ventaja que la Fotogrametría presenta, de aquí se deriva la fotointerpretación, a través de la cual podremos localizar, por ejemplo, bancos de materiales, calcular volúmenes de materiales, la geología del terreno, es decir, ubicar estructuras geológicas como fallas, pliegues entre otras que se puedan presentar en el terreno en estudio, así como tipo de vegetación, cuerpos de agua, edificios, entre otros, pero estas son ventajas de la Fotogrametría en general, ¿la Fotogrametría actual que ventajas presenta?

Digital.

Digital es la palabra, si, la Fotogrametría actual es digital, aunque la toma de fotografías aéreas es todavía con cámaras óptico-mecánicas, el proceso fotogramétrico se digitalizo, (recordemos que las cámaras digitales apenas comienzan y su tecnología es costosa lo que limita su uso), las fotografías aéreas se convierten en fotografías digitales al escanearlas, es aquí donde las ventajas de la Fotogrametría actual se comienzan a observar, ¿Por qué? Por que la imagen digitalizada se puede manipular en computadoras con software especializado con los que restituiremos a las imágenes aéreas, que en cierta forma es información digital, la cual no se dañara al manipularse Como lo harían las fotografías impresas, los cambios efectuados se aceptaran o no con simplemente pulsar una tecla, se podrá corregir errores o iterar procedimientos tantas veces sea necesario y al termino de los procedimientos fotogramétricos el resultado será también digital, el cual podremos almacenar, transportar y hacer copias de una manera más fácil también podremos ampliar o reducir una zona especifica, manejar con el mismo resultado varias escalas al plottear o imprimir planos e importar y exportar a diversos programas con los que trabajaremos al planear y proyectar una determinada obra civil.

La digitalización también alcanzo ala Topografía, la cual complementa ala Fotogrametría en el apoyo terrestre, la cual cambio los micrómetros por pantallas digitales, añadió a la óptica el láser, todos estos cambios influyeron en el diseño de los equipos, es decir, peso, tamaño, materiales de construcción que los hacen más resistentes al medio ambiente pudiendo incluso trabajar bajo lluvia, pero lo mejor de todos estos cambios fue la precisión que alcanzan, la cual llega a ser de 1 cm./Km., y que obviamente se refleja en ahorro de tiempo, y con el empleo de "nuevas" tecnologías como el GPS, se implementaron nuevos procedimientos topográficos en donde la georeferenciación es una de sus principales ventajas, abarcando también áreas mucho mayores que con la estación total y también con una mejor precisión, a demás su entorno digital los hacen compatibles con equipos de computo que con ayuda de programas específicos mejoran y facilitan el trabajo tanto topográfico como fotogramétrico y por ende el del ingeniero civil.

Comentamos que en los trabajos topográficos para el apoyo terrestre, se tiene que usar equipo de alta precisión, estos equipos ya muestran esta precisión, la cual se verá reflejada en la precisión que tendrán los trabajos fotogramétricos con los que nos apoyaremos para la planeación y proyección de obras civiles.

La digitalización también influyo en los equipos con los que actualmente se cuenta para almacenar la información, ahora contamos con chips encapsulados (memorias flash, SD Cards, Memory Stick, entre otras.) las cuales van desde 64 MB, hasta 1 GB, los discos

compactos (gravables y regrabables), los DVD's, etc., que obviamente tienen una gran capacidad de almacenamiento ya que la información digital derivada de procesos fotogramétricos digitales ocupan mucho espacio, pero son salvados sin dificultad en estos dispositivos que además, como ya comentamos, facilita el manejo y almacenamiento de la información.

Básicamente las ventajas que presenta la Fotogrametría actual es derivada del avance tecnológico de nuestros días, más específicamente los equipos computarizados y todo lo que se relacione con ellos, los cuales no son desarrollados pensando en una actividad específica, si no que se acoplan a las diferentes actividades que ayudan al desarrollo de un país, entre ellas la Fotogrametría y por su puesto la Ingeniería Civil.

4.3. DESVENTAJAS DE LA FOTOGAMETRÍA MODERNA EN MÉXICO.

Nuestro país atraviesa por diferentes problemas de carácter socio-económico, los cuales influyen en todas las diferentes actividades que ayudan en el desarrollo del país, entre estas actividades se encuentra la Ingeniería Civil.

