



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**La Elaboración
de Cartas
Geográficas**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

JESÚS ABRAHAM NAVARRO MORENO



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

ASESOR
DR. JORGE CAIRE LOMELÍ



MÉXICO, D.F.

Ciudad Universitaria, Marzo 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A GRADECIMIENTOS

Es difícil para mí expresar en unas breves líneas mi agradecimiento más profundo para todas aquellas personas que han formado parte de mi vida.

Permítanme comparar la travesía de mi vida con un viaje. Sí, un viaje que tiene por objeto subir alguna cumbre que es muy especial, porque su tamaño y distancia son indeterminables, dado que encierra en su interior la relatividad de la vida.

En este viaje siempre he estado rodeado de mi madre y mi padre, quienes me han brindado esencialmente su amor, con el me ha sido posible seguir en este sendero, tanto en los logros más sublimes como en las caídas más profundas.

También he estado acompañado siempre de mi hermana y mi abuelita, quienes me han enseñado a través de su ejemplo, abriéndome siempre el camino. Admiro su valor, su fuerza y su dedicación.

He encontrado también algunas personas muy importantes: mis amigos, la familia que cada persona elige. A todos ellos y en especial a Nadya y Raúl, a Marlene y Roberto les expreso que su presencia ha sido fundamental para mí. Me han brindado su casa, su hospitalidad, su persona.

He llegado al pie de la montaña y me gustaría dirigirme a la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyo espíritu llevo desde muy pequeño y a la cual estoy muy orgulloso de pertenecer.

El viaje continúa, el objetivo está cada vez más cerca y a cada paso que doy, agradezco a cada uno de mis profesores que me han brindado sus conocimientos, con los cuales se hace posible empezar a escalar las pendientes. A mi asesor, Dr. Jorge Caire, le agradezco sus consejos para la realización de este trabajo, y hurgando en la profundidad he de decirle que sus lecciones, con las cuales he sentido una afinidad muy particular, me han orientado en el ejercicio profesional.

Agradezco a mis sinodales: Lic. Gabriel Caire Vega, Lic. Alfredo Victoria Cerón, Lic. Ana Elsa Domínguez Ceballos y Lic. Sergio Chimal Monroy su interés en la revisión de la tesis.

A Isabel Cruz le agradezco la confianza puesta en mí para que me empezara a desarrollar profesionalmente. Isa, gracias por haberme abierto las puertas de una Institución como la Cenabio, así como tus consejos y tu interés en que pudiera realizar la tesis.

Asimismo, agradezco a las empresas Aerotecnia de México, S.A. e I.C.F.A., S.C., la información proporcionada así como la posibilidad de uso de sus aparatos durante el proceso de investigación de la tesis.

Así pues, con la ayuda de cada una de las personas que han formado parte de esta travesía, familiares, amigos y profesores de toda la vida, pero sobre todo con el favor de Dios, se hizo posible conquistar la cumbre anhelada; sin embargo, con sus enseñanzas me es posible advertir que hay todavía muchas cosas por descubrir y otras cumbres por conquistar.

Jesús Abraham

	Pág.
Introducción	5
Capítulo 1. Escalas y proyecciones de los mapas	13
Introducción	14
1.1. La escala asociada con la precisión de las cartas geográficas.	15
1.1.1. Concepto de escala	15
1.1.2. Representación de la escala	16
1.1.3. Escalas cartográficas más utilizadas	18
1.1.4. Uso de la escala	19
1.1.5. El mapa, la carta y el plano	19
1.2. Las proyecciones asociadas a la deformación de las cartas geográficas.	21
1.2.1. Introducción a las proyecciones cartográficas	21
1.2.2. Clasificación de las proyecciones cartográficas.	22
1.2.2.1. Proyecciones Azimutales	22
1.2.2.2. Proyecciones Cilíndricas	26
1.2.2.3. Proyecciones Cónicas	28
1.2.3. Propiedades de las proyecciones cartográficas.	31
1.2.4. Las proyecciones cartográficas utilizadas en la República Mexicana.	34
1.2.4.1. Universal Transversa de Mercator	34
1.2.4.2. Cónica Conforme de Lambert	38
1.3. Preparación de las Cartas	39
Conclusiones	40
Capítulo 2. Planeación del vuelo	43
Introducción	44
2.1. Fotografías aéreas.	45
2.1.1. Características de las fotografías aéreas	46
2.1.2. Obtención de las fotografías aéreas	49
2.1.3. Utilidad, aplicaciones y complementos de apoyo.	52
2.1.4. Ventajas en el manejo de las fotografías aéreas.	53
2.2. Equipos e instrumentos requeridos.	53
2.2.1. Cámaras fotográficas.	53
2.2.1.1. Cámaras Fotográficas Aéreas	55
2.2.2. Películas	65
2.2.3. Aviones	68
2.3. Procesos de laboratorio y digitales de las fotografías aéreas	73
2.4. Normas Técnicas para Levantamientos Aerofotográficos.	76
2.4.1. Normas Técnicas para levantamientos Aerofotográficos (INEGI, 20 de agosto de 1999)	76
2.4.2 Aspectos Administrativos	83

2.5. Planeación del vuelo. Teoría y ejemplos.	85
2.5.1. Introducción	85
2.5.2. Recomendaciones	87
2.5.3. Giros y fallas posibles durante el vuelo.	88
2.5.4. Ejemplo práctico	88
Conclusiones	95
Capítulo 3. Control Terrestre	97
Introducción	98
3.1. Determinación de los puntos de control terrestre en las fotografías.	99
3.2. Determinación de las coordenadas de los puntos de control terrestre.	102
3.2.1. Posicionamiento Astronómico	102
3.2.1.1. La esfera celeste y las coordenadas celestes	106
3.2.1.2. Correcciones a las coordenadas celestes	111
3.2.1.3. Determinación de la hora	114
3.2.1.4. Cálculo de la Longitud	116
3.2.1.5. Determinación de la Latitud	119
3.2.1.6. Determinación del Azimut	122
3.2.2. Determinación de Coordenadas Geodésicas	125
3.2.2.1. Métodos Geodésicos	130
3.2.2.2. Realización de un trabajo geodésico	137
3.2.3. Sistema de Posicionamiento Global	164
3.2.3.1. Funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global	165
3.2.3.2. Partes del Sistema de Posicionamiento Global	166
3.2.3.3. Tipos de GPS	169
Conclusiones	173
Capítulo 4. Triangulación y restitución fotogramétrica.	175
Introducción	176
4.1. Métodos de triangulación radial	177
4.1.1. Método Gráfico	180
4.1.2. Método Geométrico	182
4.1.3. Método Analítico	184
4.2. Restitución fotogramétrica	189
4.2.1. Rectificación fotográfica apoyada en la triangulación radial	189
4.2.2. Elaboración de mosaicos rectificadas y otro tipo de mosaicos	192
4.3. Interpretación fotográfica	194
4.4. Métodos planimétricos y altimétricos para la elaboración de la carta base	195
4.4.1. Métodos Planimétricos	195
4.4.1.1. Método de las cuadrículas proporcionales	195
4.4.1.2. Planimetría con instrumentos fotogramétricos	200
4.4.2. Métodos Altimétricos	205
4.4.2.1. Método General	206
4.4.2.2. Perfil de puntos principales	208
4.4.2.3. Determinación de las altitudes en función de los desplazamientos por relieve	210
4.4.3. Configuración del terreno por medio de las curvas de nivel	214

4.4.4. Trazo de curvas de nivel	216
4.4.4.1. Teoría del punto flotante	217
4.5. Restitución fotogramétrica analítica y digital	221
4.5.1. Restitución fotogramétrica analítica	222
4.5.2. Restitución fotogramétrica digital	227
4.5.2.1. Funcionamiento	229
4.5.2.2. Estaciones de trabajo y programas fotogramétricos digitales	231
4.6. La elaboración de las cartas geográficas temáticas	236
4.7. La generalización cartográfica	237
Conclusiones	238

Capítulo 5. Edición y Reproducción Cartográfica **241**

Introducción	242
5.1. Edición Cartográfica	243
5.1.1. Compilación analógica de la hoja de trabajo	243
5.1.1.1. Materiales	244
5.1.1.2. Formación de la imagen	245
5.1.1.3. Rotulación	245
5.1.1.4. Separaciones	250
5.1.1.5. Registros	250
5.1.2. Compilación digital de la hoja de trabajo	251
5.1.2.1. Bases de datos	251
5.1.2.2. Digitalización	252
5.1.2.3. Escaneo	252
5.1.2.4. Preparación de la hoja de trabajo	253
5.1.2.5. Utilización de la hoja de trabajo digital	253
5.2. Reproducción Cartográfica	254
5.2.1. Clasificación de los Sistemas de impresión	254
5.2.2. Sistemas de impresión para pocas copias	257
5.2.2.1. Fotografía	258
5.2.2.2. Copias Fotostáticas	259
5.2.2.3. Copias Heliográficas	259
5.2.2.4. Copias Diazo	260
5.2.2.5. Xerografía	261
5.2.2.6. Pruebas de Color	262
5.2.2.7. Impresoras	263
5.2.3. Sistemas de impresión para copias múltiples	263
5.2.3.1. Imprenta	264
5.2.3.2. Hueco-grabado	264
5.2.3.3. Litografía (Offset)	265
5.2.3.4. Serigrafía	271
Conclusiones	274

Conclusiones Generales	277
Bibliografía	281
Glosario	289
Anexo	301

I NTRODUCCIÓN

La Geografía es la ciencia que estudia la distribución y la disposición de los fenómenos naturales y sociales que conforman la superficie terrestre, trata de explicar sus causas y consecuencias, y para ello utiliza el análisis cualitativo y cuantitativo, así como las interrelaciones entre los fenómenos. Los geógrafos puntualizan estos patrones cambiantes tanto en palabras como en mapas, e intentan descifrar su significado.

Los geógrafos requieren localizar los fenómenos en la superficie terrestre y para este fin se auxilian de la Cartografía. La Cartografía es la ciencia y el arte de trazar los mapas; se compone de un conjunto de ramas científicas y técnicas que se complementan para lograr representar adecuadamente el espacio geográfico. Las disciplinas básicas en la Cartografía son: la Geodesia, la Topografía, la Fotogrametría y la Astronomía; todas ellas ligadas al ramo de las matemáticas aplicadas; asimismo, la Cartografía se apoya en el Diseño Gráfico debido a que el mapa es un instrumento de comunicación que, según Arthur Robinson (et. al.) en el libro "Elementos de Cartografía " pertenece a una rama del grafismo; de hecho constituye una de las más antiguas formas de comunicación que la humanidad creó.

Uno de los postulados metodológicos de la Geografía, hace mención al conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra para establecer de manera precisa los hechos y fenómenos que constituyen el paisaje geográfico y que el geógrafo plasma de manera gráfica en los mapas y las cartas geográficas.

Haciendo una síntesis de la postura de la Geografía de Arocha Reyes, en su libro "Fundamentos de Cartografía", podría mencionarse que para él esta disciplina es una ciencia que estudia las relaciones espaciales de los fenómenos, las distribuciones, es la encargada de la organización del espacio y es una ciencia de síntesis. Todas estas tareas se cumplen de manera satisfactoria a través del empleo de los mapas y cartas geográficas.

Debido a que los geógrafos fundamentan sus investigaciones en los documentos cartográficos y que éstos son su instrumento de trabajo por excelencia, se deduce que es necesario que todo geógrafo comprenda las distintas etapas en la elaboración de las cartas geográficas y de esta manera se adviertan las razones del empleo de las distintas proyecciones,

escalas, metodologías y tecnologías más apropiadas de acuerdo con los distintos recursos y finalidades.

La elaboración de cartas geográficas es un proceso relativamente largo que comprende: la ubicación del área por cartografiar, la selección de la proyección y de la escala, la planeación y realización del vuelo fotogramétrico, los procesos de laboratorio de las fotografías aéreas, la identificación y propagación del control terrestre, la aerotriangulación, la restitución fotogramétrica, la edición y la reproducción de las cartas geográficas. Todos estos pasos se comprenden en la presente investigación.

A continuación se presenta un diagrama que refleja por sí mismo el cuerpo de la presente investigación, y que a su vez ayuda a comprender de manera breve el proceso en la elaboración de las cartas geográficas.

Elaboración de Cartas Geográficas



El primer paso para la elaboración de un documento cartográfico es la planeación. En ella se debe considerar el área que se desea cartografiar y los objetivos; al respecto K. Salitchev en su libro "Cartografía" dice que no puede haber un mapa geográfico que sea confeccionado si no posee una finalidad o asignación; es decir, que sea calculado para llegar a determinado círculo de usuarios. El objetivo del mapa es tan importante que a éste quedan subordinados la escala, la proyección y el tema del documento.

También es importante considerar en la planeación cartográfica los recursos humanos y económicos. Generalmente, en los proyectos de elaboración de cartas hay un coordinador, quien tiene la responsabilidad de establecer las necesidades de personal y de presupuesto; cuya relevancia logística será turnada al área administrativa. En ocasiones algunas etapas en la realización de las cartas pueden realizarse por contrataciones (previa licitación) o bien las puede realizar directamente la empresa que desea la realización del proyecto.

La elección de la escala y la proyección, que se analizará en el primer capítulo, se realiza con base en los objetivos del proyecto; así pues se van preparando las cartas (manualmente o por computadora); es decir, se coloca la cuadrícula y la gradícula con base en la escala y el área por cartografiar.

Posteriormente se realiza la toma de fotografía aéreas y el control terrestre, comprendida en los capítulos segundo y tercero. El control terrestre puede ser anterior o posterior a la toma de fotografías. Para un trabajo cartográfico se debe reunir toda la cantidad de información posible de trabajos anteriores referente al lugar por cartografiar. Asimismo, se debe entregar un informe y una descripción de los vértices utilizados para el proyecto que se esté llevando a cabo.

El cuarto capítulo trata de la propagación del control terrestre, que se lleva a las cartas ya preparadas. El control terrestre se propaga con las técnicas de la aerotriangulación y posteriormente se realiza la restitución fotogramétrica para situar los detalles que se deseen representar en las cartas preparadas. En este punto la generalización cartográfica cobra mucha importancia.

Una vez que los detalles deseados por el cartógrafo se trazan en las cartas, se anexan todos los datos complementarios, tales como título, leyenda, créditos, etc., y de esta manera se edita la carta original, que será minuciosamente revisada (control de calidad) para poder ser reproducida posteriormente. Todo este procedimiento se tratará en el quinto capítulo.

Ahora bien, se hace necesario destacar la manera en que esta investigación aborda el concepto "Cartas Geográficas". Existen dos tipos de documentos cartográficos, los mapas básicos o generales (también llamados *mapas base*) y los mapas temáticos. Los mapas base son aquellos que muestran la información fundamental; es decir, mapas "[...] cuya finalidad es reflejar la *asociación espacial* de una selección de fenómenos geográficos diversos. Elementos tales como carreteras, fronteras, asentamientos humanos, cursos de agua, elevaciones, perfiles de costa y masas de agua"¹ son los que se representan en este tipo de mapas. Estos mapas constituyen los cimientos de la cartografía temática y por lo tanto deben poseer una alta claridad en cuanto a la precisión y a la obtención de medidas confiables.

Así pues, con los mapas generales es posible realizar las primeras interpretaciones de carácter geográfico desde un punto de vista general. Es por esta razón que algunos autores como K. Salitchev se refieren a este tipo de documentos como mapas o cartas geográficas.

El mismo Salitchev señala que lo que distingue a un mapa geográfico es :

- "La ley matemática espacial de la estructura del mapa
- El método especial de representación cartográfica, que emplea signos o símbolos convencionales
- La selección y la generalización de los fenómenos que se representan."²

Las características anteriormente expuestas son las que se tomarán como fundamento para la definición del concepto "Cartas Geográficas"; sin embargo, existen otros autores, como Robinson (et. al.) quienes comentan que los mapas generales son muy a menudo llamados topográficos, aunque también reconocen que en ellos se expresa mucho más que la topografía del área representada.

Los mapas temáticos, por su parte, se centran en las variaciones espaciales de un solo atributo geográfico. Actualmente, los geógrafos están muy interesados en elaborar estos mapas ya que en ellos se muestran los resultados de muchos estudios específicos; sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, es necesario contar previamente con el sustento de la cartografía básica.

¹ Arthur Robinson (et. al.). *Elementos de Cartografía*. Pág. 7

² K. Salitchev. *Cartografía*. Pág. 1

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen la capacidad de elaborar mapas temáticos que están relacionados a las bases de datos asociadas a los mapas, y cuya información procede de la investigación directa en campo; sin embargo, para poder elaborar un mapa dentro de un SIG es necesario tener algunos parámetros de la cartografía básica como el dátum, la escala, la proyección, coordenadas, etc. Estos parámetros no son espontáneos, sino que son producto de las numerosas investigaciones que han tenido lugar durante el desarrollo histórico de la cartografía, tanto a nivel nacional como mundial.

A continuación se presenta un resumen de la Historia de la Cartografía en México que busca relacionar brevemente los esfuerzos cartográficos del pasado como el pilar de la cartografía que actualmente se lleva a cabo.

Resumen de la Historia de la Cartografía en México

Desde la época prehispánica, los indígenas expresaban la manera en la que concebían el territorio, dichos documentos cartográficos no son muy abundantes en la actualidad, pero se conoce que sus documentos se encontraban orientados hacia el Este, que era el lugar de donde provenía la luz y que era la fuente de la vida. El espacio terrestre para ellos era cuadrado y estaba cruzado por dos diagonales que dividían el espacio en cuatro triángulos; el superior mira a *Tlalcoпан* que es el lugar donde brota la luz; el inferior mira hacia *Cihuatlampa*, o lugar de las mujeres muertas en parto; el triángulo de la derecha mira hacia *Mictlan*, o lugar de los muertos y el de la izquierda mira hacia *Huitztlampa* o lugar de las espinas; el punto del centro está ocupado por *Huehuetéotl*, el dios viejo del fuego.³

En el período colonial, la percepción del territorio fue cambiando debido a la influencia europea, aunque los mapas continuaban siendo elaborados por los indígenas y se mantenían algunas características en los documentos cartográficos tales como el colorado, los glifos y los detalles. Sin embargo, poco a poco estas peculiaridades se fueron perdiendo para dar paso a la importancia de las distancias, lugares, caminos, ríos, etc. ⁴

Para el siglo XVII, los rasgos europeos predominaban en la realización de los documentos cartográficos, que en su mayoría eran planos e intentaban fijar los límites de las jurisdicciones y

³ Joaquín Galarza. *Amatl Amoxtlí. El papel el libro. Los códices mesoamericanos. Guía para la introducción al estudio del material pictográfico indígena.*

⁴ Id.

territorios, es por ello que la importancia de la precisión fue ganando terreno en el ámbito cartográfico; no obstante, en el siglo XVIII la falta de precisión era sustituida por la estética, el detalle y la claridad de los documentos.

En la segunda mitad del siglo XIX, durante el porfiriato, la cartografía se profesionalizó con el fin de obtener un mayor control geográfico; entonces se requería de mapas más confiables. En esta etapa se empezaron a realizar las primeras Cartas Generales de la República Mexicana, como la de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Antonio García Cubas copió esta carta e hizo un trazado de paralelos y meridianos y así, los mapas y cartas empezaron a tener una connotación más científica; sin embargo, el documento posee imágenes artísticas que lo complementan y que destacan las características topográficas, históricas y culturales del país; también señaló los lugares más importantes del territorio. García Cubas también publicó su Atlas Geográfico, Estadístico e Histórico de la República Mexicana compuesto de 29 mapas de los estados y dos cartas generales a diferente escala. El mismo García Cubas fue perfeccionando su trabajo de la Carta General de la República auxiliado con la proyección policónica elaborada por el Ing. Díaz Cobarrubias.⁵

Manuel Orozco y Berra también fue importante en la cartografía de México ya que a él se le comisionó la realización de la división política del territorio, tarea que cumplió tomando en cuenta la etnología, densidad de población, la hidrología y la topografía.

Las asociaciones dedicadas al impulso de la Geografía y de la Cartografía jugaron un papel importante. Entre ellas es conveniente destacar a la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (SMGE), la Comisión Geográfico Exploradora (CGE) y la Comisión Geodésico Mexicana (CGM).

La SMGE que nació en 1833 es la más antigua de las sociedades que cuentan con un carácter científico y que ha apoyado la investigación impulsando los trabajos realizados con los métodos más modernos de ese tiempo, como eran la triangulación matemática y las observaciones astronómicas para determinar coordenadas en los diversos puntos. La CGE se creó en 1877 encabezada por el Ing. Agustín Díaz y tuvieron por proyecto general la elaboración de cartas de la República, algunas de ellas eran generales, pero otras eran de reconocimiento, cartas hidrográficas, militares, particulares (de cada estado), etc. Esta comisión logró determinar 800 posiciones astronómicas y 210,708 km en su itinerario. La CGM se creó en

⁵ Elías Trabulse. *Historia de la Ciencia en México*. Págs. 194-199

1898; esta Comisión tenía misiones más específicas referentes a los trabajos de geodesia en México y trabajó conjuntamente con Estados Unidos y Canadá para la determinación del arco de 60 grados de amplitud. También trabajaron conjuntamente para la determinación del meridiano 98° W.G. que en México se extiende desde Tamaulipas hasta Oaxaca. ⁶

Este tipo de trabajos contribuyó a generar una visión macro-espacial del territorio mexicano y constituyó la culminación de un gran esfuerzo colectivo de la geografía mexicana de ese tiempo.

Por otro lado, en el siglo XIX también se realizaron mapas catastrales realizados por los peritos. Estos mapas tenían mediciones más precisas ya que recientemente se había adoptado el sistema métrico decimal, y fueron la base para la construcción del catastro nacional de la propiedad, con el que se facilitó la recaudación de impuestos. Los métodos de levantamiento catastral fueron influenciados por las experiencias de países europeos. El reglamento del catastro ordenaba que se partiera de una triangulación de primer orden de precisión, y que fuera descendiendo gradualmente hasta el cuarto orden para fijar los puntos de apoyo de las poligonales con las que se liga el levantamiento parcelario. Los mapas catastrales constituyeron la visión micro-espacial del territorio. ⁷

En el siglo XX, la cartografía pasó a manos de los militares quienes heredaron los trabajos de la CGE. El Servicio Geográfico Militar en conjunción con el Servicio Geodésico Interamericano trabajaron para hacer un levantamiento geodésico unido al de Estados Unidos y Guatemala apoyándose en el Dátum de Meades Ranch, Kansas, EUA; conocido como Dátum Norteamericano de 1927 referido al elipsoide de Clarke de 1866. Éste, sin duda, es uno de los elementos más importantes de la cartografía nacional porque en 1968, la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), que posteriormente fue Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) y después fue el INEGI, tomaron como base estos estudios geodésicos para propagarlos y elaborar la Cartografía Nacional Esc. 1:50,000. y 1:250,000

Recientemente, el dátum de referencia ha cambiado debido a la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global y ahora se utiliza el ITRF92.

⁶ Jorge Caire L. *Evolución de la Geodesia en el Mundo y en México. Anuario de Geografía.* Págs. 438-440.

⁷ Erlinda González. *Análisis del Catastro Urbano de la Ciudad de México y su importancia para su planeación.* Pág. 138.

La presente investigación hace hincapié en la elaboración de las cartas geográficas generales. Ello se debe, como se ha mencionado anteriormente, a que las de cartas temáticas tales como la geológica, edafológica, vegetación y uso de suelo, entre otras, derivan su armazón matemático de las cartas generales, y algunos de los detalles que se cartografían en ellas, se traspan a las cartas de la misma manera que los rasgos de las cartas básicas; es decir, por medio de la fotoidentificación y la posterior restitución fotogramétrica; sin embargo, algunos elementos de su contenido específico se obtienen directamente en campo y pueden llevar a cabo algunos otros procesos muy particulares, de tal manera que su confección sería motivo de muchas otras investigaciones, tantas como cartas temáticas se deseen realizar.

La presente tesis busca brindar un panorama más amplio acerca de la elaboración de las cartas geográficas, es por ello que no se circunscribe a una escala y/o proyección específica. Tampoco establece una sola metodología para elaborar cartas; por el contrario provee diversas alternativas para que los geógrafos y otros profesionistas pretendientes a elaborar cartas confiables se identifiquen con alguna de ellas dependiendo de sus recursos y proyectos específicos.

La investigación parte de la hipótesis de que la elaboración de una carta geográfica resulta ser una tarea fundamental en la Geografía porque en ellas se pueden plasmar los diversos estudios geográficos de una manera precisa.

Por otro lado se advierte que en cada etapa existen diversas metodologías, las cuales pueden ser más manuales o más computarizadas; no obstante, los principios teóricos son los mismos independientemente de la tecnología utilizada.

CAPÍTULO

1



Escalas y proyecciones de los mapas

“La proyección o reticulado es la armazón matemática para la construcción del mapa, y la escala representa las dimensiones de esa estructura de apoyo.”

Arocha Reyes, 1978

Introducción

En el presente capítulo se hace mención de la escala y las proyecciones cartográficas como los primeros elementos que se deben tomar en cuenta durante la elaboración de las cartas geográficas.

La escala es un elemento fundamental de todo mapa ya que ayuda al lector o usuario a distinguir la relación que existe entre el mapa y las dimensiones reales de la Tierra. Cualquier representación de un objeto dado posee una escala; desde los croquis primitivos hasta los mapas automatizados, todos poseen una escala, la única diferencia es el establecimiento de las unidades métricas, pero desde un inicio existió esa idea intuitiva.

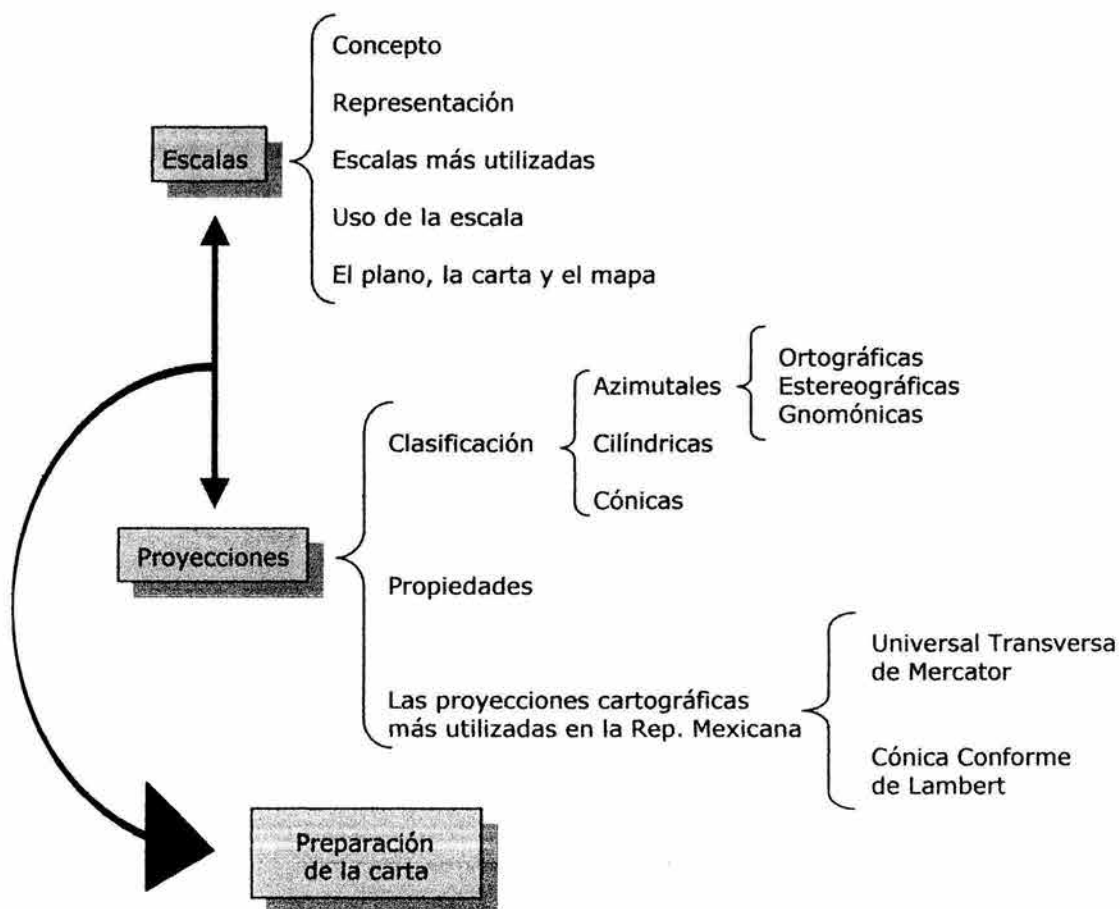
El concepto de escala, sin embargo, es mucho más amplio que lo expuesto anteriormente. La escala es la pieza fundamental que ayuda al cartógrafo a establecer la precisión de su mapa; la escala elegida establece la cantidad de información y tolerancia de error que puede tener el documento cartográfico. José Martín López dice que "Si un polígono cualquiera se amplía de modo de que cada uno de sus lados mida el doble, la escala se duplica; si un mapa se amplía de igual modo, no pasa de ser un mapa ampliado, pero no puede decirse que se haya duplicado la escala, porque el contenido de su información será el mismo de antes."⁸; de igual forma dicho documento ampliado no poseerá mayor precisión en cuanto a la localización de los accidentes geográficos. El sentido del concepto *escala* desde el punto de vista cartográfico es mayor que el geométrico ya que el mapa no es una figura vacía sino que posee la representación de la Tierra.

Las proyecciones cartográficas tienen gran importancia; al igual que la escala, constituyen el armazón matemático sobre el cual se construye el mapa. Si bien las proyecciones no son por sí mismas un elemento fundamental del mapa, la gradícula (disposición de paralelos y meridianos) sí lo es, y ella estará situada en función de la proyección elegida.

Cada proyección cartográfica posee características propias y su elección se realiza en función del propósito del mapa y de la cualidad o propiedad que se quiera conservar; sin embargo, hay que tener en cuenta que toda proyección lleva implícita una deformación, cuya magnitud está en función de la escala y del lugar representado.

⁸ José Martín López. *Cartografía*. Pág. 13

A continuación se presenta el diagrama correspondiente a éste capítulo.



1.1 La escala asociada con la precisión de las cartas geográficas.

El objetivo de la cartografía es representar la superficie terrestre con la mayor fidelidad posible; no obstante, uno de los principales problemas que esta disciplina enfrenta es el tamaño pues todo documento cartográfico reduce las dimensiones reales con el fin de representarlas sobre una hoja de papel.

1.1.1 Concepto de escala

La relación que existe entre las dimensiones de un objeto y su representación se denomina *escala*, que no es otra cosa sino una proporción entre dos magnitudes y es independiente del sistema de unidad de medida que se utilice.

Los mapas "son necesariamente menores que las áreas que representan, y en consecuencia, para poder ser utilizados, deben indicar la razón o proporción entre medidas comparables."⁹ Así pues, se deduce que todo documento cartográfico es una representación total o parcial de la superficie terrestre pero en un espacio más reducido, de tal manera que existe la necesidad de saber el número de veces se ha de reducir la representación con el fin de apreciar la precisión y saber cuáles elementos se pueden representar.

La escala es muy importante en los mapas ya que determina la cantidad de detalles que se han de incluir en el mapa en función de los intereses que se persigan. "La escala, que es uno de los elementos fundamentales de un mapa, está directamente relacionada con el contenido, propósitos, objetivos dimensiones y precisión del mapa."¹⁰ Las dimensiones del mapa o el formato se refieren al tamaño y forma de la hoja de papel sobre la cual se trazará el mapa.

1.1.2. Representación de la escala

La escala, entonces, es una relación que expresa la distancia en el mapa y su homólogo en la superficie terrestre; dicha relación se puede expresar de las siguientes formas:

- Escala numérica. Es una simple fracción que puede indicarse de estas maneras, siendo preferible la primera opción:
 - 1:50,000 (uno a cincuenta mil)
 - 1/50,000 (uno sobre cincuenta mil)
 - $\frac{1}{50,000}$ (uno sobre cincuenta mil)
 - Esc = 0.000 02 (realización del cociente)
 - Esc = 2×10^{-5} (cociente expresado en cifras exponenciales)

- Escala gráfica. Consiste en una línea situada en el mapa, generalmente al margen de la hoja, que se encuentra subdividida para indicar las longitudes en el mapa; estas subdivisiones son segmentos regulares correspondientes a distancias reales del terreno. Generalmente la escala gráfica posee una extensión o talón con divisiones de menor

⁹ Arthur Robinson (et. al.) *op cit.* Pág. 60

¹⁰ Jorge Caire. *Cartografía Básica.* Pág. 29

espaciamiento para medir distancias con mayor precisión. La escala gráfica se usa como un escalímetro y es muy útil cuando el mapa sufre modificaciones de tamaño, a diferencia de la escala numérica, la cual se pierde con las ampliaciones o reducciones del mapa.