Estos problemas de carácter económico impiden que se desarrolle tecnologías propias teniendo que importarlas de los países que si invierten en tecnología, lo cual las hacen muy costosas, ya que aparte del costo que implica su importación se deben tomar en cuenta la capacitación del personal que lo operara, debido a que son tecnologías extranjeras, que aunque todo se esta estandarizando debido a la globalización todavía hay detalles que afinar en estos equipos, además de los costos de actualización de los mismos, ya que al estar en entornos digitales, año tras año estos equipos se van mejorando, tanto el software como el hardware, la Fotogrametría se encuentra entre estas tecnologías que importamos, y debido a ello las ventajas de las que hablamos en el capítulo anterior irán disminuyendo o creciendo en función a estas actualizaciones.

México cuenta actualmente con diferentes tratados comerciales con diferentes países, dichos tratados ayudan a atenuar estos gastos de-importación y da entrada cada día a nuevas y variadas tecnologías menos costosas que complementan el trabajo tanto en la Ingeniería Civil como en la Fotogrametría, aunque lo ideal sería desarrollar tecnología propia. En nuestro país se cuenta con gran conocimiento de todas estas áreas pero es indudable que sin el apoyo de nuevas técnicas y tecnologías el país no podría ser competitivo.

La participación de las universidades es importante, tanto en el desarrollo como en la enseñanza de la Fotogrametría, en el programa de la carrera de Ingeniería Civil de la actual FES Acatlán lamentablemente ya no aparece la materia, en el antiguo plan de estudios aparecía como materia optativa para la pre-especialidad de Geotecnia, es decir va quedando relegada a solo comentarios de ella en las materias de Geología, Métodos Geofísicos de Exploración, Vías terrestres o Sistema carretero, Hidrología, Puertos, etc. Es triste, pero esperamos que esta tesis sirva un poco o mucho, para cambiar el punto de vista sobre esta ciencia y se le tome más en cuenta, claro en su justa dimensión, que solo en vanos comentarios.

Aunque la Fotogrametría es una ciencia aparte, debido a sus diferentes usos y aplicaciones, el ingeniero civil tiene la obligación de conocer y entender los conceptos

fundamentales de ella, aunque en su vida practica nunca llegue a participar en proyectos de gran magnitud en donde su utilización es parte integral del mismo.

Debido a que son pocas las obras de gran magnitud que se construyen en el país, la Fotogrametría que da relegada casi exclusivamente a uso cartográfico y en sistema GIS, siendo los principales usuarios el Ejercito Nacional y el INEGI, los cuales aportan la mayor cantidad de información con que se cuenta y en consecuencia son la principal fuente de información con la que el ingeniero civil cuenta para planear y proyectar las obras civiles a desarrollar, sin en cambio un estudio fotogramétrico específico del área a desarrollar es importantísimo para poder desarrollar este tipo de obras civiles, complementándola con la topografía de alta precisión.

En resumidas cuentas, las limitantes que se presentan en el país y que afectan ala Fotogrametría se resumen de la siguiente manera:

- ❖ Poca investigación enfocada a desarrollar tecnología propia.
- ❖ El poco peso que se le da a la Fotogrametría en la carrera de Ingeniería Civil en las universidades.
- ❖ La falta de inversión en obras publicas o privadas de gran magnitud que son importantes y necesarias para el desarrollo del país y en que la Fotogrametría participa de manera importante en la planeación y toma de decisiones.
- ❖ El costo de nuevas tecnologías y el mantenerse actualizados de las mismas, por obligación debido a la estandarización y globalización de ellas, y al compromiso de trabajar bajo normas certificadas de calidad debido a los diferentes tratados internacionales en donde nuestro país participa y forma parte de ellos.

4.4 EL FUTURO DE LA FOTOGRAMETRÍA EN MÉXICO.

El futuro de la "Fotogrametría en México estará marcado por las tendencias tecnológicas y la economía del país, como mencionamos la Fotogrametría moderna es digital, las fotografías convencionales están siendo sustituidas por imágenes digitales que en los próximos años (sino que meses) serán ya obtenidas por cámaras digitales especiales para tomas aéreas y poco a poco se usaran cada vez menos los escáneres fotogramétricos, los procesos fotogramétricos también van pasando de óptico-mecánicos a digitales a través de software, equipo de computo y juego de óptica; dentro de la percepción remota se cuenta ya con imágenes tomadas desde plataformas satelitales (LANDSAT-TM, SPOT, NOAA, RADARSAT, ERS-1, aviones con scanner multiespectral, y otros con funciones para la composición de mapas temáticos y ortofotos digitales), las cuales tienen diferentes usos como monitoreo e inventario de recursos naturales, clasificación del uso del suelo, mapeo de estructuras geológicas, mapeo de la vegetación y también la meteorología haciendo predicciones mediante el uso e interpretación de las imágenes satelitales, generalmente usadas por instituciones de gobierno y algunas empresas especializadas; es probable que las imágenes obtenidas a través de satélite sean las que provean de información en procesos de restitución desplazando alas imágenes digitales tomadas por las cámaras aéreas digitales, en estos momentos el costo del uso satelital es lo que limita su uso para trabajos fotogramétricos destinados a propósitos de obras civiles, recordemos que los satélites ya participan en el proceso fotogramétrico actual a través del GPS.