Fig. 1.1 Ejemplo de una escala gráfica

- Escalas de superficie. Se refiere a aquellas medidas que se encuentran expresando superficies (km^2 , millas², etc). "la escala expresada será aquella en la que 1 unidad de superficie [...] es proporcional a un número concreto de las mismas unidades elevadas al cuadrado sobre la Tierra." ¹¹
- Escala variable. Es una escala que es conveniente utilizar para mapas que abarquen grandes extensiones de la superficie terrestre. Más adelante, en esta investigación, se verá que las proyecciones tienen deformaciones ¹², pero que en algún punto de ellas, o a lo largo de alguna línea o líneas, la Tierra está bien representada por lo que la escala es válida para esa porción, pero no para toda la proyección. La escala varía a diferentes latitudes.

Por lo anterior, los mapas poseen un *factor de escala* que es la cantidad de deformación de una distancia en una proyección cartográfica. El factor de escala se expresa en función de la relación entre la escala principal y la escala verdadera.

$$\text{Factor de escala} = \text{Escala verdadera} / \text{Escala principal} \quad ^{13}$$

Así pues, un factor de escala de 2.0 significaría que la escala verdadera es dos veces la escala principal.

¹¹ Arthur Robinson (et. al.). *op cit.* Pág. 61

¹² Es más correcto decir que las proyecciones tienen deformaciones y no distorsiones, ya que este último término se refiere a un fenómeno físico que ocurre cuando las ondas se deforman durante su propagación y por lo tanto, la calidad de la imagen o del sonido disminuye. La distorsión puede darse en la fotogrametría debido a la aberración óptica, pero las proyecciones cartográficas no tienen carácter óptico.

¹³ La escala verdadera, también denominada real, es variable a lo largo del mapa, debido a la proyección. La escala principal, también llamada nominal, es la elegida por el cartógrafo para realizar su documento cartográfico.

En cuanto a la escala, los mapas se clasifican en tres grandes grupos: los de escala grande, los de escala media y los de escala chica. Siempre han existido muchas discrepancias en el establecimiento de los límites de esta clasificación, pero en forma aproximada cada grupo se puede describir como sigue ¹⁴:

- Escala grande: 1:50,000 o mayores
- Escala media: 1:50,000 a 1:500,000
- Escala chica: 1:500,000 o menores ¹⁵

Se ha mencionado que la escala es el límite natural de la información en el mapa; sin embargo, ésto no significa que un mapa de gran extensión no pueda tener una escala grande, lo que no podrá ser posible, es representar dicha extensión en una sola hoja que se manipule fácilmente en campo.

1.1.3. Escalas cartográficas más utilizadas

La escala, como se mencionó anteriormente, es uno de los elementos más importantes que deben tener los mapas y cartas geográficas, ya que de ella depende la precisión de la representación, la exactitud de las mediciones, el instrumental que se ha de utilizar, así como el presupuesto y tiempo empleados en la elaboración de la cartografía de una región dada.

Los cartógrafos pueden seleccionar cualquier escala para sus cartas; no obstante, los usuarios aprenden a asociar un nivel de precisión y de generalización con escalas concretas; entonces, la escala numérica se convierte en el índice de exactitud y de contenido del documento cartográfico. Las cartas de mayor uso en la actualidad se muestran en la tabla siguiente.

¹⁴ Clasificación deducida de Arthur Robinson (et. al.). *op cit.* Pág. 7

¹⁵ La escala será más chica en tanto sea el módulo de la escala sea mayor. Las escalas grandes poseen más detalles.

Tabla 1.1 Escalas cartográficas más frecuentes y sus equivalencias

Escala de la carta	1 cm corresponde a:	1 cm ² corresponde a:	1 km real corresponde a:	Distancia mínima real observada
1:1,000	10 m	0.0001 km ²	100 cm	0.25 m
1:5,000	50 m	0.0025 km ²	20 cm	1.25 m
1:10,000	100 m	0.0100 km ²	10 cm	2.50 m
1:25,000	250 m	0.0625 km ²	4 cm	6.25 m
1:50,000	500 m	0.2500 km ²	2 cm	12.50 m
1:100,000	1 km	1.0000 km ²	1 cm	25.00 m
1:200,000	2 km	4.0000 km ²	5 mm	50.00 m
1:250,000	2.5 Km	6.2500 km ²	4 mm	62.50 m
1:500,000	5 km	25.0000 km ²	2 mm	125.00 m
1:1,000,000	10 km	100.0000 km ²	1 mm	250.00 m

Fuente: J. Caire (2002). Cartografía Básica.

1.1.4. Uso de la escala

La escala gráfica permite hacer mediciones directas en el mapa y ellas serán correspondientes en el terreno, dado que la escala es una relación entre lo representado y lo real. Asimismo, si se realiza alguna medición en el mapa, es posible saber su correspondencia en el terreno por medio de la escala numérica. También es posible obtener superficies aunque el mapa carezca de una escala de superficies, únicamente hay que tener en cuenta que la relación entre superficies no es directa y no queda expresada por el denominador de la escala, sino por su cuadrado.

1.1.5. El mapa, la carta y el plano

Estos tres términos son muy semejantes entre sí, pero no iguales. Esta equivocación lingüística es antigua, y la diferencia es precisamente la escala de los documentos.

El plano es un documento cartográfico que representa una parte del espacio geográfico y que utiliza escalas muy grandes (1:5,000 o mayores). En tanto la zona representada no exceda ciertos límites, es posible prescindir de la curvatura de la Tierra y tener una perspectiva plana

de la superficie terrestre. Las coordenadas utilizadas en un plano podrán ser cartesianas, en el que el eje de las Y corresponde a los meridianos y el eje de las X a los paralelos.

Los términos mapa y carta se asemejan aún más entre sí, pero las diferencias entre ellos son:

- El término carta, descrito por Eckert, en su libro "Cartografía" (1961), se refiere a las representaciones del espacio marítimo, en tanto los mapas representan el espacio terrestre. Robinson (et. al.), en "Elementos de Cartografía" menciona que las cartas sirven para la navegación marítima, aeronáutica y terrestre, y es por ello que proporcionan información de lugares, carreteras, distancias, elevaciones, etc.
- Con base en la escala, las cartas representan una parte o la totalidad de la superficie terrestre a escalas comprendidas entre 1:5,000 y 1:500,000, contiene coordenadas geográficas y las propias de la proyección adoptada, contienen información marginal y por lo regular la totalidad de la representación está constituida por varias hojas, debido a la gran cantidad de información y de precisión que se requiere. Los mapas también pueden representar una parte o toda la superficie terrestre, pero a escalas chicas (menores a 1:500,000), en ellos se acostumbra exponer únicamente las coordenadas geográficas y el nivel de información, y de precisión disminuye considerablemente con respecto a las cartas geográficas.

Todos los mapas y cartas geográficas poseen escala y proyección; es por ello que durante este primer capítulo se ha hecho y se hará mención a estos dos términos (mapa y carta) indistintamente; sin embargo, en los capítulos siguientes se verán los procesos referentes a la elaboración de cartas geográficas que requieren de más precisión y menor generalización como se ha visto hasta ahora. "Las cartas geográficas representan, con la necesaria minuciosidad, los diversos accidentes geográficos; además su sencillo manejo y fácil transporte las hacen muy útiles."¹⁶, asimismo, las cartas geográficas ofrecen al geógrafo un mayor número de elementos representados y una mayor complejidad en la lectura y la interpretación.

¹⁶ <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/marcoteo/bases/bases.cfm?c=235>

1.2 Las proyecciones asociadas con la deformación de las cartas geográficas.

1.2.1 Introducción a las proyecciones cartográficas

Las proyecciones cartográficas surgen de la necesidad de representar la superficie esférica de la Tierra en mapas o cartas cuya geometría es plana; es decir, la Tierra posee una figura geométrica parecida a la esfera, y el mejor modelo o representación de su superficie es un globo, llamado Globo Terráqueo, sin embargo, un mapa debe representar lo mejor posible las tres dimensiones de la Tierra sobre una superficie bidimensional o plana. Esta transformación de esfera a plano, es precisamente una *Proyección Cartográfica*.

Las proyecciones son correspondencias biunívocas entre los puntos de la superficie terrestre y los puntos del plano de proyección, puesto que cualquier punto de la esfera está definido por sus coordenadas geográficas (φ, λ) y cualquier punto del plano lo está por sus coordenadas cartesianas (x, y) ; por tanto, existirá una serie infinita de relaciones que ligen a (φ, λ) con (x, y) . Cada una de estas infinitas relaciones constituye un sistema de proyección cartográfico.

Existen muchas proyecciones cartográficas; de hecho, existe la posibilidad de formular nuevas proyecciones cartográficas para satisfacer los fines específicos de cada investigación; sin embargo, esta tarea necesita de un bagaje matemático muy sustancial. Basta decir que todas las ramificaciones de las proyecciones se centran en pasar de la figura esférica o del esferoide que representa la Tierra a una imagen plana.

Las proyecciones cartográficas, como se mencionó, son muchas, y la variedad de objetivos en las investigaciones son limitados, o mejor dicho pueden ser agrupados en cuanto a los intereses de representar sus resultados; así, algunas de las proyecciones cartográficas se utilizan más en determinadas zonas geográficas y existen proyecciones que pueden complementarse con otras. La selección de las proyecciones cartográficas varía en función de la porción de la superficie terrestre por representar, de su ubicación y de las finalidades que tenga el mapa. Generalmente, los historiadores y biólogos están interesados por los tamaños; los navegantes, meteorólogos y astronautas por las distancias y por las direcciones o ángulos del mapa. Se aconseja que los mapas de uso de suelo y vegetación utilicen proyecciones en las que las formas de los fenómenos no sufran deformaciones, en tanto que en los mapas geológicos las

direcciones son las privilegiadas para representar bien las alineaciones características. El geógrafo debe saber elegir una proyección cartográfica en función de los intereses que persiga su investigación.

Debido a la esfericidad de la Tierra, no es posible pasar directamente de la tridimensionalidad a la superficie plana sin que haya rupturas o desgarraduras, por tal motivo es necesario utilizar figuras desarrollables como el cono y el cilindro o el plano.

1.2.2. Clasificación de las proyecciones cartográficas.

Como se ha venido mencionando, en una proyección cartográfica la superficie esférica de la Tierra se plasma en una superficie plana. Para lograr esto, existen algunas figuras geométricas que pueden ayudar a que la superficie terrestre se "desarrolle" y sea capaz de plasmarse sobre el papel. La categorización de las proyecciones se basa en las características geométricas de las figuras que hacen posible este paso.

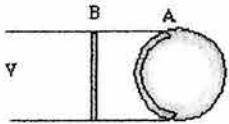
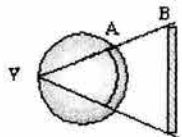
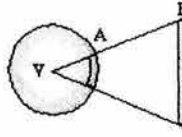
En este sentido existen las:

- Proyecciones azimutales
- Proyecciones cilíndricas
- Proyecciones cónicas

1.2.2.1. Proyecciones Azimutales

Las proyecciones azimutales surgen cuando la superficie terrestre se esboza sobre un plano. En este tipo de proyecciones se hace necesario emplear el término *punto de vista* de la proyección. Este término, que se refiere al punto en el cual se está observando a la Tierra, es variable ya que puede estar en el infinito, en el centro de la Tierra o sobre la superficie, y por ello, existen varios tipos de proyecciones azimutales:

Tabla 1.2 Tipos de proyecciones azimutales

Tipo de proyección	Punto de vista	Construcción de la proyección
Proyecciones ortográficas	En el infinito	
Proyecciones estereográficas	Sobre la superficie terrestre	
Proyecciones gnomónicas	En el centro de la Tierra	

- V = Punto de vista
- A = Superficie representada
- B = Plano de proyección

Las *proyecciones ortográficas* son las más familiares de las proyecciones azimutales. Están basadas geoméricamente en un plano tangente a la Tierra, cuyo punto de proyección o de vista es el infinito; estas proyecciones representan siempre el hemisferio anterior; es decir, el hemisferio situado del mismo lado que el punto de vista y están limitadas a un solo hemisferio. Presentan grandes deformaciones y por tal motivo, según J. Caire, en su libro "Cartografía Básica" se utilizan para las representaciones astronómicas. Las áreas con mejor representación están al centro de la proyección. En las figuras 1.2, 1.3 y 1.4 se observan los tipos de proyecciones ortográficas, la ecuatorial, la polar y la oblicua.

Las proyecciones ortográficas ecuatoriales surgen cuando el centro del plano de proyección está tangente al ecuador; las proyecciones ortográficas polares tienen la tangencia del plano de proyección en el polo; y en las proyecciones oblicuas el plano de proyección está inclinado con respecto al eje ecuatorial de la Tierra y se ubica a la latitud deseada por el cartógrafo.



Fig. 1.2 Proyección ortográfica ecuatorial

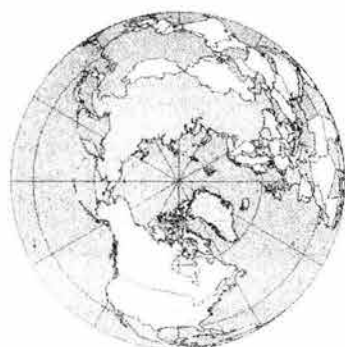


Fig.1.3 Proyección ortográfica polar



Fig.1.4 Proyección ortográfica oblicua

No obstante las grandes deformaciones que se presentan hacia los extremos, estas proyecciones se utilizan para representar fenómenos mundiales y es por esta razón que los Sistemas de Información Geográfica los incluyen en su software, aunque cabe hacer la aclaración que actualmente estas proyecciones sirven más por su utilidad pictórica que técnica y se debe a que las mismas deformaciones ayudan visualmente.

Las *proyecciones estereográficas* son perspectivas en las cuales el punto de vista está situado sobre la superficie terrestre así que el fragmento de Tierra representado estará opuesto al punto de vista. Esta proyección no puede mostrar dos hemisferios al mismo tiempo ya que se tendría que cambiar el punto de vista.

Las figuras siguientes muestran los tipos de proyecciones estereográficas: ecuatorial, polar y oblicua.¹⁷



Fig. 1.5 Proyección estereográfica ecuatorial

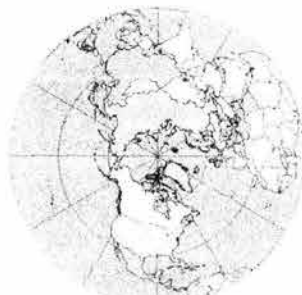


Fig.1.6 Proyección estereográfica polar



Fig.1.7 Proyección estereográfica oblicua

¹⁷ Debe mantenerse el mismo criterio que en las proyecciones ortográficas.

Las proyecciones estereográficas se usaron mucho en los siglos XVI y XVII cuando se elaboraban los mapas hemisféricos. Actualmente gozan de mucho valor para los SIG ya que es la única de las proyecciones azimutales que conserva los ángulos.

Las *proyecciones gnomónicas* tienen su punto de vista en el centro de la esfera terrestre y por consiguiente no son muy apropiadas para representar los hemisferios terrestres. De forma análoga a los dos tipos de proyecciones azimutales anteriores, existe una proyección ecuatorial, una polar y las oblicuas, pero como se verá en las figuras siguientes, las deformaciones son muy grandes a partir del centro de la proyección.



Fig. 1.8 Proyección gnomónica ecuatorial

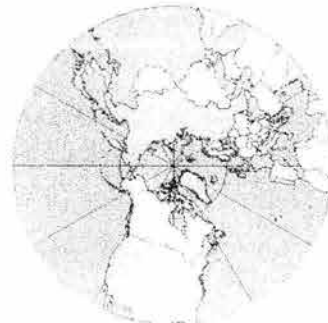


Fig. 1.9 Proyección gnomónica polar



Fig. 1.10 Proyección gnomónica oblicua

Para salvar el inconveniente de las grandes deformaciones, la superficie esférica suele proyectarse sobre un poliedro circunscrito (ya sea cubo o hexaedro) y luego éste se desarrolla sobre un plano, ello es factible pues no se requiere cambiar de punto de vista porque éste está situado al centro; entonces, surge la figura siguiente que describe una proyección interrumpida y por lo tanto más compleja.

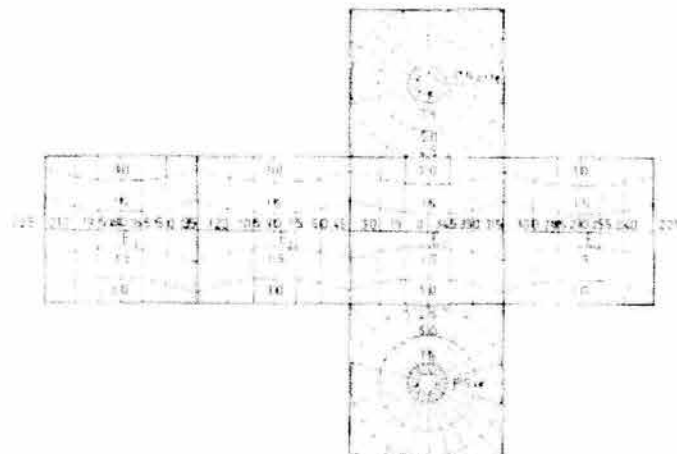


Fig. 1.11
Proyección gnomónica
sobre un cubo circunscrito
a la esfera terrestre

Hasta este momento se ha mencionado que el plano de proyección está tangente a la Tierra, ésto quiere decir que en el punto de tangencia, la representación de la superficie será verdadera tanto en ángulos como en distancias y en formas; y a partir de dicho punto, las deformaciones empezarán y sólo una de las cualidades se quedará a lo largo de la proyección. Sin embargo, el plano puede estar secante a la Tierra; ésto es, que corte a la superficie y en toda esa circunferencia descrita la Tierra estará bien representada. (ver fig. 1.12)

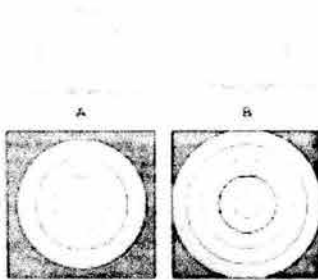


Fig. 1.12 A.-El plano de proyección es tangente a la superficie terrestre y por ello el punto central se encuentra fielmente representado. B.- El plano de proyección es secante a la Tierra y se describe una circunferencia fielmente representada y a partir de la cual las deformaciones aumentan

Probablemente no es muy común encontrar proyecciones azimutales secantes, pero en las proyecciones cilíndricas y cónicas esto es muy frecuente, por lo tanto hay que definir desde este momento que toda proyección cartográfica está fielmente representada en donde la figura geométrica toque la superficie terrestre, ya sea de manera tangente o secante

1.2.2.2. Proyecciones Cilíndricas

Las proyecciones cilíndricas se basan en el hecho de la circunscripción de un cilindro alrededor de la esfera terrestre. Cuando desarrollamos dicho cilindro cortándolo a lo largo de una de sus generatrices, se transforma en un rectángulo, uno de cuyos lados es la longitud del círculo máximo terrestre.

La proyección cilíndrica puede ser tangente como es el caso de la figura 1.13 o secante, como se muestra en la figura 1.14; asimismo, puede ser normal o transversal, como se muestra en las figuras mostradas a continuación:

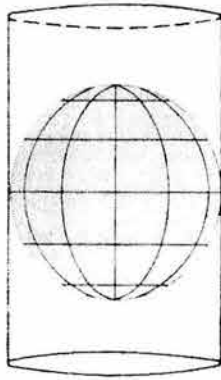


Fig. 1.13 Proyección Cilíndrica Normal

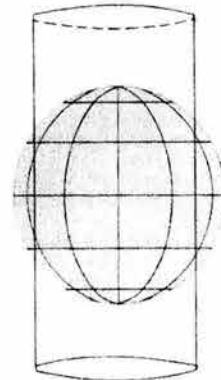


Fig. 1.15 Proyección Cilíndrica Normal Secante

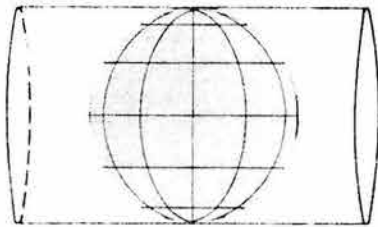


Fig. 1.14 Proyección Cilíndrica Transversal Tangente

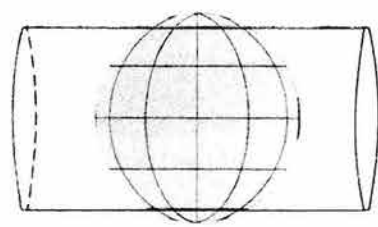


Fig. 1.16 Proyección Cilíndrica Transversal Secante

La proyección normal también se puede denominar directa, y surge cuando el eje del cilindro coincide con la línea de los polos. En las proyecciones normales los paralelos son líneas rectas, cuya longitud es la misma que la del Ecuador o de los paralelos sobre los cuales esté secante la figura geométrica, mientras que los meridianos son también líneas rectas paralelas separados entre sí una longitud que es correcta solamente en el Ecuador o en los paralelos base, de esta manera se deduce que paralelos y meridianos se cortan entre sí ortogonalmente, tal como lo muestra la figura 1.17.

Cuando el eje del cilindro coincide con el eje ecuatorial de la Tierra se produce la proyección cilíndrica transversal, como es el caso de la Proyección Universal Transversa de Mercator que se verá más adelante.

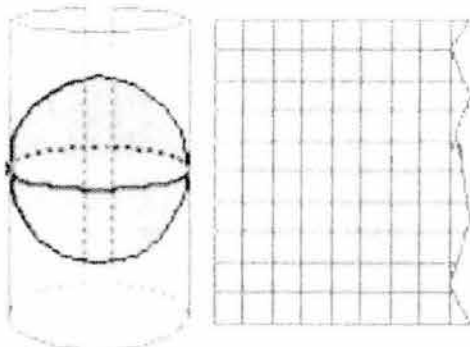


Fig. 1.17 Desarrollo de la proyección cilíndrica normal

Un tercer caso de proyecciones cilíndricas surge cuando el eje del cilindro no coincide con el eje polar y tampoco con el ecuatorial, entonces quiere decir que el eje de la figura geométrica está inclinado un cierto ángulo; en este caso, las proyecciones serán oblicuas y también pueden ser tangentes o secantes.

1.2.2.3. Proyecciones Cónicas

Las proyecciones cónicas son atribuidas a Ptolomeo y se producen al colocar un cono sobre la superficie terrestre y proyectar los puntos sobre él. El eje del cono coincide con el eje de los polos, y el contacto de cono y esfera se produce a lo largo de un paralelo llamado estándar o base¹⁸, el cono también puede estar secante a la superficie obteniendo de esta manera dos paralelos estándar. (Ver figuras 1.18 y 1.19)

Análogamente a las proyecciones cilíndricas, las proyecciones cónicas pueden ser normales o directas, transversales y oblicuas

Cuando el eje del cono coincide con el eje de los polos; es decir, cuando la proyección es normal, los meridianos aparecen como rectas concurrentes hacia el polo más cercano y los paralelos como circunferencias concéntricas. Entre las Proyecciones Cónicas más importantes citaremos la Proyección Bonne, la Cónica Conforme de Lambert y la Proyección Cónica Equivalente de Lambert.

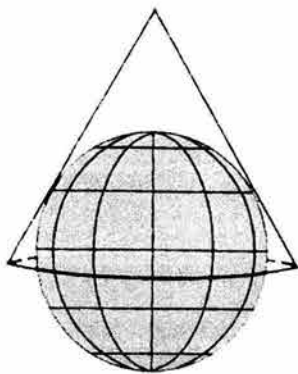


Fig. 1.18 Proyección cónica tangente

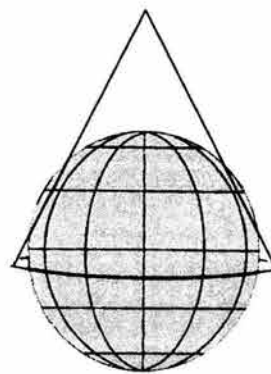


Fig. 1.19 Proyección cónica secante

La siguiente figura muestra un ejemplo de la proyección cónica y su proyección y desarrollo en un plano

¹⁸ Estos dos términos se pueden utilizar indistintamente

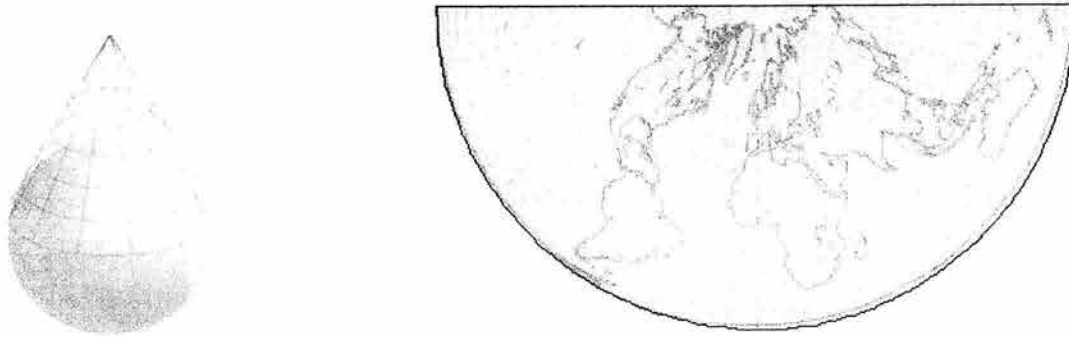


Fig. 1.20 Principio geométrico de la proyección cónica normal

Los siguientes esquemas muestran las proyecciones cónicas transversal y oblicua, que suelen ser menos comunes en cuanto a su uso, y muestran de manera clara el eje de la figura geométrica y su posición con respecto al eje polar y ecuatorial de la Tierra. Cabe mencionar que estos diagramas se pueden aplicar análogamente en las proyecciones cilíndricas; asimismo las figuras pueden ser tangentes o secantes.

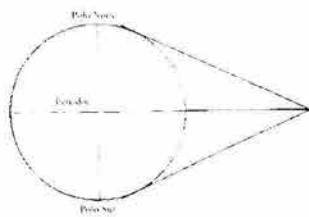


Fig. 1.21 Proyección cónica transversal

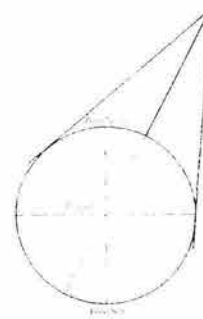


Fig. 1.22 Proyección cónica oblicua

Existen otras proyecciones que suelen denominarse pseudo-cilíndricas y diversas, y que constituyen modificaciones respecto a las proyecciones azimutales, cilíndricas y cónicas. Estas proyecciones no se basan en alguna figura geométrica específica.

Dentro de esta clase existe una gran diversidad de proyecciones, algunas de ellas muy conocidas, tal es el caso de la Proyección de Mollweide, las de Eckert, la de Robinson, la Proyección Sinusoidal, la Proyección de Bonne, etc., todas ellas se muestran en las figuras siguientes:

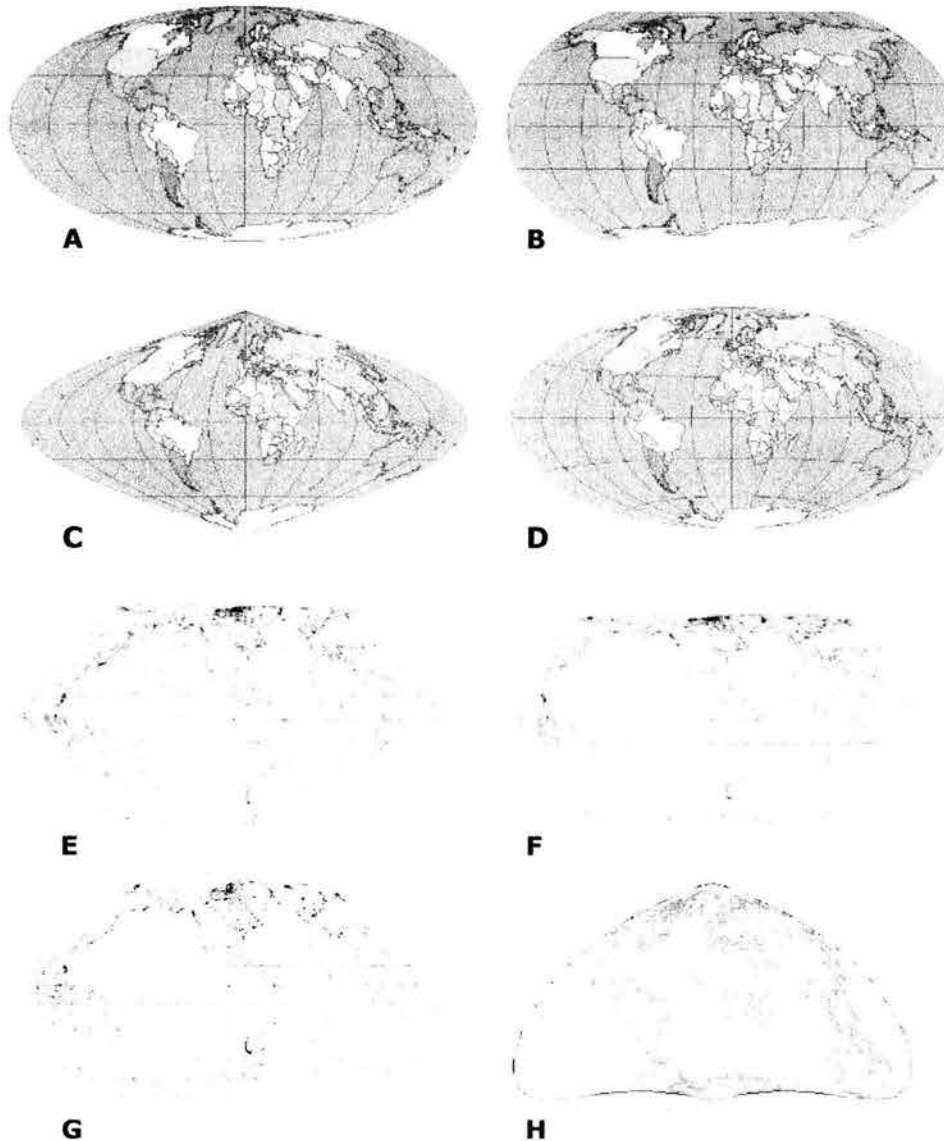


Fig. 1.23 Proyecciones diversas.

- A.- Proyección De Mollwide, es una proyección pseudo-cilíndrica utilizada para mapas temáticos
 B.- Proyección de Robinson, es una proyección pseudo-cilíndrica utilizada muy a menudo por la National Geographic Society
 C.-Proyección sinusoidal, conocida como Sanson-Flamsteed, conserva las áreas, pero no las formas
 D.-Proyección de Hammer-Aitoff, es una proyección pseudo-cilíndrica muy similar a la de Mollweide sólo que la disposición de los paralelos es distinta
 E.-Proyección de Eckert III, es pseudo-cilíndrica y ningún punto está libre de distorciónde escala, sólo el ecuador no tiene deformación angular
 F.-Proyección de Eckert V, es es pseudo-cilíndrica, pero está basada sobre una esfera
 G.-Proyección Loximutal muy útil para señalar las líneas loxodrómicas las cuales son correctas en escala y azimut a partir del centro
 H.-Proyección de Bonne, es pseudo-cónica y fue muy utilizada en el siglo XIX y a principios del XX pero luego fue sustituida por la Proyección Azimutal de Lambert que es muy parecida a ls proyección estereográfica

1.2.3 Propiedades de las proyecciones cartográficas.

La principal problemática de las proyecciones cartográficas es la deformación; y en función a ésta, los geógrafos deben determinar cuál proyección es más apropiada según los intereses que persiga; así pues, las deformaciones de las proyecciones son: de forma, de área o de distancias. Otras propiedades secundarias son los valores y la disposición de la deformación; los valores proporcionan un índice de eficiencia relativa de las formas de proyección y la disposición de la deformación es referente a la colocación de los valores antes mencionados.

De regreso a las propiedades principales de las proyecciones, cabe decir que durante el paso de la esfera al plano, no es posible mantener las tres y se debe sacrificar por lo menos una de ellas, pero generalmente son dos propiedades las que se eliminan y sólo queda una de ellas.¹⁹

Las proyecciones que mantienen las formas se denominan conformes, las que conservan las áreas se llaman equivalentes o equiáreas, y por último, las que preservan las distancias, se denominan equidistantes.

En las proyecciones conformes, el término deformación es muy relativo debido a que todas las relaciones angulares se mantienen en cada punto con el objetivo de preservar las formas de los accidentes geográficos, únicamente cambian las escalas en la proyección y se puede hacer uso de la escala variable.