Figura 79. Cámara digital aérea ADS40 de alto desempeño de Leica



Figura 80. Sistema fotogramétrico digital Leica.

La incorporación de un receptor GPS a bordo del avión fotogramétrico, conectado a la cámara, es uno de los avances más importantes en materia de apoyo para los levamientos aerofotogramétricos, reduciendo en forma notable el apoyo terrestre. Es cierto que se requiere un receptor geodésico en la aeronave y también otro sobre un punto con coordenadas en el sistema de referencia utilizado. También es conveniente ubicar un segundo receptor terrestre para mejorar y garantizar la existencia de datos para el vínculo. Sin embargo el incremento de los costos se justifica con la disponibilidad de las tres coordenadas del punto focal de cada uno de los fotogramas.



Figura 81. Componentes de un sistema de percepción remota.

El uso de GPS, las cámaras aéreas digitales, el desarrollo de software cada vez más amigable y fácil de utilizar será el futuro próximo de la Fotogrametría, inclusive hay software geodésico y GIS como el Info que por si solo puede crear ortoimágenes claro sin llegar a ser tan fiables para proyectos de ingeniería civil como lo son las hechas en una estación fotogramétrica, que tienen la ventaja de ser creadas en una PC normal lo que repercute en costos, pero su uso esta limitado a la fotointerpretación, catastro y proyectos GIS entre otros.

El desarrollo de software CAD cada vez más completo es y seguirá siendo el complemento en Fotogrametría, Topografía e Ingeniería Civil para el desarrollo de diferentes proyectos en que estos participen en conjunto de ahí la importancia de este y del por que el ingeniero civil debe saberlos manejar y estar pendientes de sus actualizaciones, también requiere de conocer y entender de otros software como los GIS que le ayudaran junto con la Fotogrametría en la toma de decisiones, es decir, cada vez tomaran más importancia en proyectos de ingeniería civil. En general el futuro de la Fotogrametría dependerá del diseño de nuevos software, la actualización de otros, el avance el la tecnología en computación, la interrelación con otros software como el Geodésico y GIS, del avance de la tecnología GPS, en pocas palabras del avance científico y tecnológico en donde el ingeniero civil debe estar pendiente y participar en este apoyándose en las universidades y con la relación interdisciplinaria que dicho desarrollo tecnológico necesita.