Existen cuatro proyecciones conformes de gran uso: la Proyección de Mercator, La Universal Transversa de Mercator, la Cónica Conforme de Lambert con dos paralelos estándar y la Proyección Estereográfica; de estas cuatro, la Proyección de Mercator es probablemente la más famosa que se haya diseñado jamás. Es conceptualmente una proyección cilíndrica tangente en el ecuador en la que todos los rumbos aparecen como líneas rectas y por ello es de gran utilidad en la navegación.

En esta proyección (Fig. 1.24A) se ve claramente la deformación de las áreas, así como de las distancias, con el fin de preservar las formas. Los polos se ven exageradamente grandes y los paralelos tienen cada vez mayor distancia entre sí; de hecho, el paralelo de 90° no puede ser representado.

¹⁹ Antonio Hernández Navarro menciona en la Revista Cartográfica No. 70: Proyecciones Cartográficas Conformes, editada por el IPGH, que las proyecciones afiláticas no conservan ninguna de las tres propiedades

Las *proyecciones equidistantes* se utilizan para la cartografía de comunicaciones y transportes y para demostrar el correcto espaciamiento entre los paralelos.

Algunas de las proyecciones pseudo-cilíndricas tienen la característica de tener los paralelos igualmente espaciados por lo que se puede decir que son equidistantes, pero la más representativa de estas proyecciones es la denominada Geográfica que se muestra en la figura 1.24B

Las *proyecciones equivalentes* que conservan las áreas a escala, suelen ser muy útiles cuando se tiene prioridad por saber la extensión de los fenómenos. Este tipo de proyecciones no ha sido muy utilizado en el pasado pero podría utilizarse en cuestiones de enseñanza ya que gran parte de las personas tienen una idea errónea de las proporciones de los territorios del mundo. (Fig. 1.24C)

Existen muchas proyecciones equivalentes mundialmente conocidas, la gran mayoría de las proyecciones pseudocilíndricas lo son. Lo que podría hacer decidir a un cartógrafo para escoger cuál proyección equivalente usar, depende, según Robinson de dos factores: 1) El tamaño del área implicada, y 2) La distribución del error angular. Teniendo en cuenta estos puntos, difícilmente se puede elegir de manera errónea.

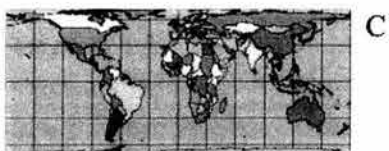
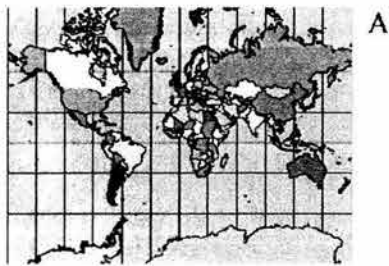


Fig. 1.24

A.- Proyección de Mercator
B.- Proyección Geográfica
C.- Proyección de Behrman

Obsérvese que la distribución de los paralelos en la proyección conforme (A) va en aumento al incrementarse la latitud; en la proyección equidistante (B) se mantiene de manera regular; y por último, en la proyección equivalente (C) los paralelos disminuyen de distancia a mayor latitud.

Haciendo una pequeña conclusión, algunas de las proyecciones pseudo-cilíndricas mantienen las distancias y las áreas; éstos es, son equivalentes y equidistantes, pero no conformes. Anteriormente se mencionó la posibilidad de que las proyecciones cartográficas mantuvieran una o dos cualidades, pero ninguna logra tener las tres.

Es momento de regresar a los tipos de proyección. Hasta ahora se ha mencionado que existen las proyecciones azimutales, cilíndricas y cónicas, después se agregaron las proyecciones pseudo-cilíndricas, y ahora hay que mencionar a las proyecciones interrumpidas. No es posible entender el papel de las proyecciones interrumpidas sin que previamente se haya hablado de las cualidades de las proyecciones. La misión de este tipo de perspectiva cartográfica es combinar dos partes del mundo que estén muy bien representadas a fin de obtener una sola, cuyas cualidades (forma, distancia y área) estén muy poco alteradas.

Las proyecciones cortadas según José Martín tienen sus antecedentes en la proyección estereográfica de dos hemisferios y "Las novedades que aporta [...] son el desplazamiento de los cortes según conveniencia y la utilización de varios meridianos automecoicos, dividiendo el globo en secciones independientes."²⁰ La más conocida de estas proyecciones es la Homolosina de Goode que es una combinación de la Proyección Sinusoidal en la región ecuatorial y la Proyección de Mollweide en las regiones polares; sin embargo existen muchas otras como lo demuestra la figura 1.25.

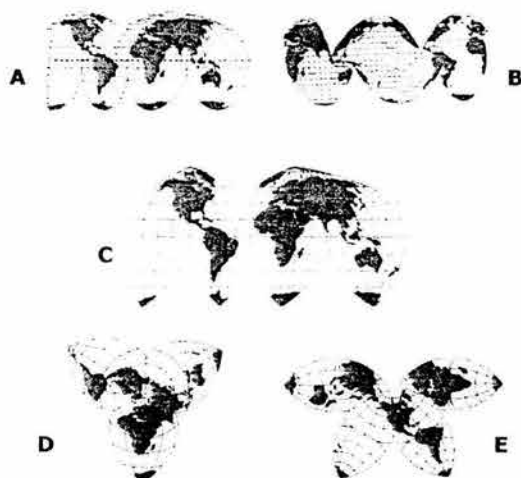


Fig. 1.25 Proyecciones interrumpidas.

- A y B.- Dos posiciones de la proyección de Goode
- C.- Proyección Sinusoidal partida de Bartholomew
- D.- Proyección Tetraédrica de Bartholomew
- E.- Proyección de Mariposa

²⁰ José Martín. *op cit.* Pág. 138.

1.2.4 Las proyecciones cartográficas utilizadas en la República Mexicana.

1.2.4.1. Universal Transversa de Mercator

Esta proyección es la que más se utiliza en las oficinas cartográficas del mundo y de México, siempre que se elaboren cartas a escalas grandes y medias (1:500,000 o mayores). En nuestro país es de gran importancia conocer esta proyección porque en ella está basada toda la cartografía oficial del INEGI y de la Secretaría de la Defensa Nacional.

La proyección utiliza el cilindro en su condición transversal y secante en los 80° al Norte y al Sur, y sobre el cual se proyecta la superficie del elipsoide que representa a la Tierra. Se trata de una proyección conforme, en la que durante la transferencia de coordenadas se respeta la dirección de los ángulos así como sus distancias; no obstante, al mantener la cualidad de la conformidad, la proyección está sometida a las deformaciones que aumentan rápidamente cuanto más lejos se esté de la línea de contacto, es por ello que se fijó la condición secante cada 6° de longitud.

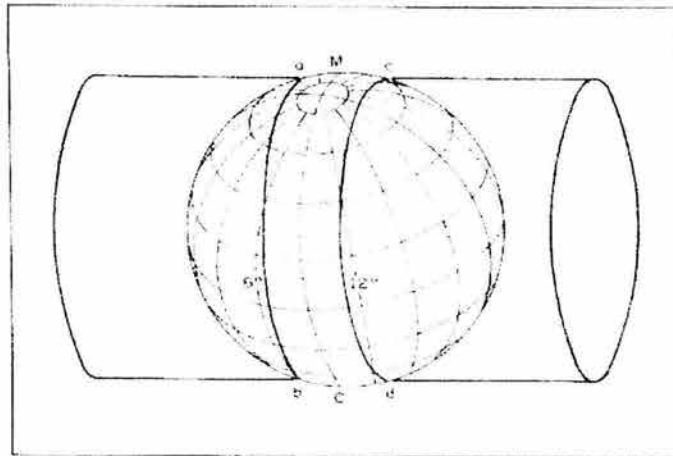


Fig. 1.26 Ilustración gráfica de la Proyección UTM

De esta manera, el cilindro corta a la Tierra en un plano longitudinal de Norte a Sur de 6° de amplitud, zona que será representada y que se denomina zona de proyección. Las trazas \overline{ab} y \overline{cd} son líneas de contacto llamadas elipses de contacto. MC es el meridiano central de la zona proyectada, dicho meridiano se representa como una línea recta por estar al centro .

Al girar el cilindro por toda la Tierra; es decir 360°, describe 60 zonas de proyección también denominadas husos horarios que se empiezan a contar desde los 180° oeste y en

dirección hacia el este. En la figura siguiente se aprecia con más detalle y desde otra perspectiva un huso horario.

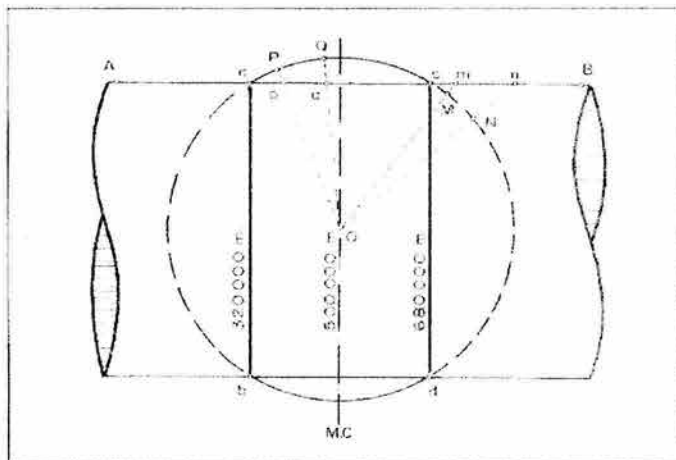


Fig. 1.27 Esquema de un huso meridiano en la Proyección UTM

Supongamos que el huso meridiano representado en la figura 1.27 es el primero de toda la proyección. La elipse de contacto ab corresponderá al meridiano 180° W.G., la elipse cd será la del meridiano 174° W.G. y el meridiano central (MC) corresponderá al meridiano 177° W.G. Este meridiano central se confunde con la red de cuadrícula en la abscisa 500,000 m, que es una falsa abscisa para poder trabajar con números positivos siempre. Cada meridiano central tiene el mismo valor y a partir de ahí se restan 180,000 m al oeste y se suman 180,000 m al este, de esta manera la elipse ab tiene un valor en la cuadrícula de 320,000 m y la elipse cd tiene el valor de 680,000 metros. A la República Mexicana, por estar comprendida entre los $86^\circ 46'$ y los $117^\circ 08'$ longitud oeste, le corresponden los husos meridianos 11 al 16, siendo los meridianos centrales: 87° , 93° , 99° , 105° , 111° y 117° W.G.

En la figura 1.27 también es posible apreciar algunos puntos que indican las deformaciones propias de la proyección. "O" es el origen de la proyección, ella se construye precisamente a partir del centro de la esfera terrestre; los puntos P, Q, M y N son los puntos a representar e intersectan al cilindro en p, q, m y n, respectivamente. Obsérvese que las distancias en la proyección no son las mismas que las reales, éstas pueden aumentar o disminuir dependiendo de su ubicación con respecto a las elipses de contacto. Así, la distancia PQ es mayor que la distancia pq , mientras que la distancia MN es menor que mn . Lo anterior se debe al factor de escala de la proyección.

Con anterioridad se había mencionado que en aquellos puntos donde la figura geométrica toque o corte (como éste es el caso) a la esfera terrestre, la proyección sería una representación fiel. En la UTM este caso ocurre en las elipses de contacto, mientras que el meridiano central está ligeramente reducido de su tamaño original, con un factor de escala de 0.9996; por lo tanto, todo objeto o accidente geográfico que se encuentre comprendido entre el meridiano central y alguna de las elipses de contacto estará ligeramente reducido de su tamaño original como ocurre con la línea \overline{pq} ; pero todo lo que se encuentre fuera de las elipses de contacto tenderá a aumentar de tamaño rápidamente por la cualidad conforme de la proyección, y éste es el caso de la línea \overline{mn} , siendo probable que dicho segmento se represente mejor en el huso meridiano contiguo.

Anteriormente se mencionó que la UTM cuenta con una cuadrícula denominada Cuadrícula Universal Transversa de Mercator, que facilita el empleo de esta proyección. El origen de las ordenadas de esta cuadrícula se encuentra en el ecuador y el de las abscisas en cada meridiano central, de tal manera que existen 60 orígenes en todo el mundo cuyas coordenadas son (500 000,0) para el hemisferio norte y (500 000,10 000 000) para el hemisferio sur, que tiene que utilizar una falsa ordenada.

En cuanto a las coordenadas de latitud geográfica, existen secciones transversales agrupadas cada 8° de latitud; cada una de estas secciones posee una letra. De los 80° S a los 72° S corresponde la letra C, de los 72 a los 64° S la letra D, y así sucesivamente.²¹ México, por estar comprendido entre 14° 33' y los 32° 43' latitud norte, le corresponden las secciones transversales P, Q, R y S. Así pues, una zona geográfica en la Proyección UTM tiene 6° de longitud por 8° de latitud.

No obstante lo anterior, México decidió modificar esta nomenclatura para sus finalidades particulares y estableció secciones transversales de 4° de latitud. De los 0 a los 4°N corresponde la letra A, de los 4 a los 8° la letra B, y así sucesivamente. México, por estar comprendido entre 14° 33' y los 32° 32' latitud norte, le corresponden las secciones transversales D, E, F, G, H e I.²²

²¹ La proyección UTM se complementa con la Proyección estereográfica polar que va de los 90° a los 75° tanto al norte como al Sur. A estas proyecciones se les asignaron las letras A y B.

²² El Hemisferio Sur y las proyecciones estereográficas polares no se consideraron en la nueva nomenclatura diseñada por México, es por eso que las secciones transversales comienzan con la letra A en el ecuador.

La figura siguiente presenta los elementos de la Proyección UTM.

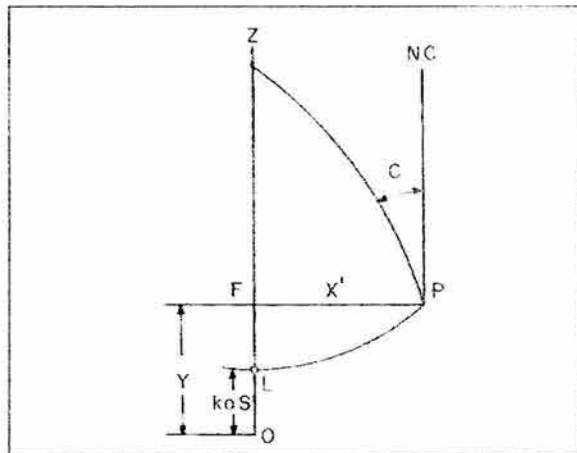


Fig. 1.28 Elementos de la Proyección UTM

- P= Punto Considerado
- F= Pie de la perpendicular de P al meridiano central
- O= Origen
- OZ= Meridiano Central
- LP= Paralelo a la latitud de P
- ZP= Meridiano de P
- OL= K_0S , arco de meridano desde el ecuador
- LF= Ordenada de curvatura
- OF= $N=Y$, la ordenada de cuadrícula
- FP= $E'=X'$, la abscisa desde el meridano central
- NC= Norte de cuadrícula
- C= Convergencia de meridiano, o sea: el ángulo en P formado por el norte verdadero y el norte de cuadrícula ²³

Como se vio en la figura anterior, la proyección UTM contiene dos sistemas de coordenadas muy importantes: las geográficas y la cuadrícula; pues bien, para poder transformar coordenadas de un sistema a otro existen una serie de ecuaciones correspondientes así como tablas de datos que facilitan las operaciones. En los SIG puede ser conveniente el empleo de estas fórmulas y datos tabulares con el fin de comprobar la veracidad de los programas.

²³ Jorge Caire. *op cit.* Pág. 160

1.2.4.2. Cónica Conforme de Lambert

La Proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL) se ha utilizado en la cartografía de Rusia, Europa y Australia entre otras regiones mundiales; en la Primera Guerra Mundial se apreciaron con mayor fuerza sus ventajas y a partir de entonces los cartógrafos la emplean frecuentemente. La proyección se encuentra matemáticamente basada "en un cono que es tangente en un paralelo, o más a menudo, que es conceptualmente secante en dos paralelos"²⁴. Esta proyección es muy valiosa para representar a los países situados en latitudes medias, en escalas chicas (es decir 1:1,000,000 o menores).

En México esta proyección es muy utilizada. Las hojas del Atlas Nacional de México, elaborado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, se encuentran en esta proyección; la gran mayoría de las hojas poseen una escala de 1:4,000,000, pero las hay de 1:8,000,000 y de 1:16,000,000. También en los SIG esta proyección tiene un gran uso cuando se desea representar el país completo, y se plasman en él los resultados de la cartografía temática.

La proyección es conforme, y ésta es su mayor cualidad; todos los fenómenos representados, independientemente de su tamaño, conservan sus formas originales. Las áreas se deforman ligeramente a medida que la proyección se aleja de los paralelos base.

Los meridianos, en esta proyección, son líneas rectas que convergen en el polo más cercano al origen de la proyección, mientras que los paralelos están representados por segmentos de circunferencia con centro en dicho polo; no obstante, los paralelos no se encuentran equidistantes, sino que se presentan en intervalos crecientes, conforme se alejan de los paralelos base, esta característica diferencia a la CCL de la Proyección Cónica Equivalente de Albers.

La CCL se puede construir gráficamente por medio de circunferencias de radios grandes; también se puede construir analíticamente con el empleo de tablas. Hay que tener en cuenta que para distribuir el error causado por el factor de escala, los paralelos estándar se deben situar a 1/6 y a 5/6 de la totalidad latitudinal del área que se desea representar. (ver Fig.1.29)

²⁴ Apéndice B. Proyecciones Cartográficas para el programa ERDAS Imagine. Pág. 513

Los paralelos base que se utilizan para representar la República Mexicana son los correspondientes a 17° y 30° latitud norte, para abarcar los límites desde los $33^\circ 15'$ y los $13^\circ 45'$.²⁵

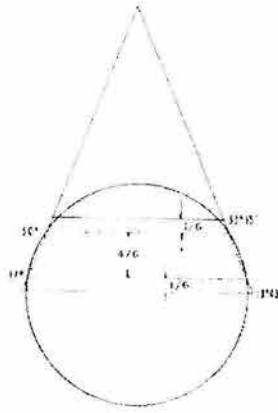


Fig. 1.29 Distribución de los paralelos base en la proyección CCL

1.3. Preparación de las cartas.

Una vez que se tiene seleccionada la escala y la proyección en función de los objetivos, planteados en la planeación del proyecto, se procede a la preparación de las cartas, que serán el armazón matemático. La preparación de las cartas consiste en la colocación de la cuadrícula y la gradícula, elementos que están muy ligados a la escala y la proyección.

La cuadrícula es el primer elemento que se debe poner en una carta. Son líneas perfectamente horizontales y verticales, y por lo tanto cada intersección deberá tener ángulos rectos. La cuadrícula de una carta está en función de la escala; por ejemplo, las cartas 1:50,000 del INEGI tienen una cuadrícula cada 2 cm sobre el mapa, lo cual significa que está colocada cada 1,000 metros en el terreno.

²⁵ En los Sistemas de Información Geográfica se sugiere que los paralelos base o estándar sean a los 17.5° y 29.5° con un Meridiano Central de 102° W.G. o -102 . También es común que se soliciten falsas coordenadas ortogonales que deben estar en metros para facilitar la obtención de distancias. Se sugiere que el origen de este sistema de coordenadas esté al sur y al oeste de la proyección para que siempre se pueda trabajar con números positivos.

La gradícula, que es la red de paralelos y meridianos de una proyección se construye a través del empleo de fórmulas matemáticas, que se resuelven en función de la escala del documento y del meridiano o paralelo que se desee representar, de esta manera, con la ayuda de las herramientas de dibujo como el compás, las escuadras, el transportador, etc., se construye el segmento deseado de la proyección a la escala deseada. En resumen, para representar la gradícula sobre la cuadrícula, primero hay que resolver las ecuaciones analíticamente y posteriormente se construye.

Conclusiones

La escala y las proyecciones están muy relacionadas entre sí. Aquí se han expuesto de manera separada, pero el cartógrafo debe elegir estos dos parámetros en función de los intereses que persiga su mapa. Debe tener en cuenta que a menor escala, las distorsiones de la proyección se van haciendo más notorias; sin embargo, las precisiones se vuelven menos importantes.

En los planos, que tienen escalas muy grandes, el uso de la proyección puede ser innecesario, y se pueden establecer coordenadas locales. En los mapas y cartas de escalas medias la proyección UTM y la CCL constituyen las alternativas más frecuentes en nuestro país; no obstante, la transformación de coordenadas del sistema de cuadrícula al sistema geográfico constituye el principal problema. La proyección UTM, utilizada en escalas medias, es muy buena para realizar medidas de superficie que no requieran de gran precisión sino de una aproximación, en caso de que las medidas requieran mayor exactitud hay que tomar en cuenta el factor de escala y la convergencia de meridianos.

J. Caire en su libro "Cartografía Básica" menciona que la cartografía de muchos países se basa en la UTM para elaborar sus cartas ²⁶; J. Martín López, en su libro "Cartografía" ratifica este argumento y añade que sin embargo, Suiza está empleando una proyección cilíndrica oblicua y los Países Bajos ocupan la estereográfica oblicua ²⁷.

En general, se puede decir que es conveniente utilizar la UTM si la zona por cartografiar tiene un desarrollo N-S, y la CCL si la región tiene un desarrollo E-W.

²⁶ Jorge Caire. *op cit.* Pág. 60.

²⁷ J. Martín López. *op cit.* Pág. 297.

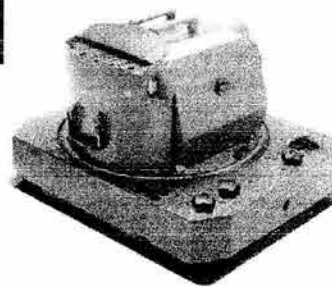
La UTM conviene para las extensiones latitudinales debido a la existencia de los husos meridianos que cortan la proyección; entre más extensión longitudinal tenga la zona por representar, mayores husos horarios habrá que ocupar, lo que significa que mayor cantidad de accidentes geográficos tendrán que cortarse para que no se deformen considerablemente. En México se utiliza esta proyección de manera oficial debido a la uniformidad que se deseó tener con respecto a los estándares fijados por Estados Unidos cuando se elaboró la cartografía del continente americano en el período posbélico de la Segunda Guerra Mundial.

La CCL no es muy conveniente para las grandes extensiones latitudinales debido a que los paralelos base deberían estar muy separados entre sí, y la región intermedia tendría grandes deformaciones; entonces, es más conveniente utilizar esta proyección para las extensiones longitudinales.

Para los mapamundis o los mapas hemisféricos se suelen utilizar los desarrollos cilíndricos y los pseudocilíndricos, los cuales se elegirán de acuerdo con el aprovechamiento de sus ventajas y en función de las finalidades que persigan: navegación, enseñanza, divulgación, mapas murales, etc.

CAPÍTULO

2



El Vuelo Fotogramétrico

“La toma de fotografía aérea es una actividad fundamental para la generación de información geográfica”

INEGI, 2002

Introducción

La preparación de las cartas en función de la proyección y de la escala se realiza en primera instancia mientras se realiza el levantamiento de la información geográfica por medio de las imágenes fotográficas.

La Cartografía se auxilia de la Fotogrametría para obtener la información de la superficie terrestre. La Fotogrametría es la disciplina que se propone resolver los elementos geométricos y sus magnitudes, tales como coordenadas, distancias, ángulos, volúmenes y posiciones del espacio geográfico por medio de fotografías tomadas para este fin. Esta disciplina se ha definido como la "ciencia o arte de obtener medidas confiables, por medio de las fotografías"²⁸ y su estudio comprende los tópicos siguientes:

- Propiedades Geométricas
 - Escala
 - Imagen perspectiva del objeto
 - Efectos métricos

- Uso directo de las fotografías
 - Fotografías Aisladas
 - Examen de pares estereoscópicos
 - Determinación de distancias y desniveles
 - Alteración del modelo
 - Uso en el terreno
 - Toma de fotografías aéreas

- Estereofotogrametría
 - Toma de fotografías aéreas
 - Restitución
 - Ortofotogrametría
 - Automatización
 - Organización de trabajos²⁹

Todas las ciencias dedicadas al estudio de la Tierra, y que se consagran en la descripción y cuantificación de la superficie terrestre, llevan a cabo proyectos de aprovechamiento y planeación de los recursos; para ello emplean las fotografías obtenidas por los procesos fotogramétricos y que utilizan fundamentalmente en dos aspectos: de cuantificación y de cualificación de la superficie terrestre. Los primeros aspectos se fundamentan en las bases de las mediciones exactas y se encuentran en el campo de la

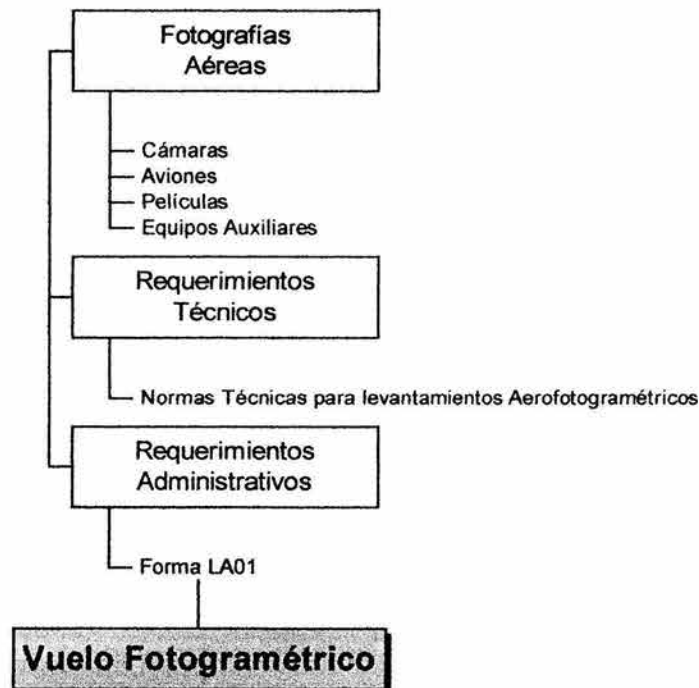
²⁸ American Society of Photogrametry cit. por Jorge Caire. *Fotogrametría-I. Fotogrametría Terrestre*. Pág. 1

²⁹ Roberto Betancourt Arce. *Topografía General*. Pág. 166.

Fotogrametría; en tanto que, los segundos reúnen las características verídicas de la superficie terrestre que se hacen en el campo de la Fotointerpretación.

La principal aplicación de la Fotogrametría se fundamenta en la Cartografía; sin embargo, también se puede aplicar a estudios geológicos, geofísicos, investigaciones forestales, análisis agropecuarios, planeación urbana, construcción de carreteras, estudios catastrales, exploración de áreas vírgenes para el aprovechamiento de recursos naturales, etc.

A continuación se presenta el diagrama correspondiente al capítulo donde se destacan los equipos y los requerimientos técnicos y administrativos para poder efectuar un vuelo fotogramétrico adecuadamente.



2.1. Fotografías aéreas

La fotografía aérea es por sí misma, un documento gráfico de gran capacidad informativa, en el cual existe un levantamiento instantáneo de millones de datos territoriales, y se utilizan para muy diversas finalidades. Dichos datos se congelan en el tiempo y pueden ser estudiados de manera inmediata o para estudios posteriores.

2.1.1. Características de las fotografías aéreas

La característica fundamental de la de fotografía aérea es su toma absolutamente vertical, con tolerancia máxima de 3°.

En esta clase de fotografías es muy difícil lograr una nivelación perfecta entre el eje óptico y la línea de la plomada desde el avión; por lo tanto, se permite una tolerancia hasta de 3° para cualquier dirección, como lo demuestra la figura 2.1.



Fig. 2.1 Radio de inclinación del eje óptico de la cámara.

Esta inclinación del eje óptico de la cámara se produce con los movimientos de banqueo y cabeceo del avión pero no puede exceder la tolerancia mencionada, porque la fotografía pertenecerá entonces a las fotografías oblicuas o inclinadas.

El movimiento de banqueo tiene lugar cuando el eje longitudinal del avión, rota a la derecha o a la izquierda. El movimiento de cabeceo se produce cuando el avión rota su eje transversal haciendo que el avión ascienda o descienda ligeramente. La figura 2.2 ejemplifica estos movimientos.



Fig. 2.2 Movimientos de banqueo y cabeceo del avión
Fuente: Roberto Betancourt. Topografía General. Pág. 173

Estos dos movimientos no se encuentran separados, sino que se mezclan; y así, la tolerancia queda descrita en una circunferencia máxima de inclinación del eje óptico de la cámara, en relación a la línea de plomada desde el avión.

Para saber cuándo una fotografía es vertical, se puede utilizar la siguiente tabla que nos ofrece las características de las fotografías:

Fotografías		Ángulo	Observaciones
Verticales		$< 3^\circ$	Coincide con la línea de plomada
Oblicuas	Bajas	$> 3^\circ$	No se observa el horizonte
	Altas	$> 3^\circ$	Se observa el horizonte
Horizontales		$< 1^\circ$	Perpendicular a la línea de plomada

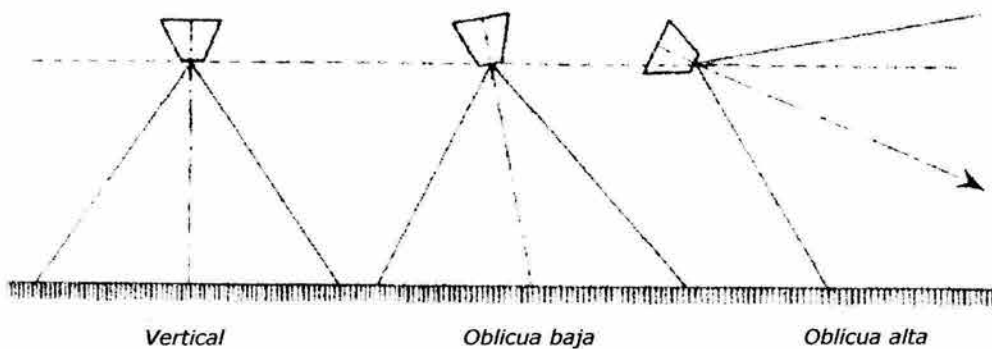


Fig. 2.3 Inclinación de las fotografías
 Fuente: Roberto Betancourt. Topografía General. Pág. 170

Otro movimiento del avión es la deriva, que es la desviación angular del eje longitudinal del avión con respecto a la línea de vuelo.³⁰

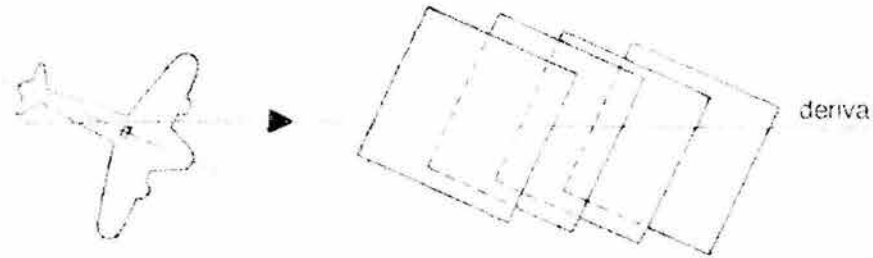
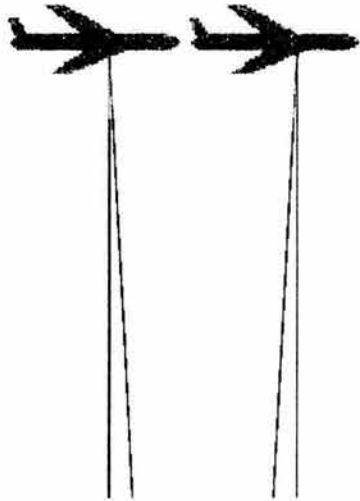
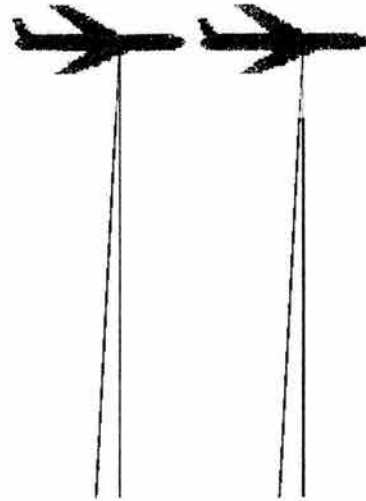


Fig. 2.4 Movimiento de deriva del avión
Fuente: Roberto Betancourt. Topografía General. Pág. 173

La inclinación del eje óptico de la cámara se denomina absoluta en caso de que ésta sólo, se considere para una sola fotografía; también existe la inclinación relativa, que es la suma de dos absolutas. La inclinación relativa no puede exceder de los 5° para el caso de una fotografía de eje óptico vertical. La figura 2.5 muestra cómo se contabiliza esta inclinación.