Mexico City , Mexico
Geo Images
Created September 5, 2003

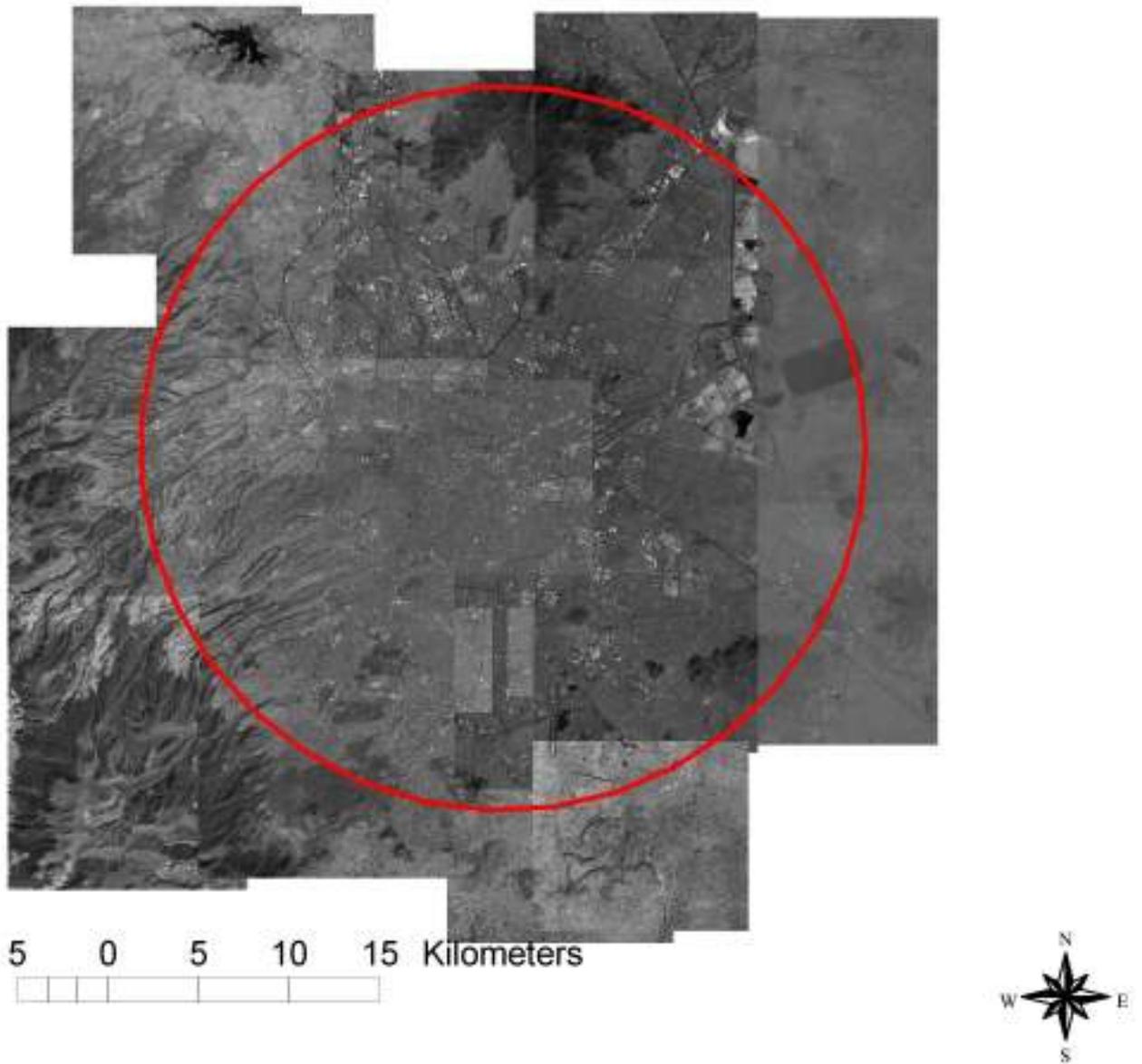


Figura 82. Ciudad de México, Space Imaging. All rights reserved.

Tampico , Mexico
Geo Images
Created September 5, 2003



Figura 83. Tampico, México, Space Imaging. All rights reserved.

Bibliografía:

- **WOLF / BRINKER 1977 TOPOGRAFIA, EDIT. ALFAOMEGA MÉXICO D.F PAGS. 700-704.**
- **BERNARD HERRERA HERRERA 1987, ELEMENTOS DE FOTOGRAMETRIA, EDIT. LIMUSA MÉXICO PAGS 34 A53.**
- **ESTADO MAYOR DE LA DEFENSA NACIONAL 1994 MANUAL DE CARTOGRAFIA EDIT. SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL MÉXICO PAGS 176 A 213**
- **ESTADO MAYOR DE LA DEFENSA NACIONAL 2000 MANUAL DE CARTOGRAFIA EDIT. SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL MÉXOCO PAGS 381 A 412.**

Conclusiones:

La principal finalidad de este trabajo es que a los estudiantes de ingeniería civil les sea de gran ayuda esta tesis, ya sea como medio de consulta y/o material didáctico, para acreditar las diversas asignaturas de topografía, fotogrametría y vías terrestres, que se imparten en la Carrera de Ingeniero Civil en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA).

En el estudio del presente trabajo hemos abarcado el tema de la ciencia Fotogramétrica, ya que esta se encuentra hoy en día totalmente ligada a disciplinas, entornos y sistemas digitales que permiten la máxima automatización de las tareas que comprenden a la ingeniería Civil. Nos adentramos en su historia a través de los años, en su desarrollo, explicamos sus conceptos y teorías principales, sus métodos tanto analógicos como digitales, hablamos de los trabajos extra que la complementan, así como, de su presente y la tendencia de esta ciencia hacia un futuro, en la relación que coexiste en esta ciencia con la ingeniería civil y finalmente de lo importante que es para el desarrollo de dichas obras de ingeniería en nuestro país.

Debido a lo importante que es para el Ingeniero Civil contar con la fotogrametría como herramienta para resolver los diversos problemas que enfrenta hoy en día, ya sea planeando, proyectando, diseñando, o construyendo las diversas estructuras que son necesarias para el desarrollo de nuestro país como carreteras, presas, líneas de transmisión, edificios, puentes o puertos como hemos visto, la fotogrametría puede estar presente y es por eso que nosotros como Ingenieros Civiles de la Esia Zacatenco debemos de conocerla y estudiarla.