En este caso la inclinación absoluta se suma por estar en sentido opuesto.



En este caso la inclinación absoluta se elimina por estar en la misma dirección.

Fig. 2.5 Contabilidad de la inclinación absoluta del eje óptico de la cámara

³⁰ Los efectos de los movimientos que posee el avión se analizarán más adelante en la parte correspondiente a los giros dentro de la planeación de vuelo.

Por último, cabe destacar entre las características de las fotografías aéreas, el hecho de que éstas tienen un alto grado de deformación radial; es decir, la topografía se "tuerce", y por ello se deben realizar correcciones para ajustar la deformación; por ello, cualquier medida tomada en una fotografía no es exacta. Esta es una de las diferencias entre la fotografía aérea y los mapas. Los mapas son representaciones cartográficas de la superficie de la Tierra, ello significa que son direccional y geoméricamente exactos.

2.1.2. Obtención de las fotografías aéreas

La fotografía aérea, también llamada de eje vertical, se obtiene cuando el eje óptico de la cámara tiene la misma dirección de la línea de plomada, para ello se requiere de aviones, helicópteros, globos aerostáticos, etc. Este tipo de fotografías también suele llamarse de objetos lejanos.

"La cámara se instala en acomodo vertical en el piso de un avión, practicándose una abertura o ventana hacia abajo para el lente de la misma. El cuerpo de la cámara es rígido de manera que la distancia entre el negativo y la lente se mantiene constante; generalmente está construido en aluminio y dispone de "magazines" (porta negativos) desmontables, con el fin de poder cambiar los rollos de película sin tener que aterrizar."³¹

Siguiendo un previo plan de vuelo, el piloto debe cubrir el área a fotografiar por líneas en las que cada fotografía se traslapa en un 60% aproximadamente con la fotografía contigua. Entre línea y línea, también hay una sobreposición que oscila en un 20 ó 30%.

Al terminar, se procesa la película adecuadamente, y se obtienen los productos correspondientes: fotos de contacto, diapositivas para restitución, foto índices, ortofotos, fotomosaicos y ampliaciones de áreas particularmente interesantes, de acuerdo al fin último del proyecto.

³¹ <http://iit.jalisco.gob.mx/Definiciones/deffottoaerea.html>

Sobreposición lateral

Sobreposición transversal

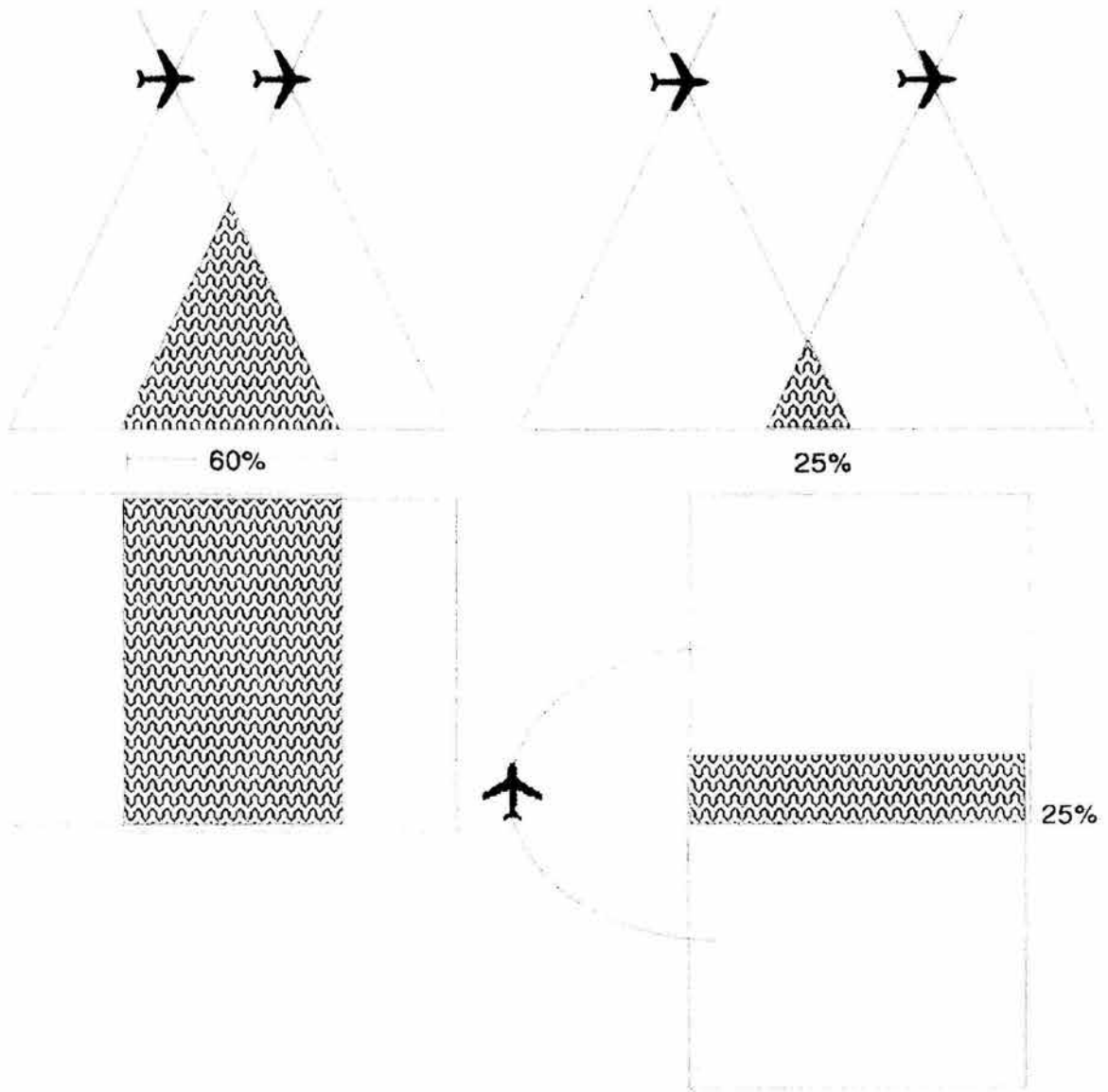
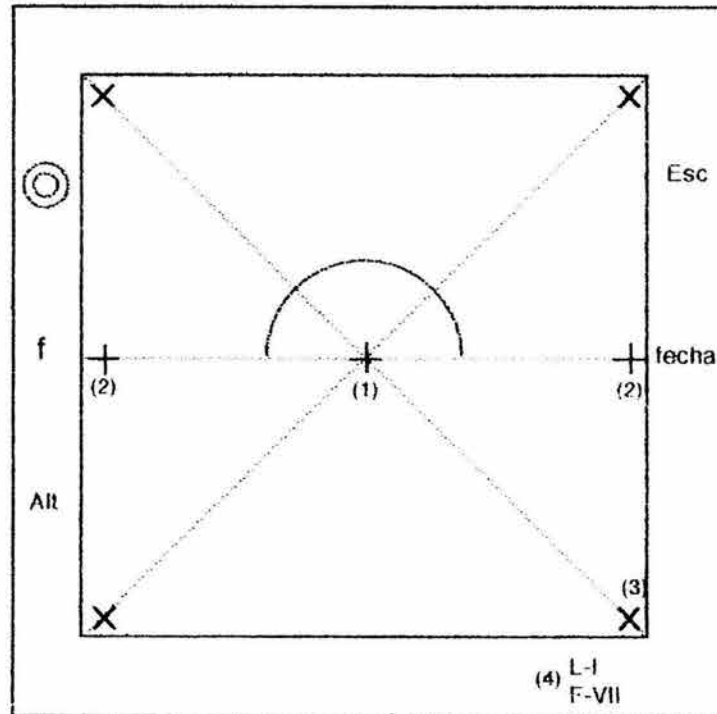


Fig. 2.6 Sobreposición lateral y transversal de las fotografías aéreas

Una fotografía aérea cuenta con los elementos siguientes:



f.- Distancia focal.

Alt.- Altura de vuelo.

Esc.- Escala de la fotografía (opcional)

(1).- Punto principal de la fotografía, se obtiene uniendo las marcas fiduciales o de colimación que, por lo general, están en las esquinas de la fotografía.

(2).- Puntos principales transferidos. Entre ellos debe haber un ángulo de $\pm 180^\circ$; si estos puntos no se encuentran a esa distancia angular, se debe a que el avión tuvo un movimiento de deriva que puede permitirse hasta los 10° .

(3).- Marcas fiduciales o de colimación

(4).- Número de línea y de fotografía.

La escala en una fotografía no es uniforme, más bien, la fotografía presenta un número infinito de escalas, debido a su proyección, que posee una perspectiva central; así, para pasar de la fotografía al mapa, se requiere del proceso de la restitución fotogramétrica.

2.1.3. Utilidad, aplicaciones y complementos de apoyo.

La utilidad que puede darse a las fotografías aéreas parece ser infinita, casi cualquier proyecto de índole territorial debe considerar a la fotografía aérea entre sus herramientas más útiles, ya que su acopio de información es económico, veloz y práctico. La obtención de cartografía, los estudios geográficos, los análisis de posibilidades, los inventarios de recursos, los proyectos de desarrollo, la geología, la ecología, la arqueología y los catastros urbanos, son algunos de los campos de aprovechamiento posibles.

La fotografía aérea tiene muchas aplicaciones; sin embargo, se pueden englobar en las siguientes:

- Que los cartógrafos utilicen estos materiales para la elaboración de cartas.
- Que los intérpretes entrenados utilicen las fotografías aéreas para determinar la distribución de los rasgos edafológicos, geológicos, vegetativos, los diversos usos de suelo, condiciones ambientales, etc.
- Para la toma de decisiones urgentes en caso de desastres naturales.

Aunque tanto los mapas, como las fotos aéreas presentan una visión a "ojo de pájaro" de un territorio, las fotografías aéreas no son mapas. Anteriormente se mencionó que los mapas son representaciones cartográficas de la superficie terrestre y que las fotografías son perspectivas de punto central con una deformación radial a partir del isocentro de la fotografía, que es el ángulo bisectriz formado por el punto nadir y el principal. Sin embargo, las fotografías aéreas son una herramienta muy poderosa para estudiar el ambiente de la Tierra, debido a que poseen un gran detalle, y utilizan la generalización característica de todo mapa.

Las fotografías aéreas resultan una fuente de datos excelente para muchos tipos de proyectos manejados en los SIG, especialmente los que requieran datos espaciales de una misma localización en intervalos periódicos de tiempo.

La ciencia ha producido excelentes complementos y apoyos para la fotografía aérea que han ampliado el campo de aprovechamiento de la misma, a continuación se citan dos ejemplos:

La **geodesia moderna**, al combinarse con la fotografía aérea, produce imágenes geo referenciadas, de precisiones asombrosas aprovechando la tecnología satelital y con ello la posibilidad de obtener mapas y foto mapas más exactos que cualquiera, antes producidos.

La **geomática**, (geografía a través de la informática) permite una más veloz y práctica obtención, guardado, extracción y aplicación de la información mediante diferentes medios, entre los que conviene mencionar: la restitución digital y la orto foto restitución. Aparte de poder conservar toda la información en archivos digitales, al alcance de la punta de los dedos.³²

2.1.4. Ventajas en el manejo de las fotografías aéreas.

La fotografía aérea posee algunas ventajas sobre la observación directa en el terreno, entre ellas se pueden destacar:

- La posición ventajosa con respecto a la observación del terreno.
- La capacidad para detener el movimiento.
- El suministro de un registro permanente.
- La sensibilidad espectral más amplia que el ojo humano.

2.2. Equipos e instrumentos requeridos.

2.2.1. Cámaras fotográficas.

Existe una gran variedad de cámaras fotográficas como son las Reflex de 35 mm (más comunes), aéreas, las de campaña, las plegables, miniaturas, instantáneas, turísticas, panorámicas, de prensa, de espionajes, submarinas, etc.; todas tienen características comunes: una determinada distancia focal y un formato establecido al que deben responder y captar las diferentes imágenes para las que están diseñadas.

³² Id.

Las cámaras fotográficas, hablando genéricamente, tienen cierto parecido con el ojo humano, porque registran de manera muy similar las relaciones entre las luces y sombras, además sitúan las posiciones relativas y los tamaños de los objetos en una perspectiva.

La cámara fotográfica funciona teóricamente de la manera siguiente: la luz atraviesa la lente y ésta se controla por medio del diafragma ajustable; para regular el tiempo de exposición de la fotografía, la cámara está provista de un obturador que permite el paso de la luz por un cierto tiempo, en ese instante la luz llega al objetivo sobre el material sensible durante lapsos que llegan a ser de una milésima de segundo o aún menores.

Todas las cámaras deben tener un visor y un objetivo que sea adecuado para no admitir más luz de la que se requiere. Las cámaras fotográficas deben reunir las características siguientes:

- El objetivo debe estar fijo y a la distancia conveniente de la emulsión para que la imagen se encuentre claramente enfocada.
- El eje del objetivo debe ser perpendicular a la superficie de la emulsión y estar en el centro de esta superficie.
- Debe tener un dispositivo práctico y preciso para enfocar la imagen.
- Tener un sistema que permita abrir el objetivo, con el fin de que por él pase la luz por un tiempo determinado.
- Tener un procedimiento para introducir la emulsión sensible y retirarla después, sin que llegue ninguna luz, excepto la de la imagen.
- Debe tener un dispositivo que permita observar con una precisión aceptable lo que el fotógrafo quiera tomar.³³

Las cámaras fotográficas tienen una distancia focal, este concepto se refiere a la distancia perpendicular que va desde el nodo posterior de la lente de una cámara hasta el plano focal, siempre y cuando la cámara se encuentre enfocada al infinito.

³³ J. Caire. *Fotogrametría-I*. Pág. 66

2.2.1.1. Cámaras Fotográficas Aéreas

La cámara aérea constituye un elemento muy importante para la Fotogrametría porque ésta es una disciplina de carácter geométrico que consiste en establecer mediciones por medio de las fotografías.

Las cámaras aéreas se han desarrollado para obtener alta precisión, alto poder de resolución y una distorsión mínima, cualidades con las que se han permitido los avances significativos en el progreso de la Fotogrametría.

Las cámaras aéreas han tenido varios diseños; sin embargo, para las aplicaciones de ingeniería y cartografía las cámaras de un solo objetivo suelen ser las más comunes. En este tipo de cámaras la lente está en una posición fija con relación al plano focal, su distancia focal oscila entre los 15 cm y su formato es de 23 x 23 cm aproximadamente; este tipo de cámaras suelen ser casi estándar.

Las cámaras fotográficas aéreas se sujetan al avión de manera indirecta ya que están suspendidas en un montaje que les permite libertad para girar alrededor de los tres ejes principales. Todas las cámaras funcionan de manera automática porque incluyen un intervalómetro que regula el intervalo entre exposiciones, también poseen un visor que asegura la adecuada orientación de la cámara respecto a la línea de vuelo deseada.

Las cámaras fotogramétricas están compuestas de los siguientes elementos:

- Sistema óptico
- Cuerpo de la cámara,
- Magazine
- Equipos accesorios.

El sistema óptico de la cámara se constituye de:

- La **lente**; debe estar perfectamente pulida y tener aberraciones en un grado mínimo, debe tener una resolución de alta calidad y poseer la adaptabilidad a los tres diferentes tipos de conos objetivos que son normal, gran angular y súper gran angular.

- El **obturador** es el dispositivo mecánico que deja pasar la luz al interior de la cámara durante el intervalo de exposición. El obturador para la mayoría de las cámaras es de diafragma. Los obturadores permiten tiempos de exposición desde 1/100 hasta 1/200 segundos.
- El **diafragma** es una abertura circular situada detrás del objetivo de la cámara y que funciona en sincronía con el obturador a fin de que la luz pueda pasar a la cámara oscura.
- Los **filtros**; son hechos de gelatina o bien de cristal, se colocan delante del objetivo de la cámara y tienen diferentes funciones, como alterar el color, modificar el contraste o el brillo, minimizar la neblina, etc.

El cuerpo de la cámara se constituye del plano focal, registros de toma y las marcas fiduciales.

El Magazine es la parte de la cámara donde se encuentra la película que se utilizará. Esta película tiene compuestos químicos, una base y dos capas protectoras respectivas, cuyo espesor depende de la longitud de la película.

Los equipos accesorios de las cámaras aéreas se dividen en dos tipos: los que controlan los elementos angulares y la orientación interna de la cámara, y los que controlan las distancias. Dentro del primer grupo se encuentran: la cámara de horizonte, los giroscopios y el periscopio solar. En el segundo grupo se encuentran: el estatoscopio, el APR (Analitical Profile Recorder), Shoran, Aerodist, Hiran, etc. En el equipo accesorio también se encuentran los visores o anteojos de navegación, los cuales amplían la visibilidad del fotonavegante, los fotómetros y el exposímetro. (ver glosario)

Otras características de las cámaras fotográficas aéreas que detalla J. Caire en su libro Fotogrametría Aérea (2003) son:

- Las cámaras aéreas tienen un campo de imagen de 60°, 90° y 120° en las cámaras normales, gran angulares y súper gran angulares, respectivamente.³⁴

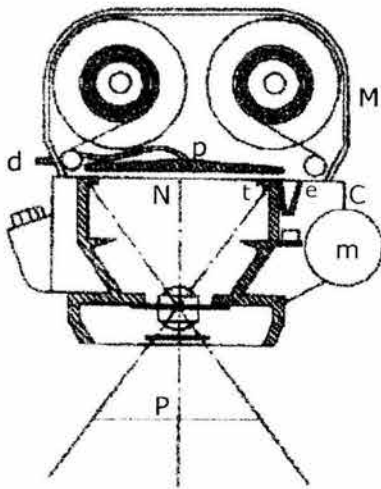
³⁴ Las cámaras normales tienen una distancia focal promedio de 310 mm, las gran angulares de 150mm y las súper gran angulares de 88 mm.

- El cono de la lente posee el objetivo de la cámara; funciona como una especie de filtro de luz donde toda la irradiación que pase a través de él, llega al plano focal para plasmarse en la emulsión; el cono también contiene las marcas fiduciales. Los materiales con los que está construido tienen escaso coeficiente de dilatación a fin de mantener los elementos de la cámara de la manera más rígida posible.
- El objetivo de una cámara se constituye por un grupo de lentes corregidas del mayor número de aberraciones.
- El marco materializa el plano focal y contiene toda la información marginal de la fotografía.

Las cámaras fotográficas aéreas poseen una orientación interna, en la que se establece el punto principal con respecto a su propia distancia y a partir de las marcas fiduciales o de colimación.

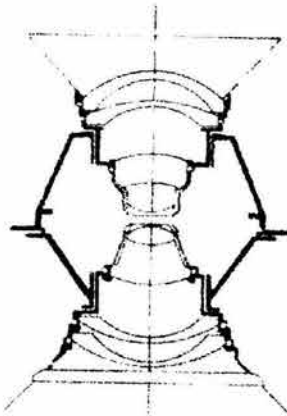
La calidad de las cámaras aéreas se determina por los resultados de calibración. Esta prueba contiene el informe de varias características métricas, como son: distancia focal, distorsión de la lente, resolución (tamaño mínimo de detalle que pueda detectarse e interpretarse), localización real del punto principal respecto a la intersección de los puntos de colimación (fiduciales).

A continuación se muestran algunos esquemas relacionados con las cámaras fotográficas aéreas.



- M: Magazine intercambiable
- C: Cuerpo de la Cámara
- d: dispositivo de presión (planicidad de la película)
- e: registro de las características de la fotografía : nivel, misión, fecha, número de orden, etc.
- t: comando del tiempo de exposición
- m: motor
- N: Negativo
- P: Positivo

Fig. 2.7 Esquema de una cámara fotográfica
Fuente: J. Caire. Fotogrametría Aérea. Pág. 71



El objetivo debe tener las siguientes cualidades:

- * Excelente nitidez
- * Campo angular amplio
- * Gran claridad
- * Poca curvatura de campo
- * Poca distorsión o muy simétrica

Fig. 2.8 Esquema del objetivo de la cámara aérea.
Fuente: J. Caire. Fotogrametría Aérea. Pág. 71

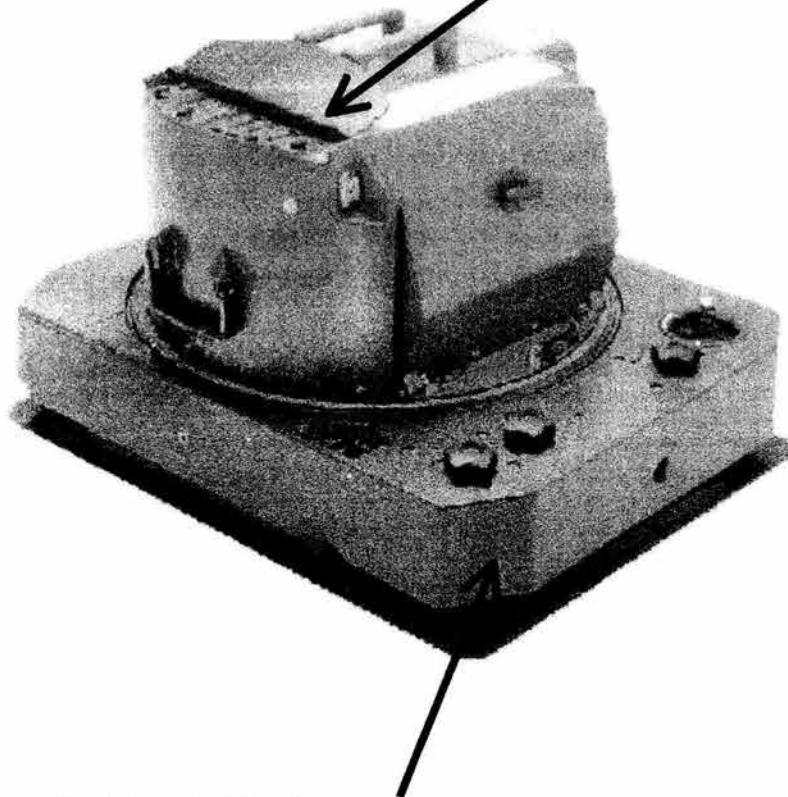
En años pasados, las cámaras más utilizadas fueron la RC-8, y RC-10 con que se elaboraron muchos de los primeros catastros fotogramétricos en nuestro país. Actualmente la cámara RC-30 tiene una gran difusión y sus características específicas se tratarán en las páginas siguientes ³⁵.

³⁵ La sigla RC identifica este tipo de cámaras con la marca Wild, y el número identifica el modelo de la cámara

Componentes del Sistema de la Cámara RC-30 ³⁶

PTW30 - Unidad de Transporte:

- Avance de película
- FMC: Compensación del Movimiento de Avance
- Electrónica de control
- PEM-F: Exposímetro Automático
- Anotación de datos en los Márgenes de la Foto



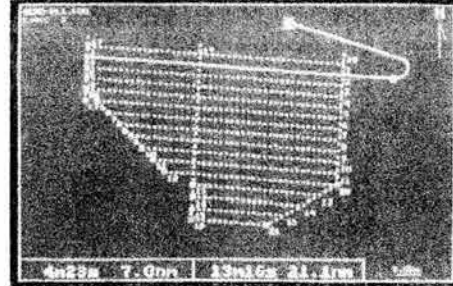
PAV30 - Suspensión Giroestabilizada:

- Estabilización de balanceo y cabeceo
- Rango de compensación $\pm 5^\circ$
- Estabilidad del Nadir $\pm 0.2^\circ$
- Compensación de deriva $\pm 30^\circ$
- Conexión a sistemas de navegación (FMS) para la Compensación Automática de la Deriva

³⁶ Todas las imágenes correspondientes a los avances que presenta la cámara RC-30 (páginas 67-72) fueron tomados de Guillermo M. Gallo (2001). *Sistemas de Cámara Aérea LH Systems de Última Generación*. LH Systems.
<http://www.lh-systems.com/espanol/pdfs/RC30.pdf>

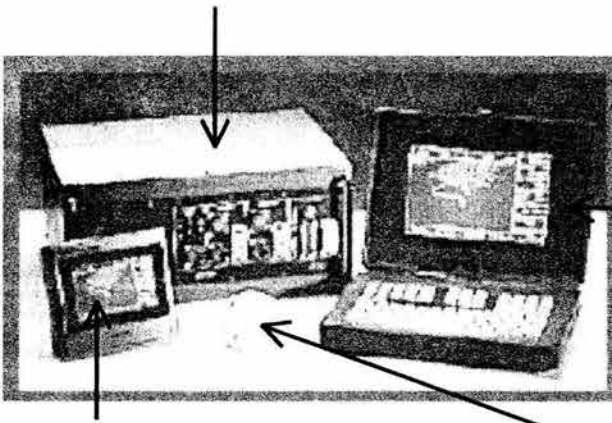
A la cámara RC-30 se le puede conectar el Sistema de Navegación de precisión con terminal Ascot, el cual permite:

- Repetición precisa de fotos ó líneas
- Disparo automático de la cámara
- Anotación de datos preestablecidos en cada toma
- Registro de mediciones GPS para la determinación de los centros de proyección
- Despliegue gráfico tipo mapa para la aproximación al proyecto
- Indicación de tiempos y distancias
- Ayuda a la Navegación para la entrada Óptima a la Línea
- Navegación Precisa Sobre la Línea con zonas de tolerancia claramente indicadas



El Sistema de Navegación Ascot posee:

Computador de control (ACU30E) que contiene las especificaciones aeronáuticas y es compatible con PC



Terminal para el Operador (AOT30C) donde se visualizan las especificaciones aero-náuticas en una pantalla gráfica a colores de fácil lectura

Pantalla gráfica para el Piloto (APV30). Tiene un diseño compacto de 4 x 6 pulgadas

Dos Opciones de Equipo GPS Integrado:
- Receptor GPS Integrado en el gabinete:
- Actualizable por Software a Doble Frecuencia

Instalación en el Avión

- (1) Antena de GPS
- (2) Computador Ascot
- (3) Visor de Navegación con Terminal Ascot
- (4) Pantalla para el Piloto
- (5) Cámara
- (6) Equipo GPS de Referencia en Tierra



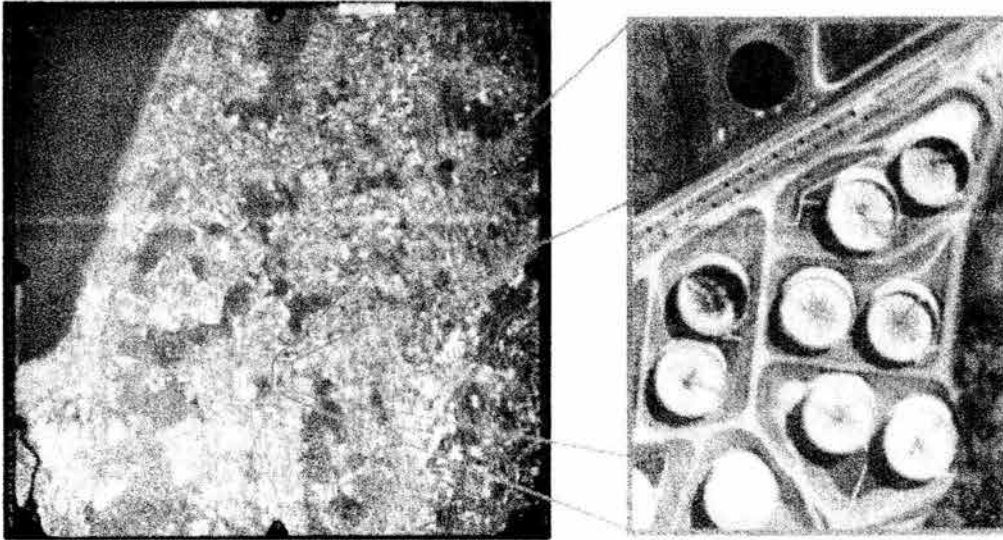
Visor de navegación

La cámara RC-30 posee algunos avances en tres rubros importantes para la fotogrametría:

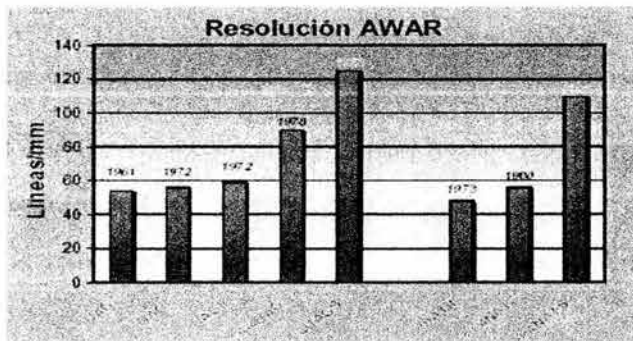
- Avances Ópticos
- Avances Mecánicos
- Avances Electrónicos

Avances Ópticos

- Alta definición de la imagen

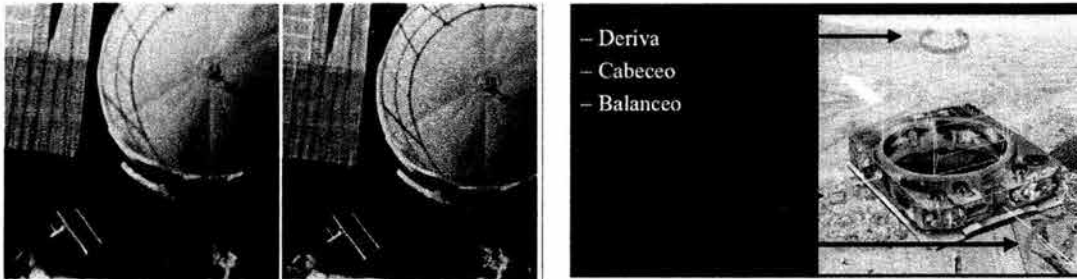


- Resolución óptica superior a 120 líneas/mm²

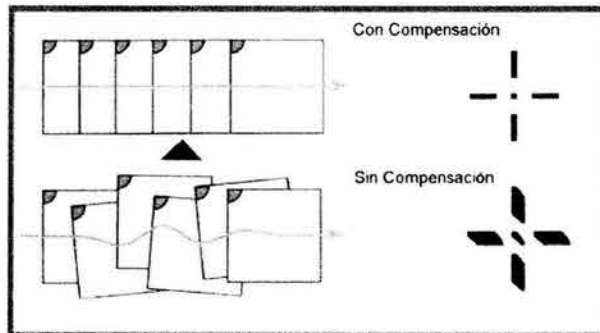


Avances Mecánicos

- Compensación del movimiento de avance
- Compensación Giroestabilizada de:



- Compensación del efecto de cabeceo y balanceo en la imagen



Avances Electrónicos

- Sistemas de control inteligentes integrados en la cámara
- Computador de misión fotográfica
- Navegación de precisión con sistemas GPS de alto desempeño
- Exposímetro automático con sensor incorporado en el cono



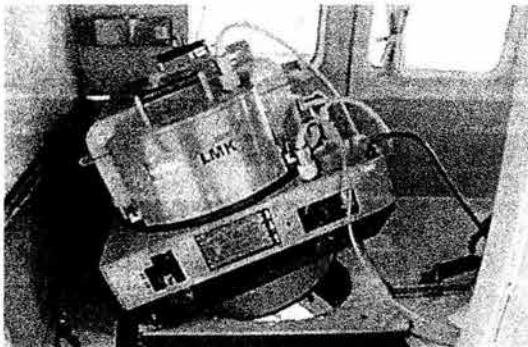
Puntos Fuertes de la Cámara Aérea

- Es el sensor de mayor resolución
- Gran flexibilidad de escala
- Disponibilidad inmediata
- Puede trabajar bajo las nubes
- Gran variedad de materiales fotográficos

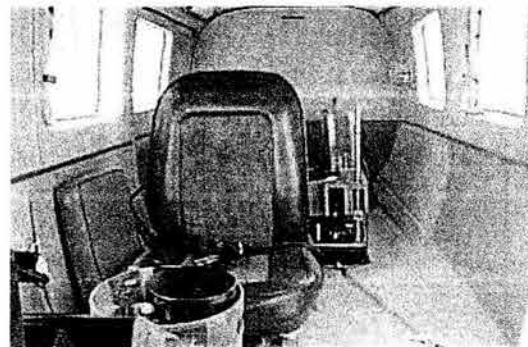


El INEGI, por su parte está utilizando la cámara Jena LMK 2015, cuyos avances ópticos, mecánicos y electrónicos son muy parecidos a la cámara RC-30; sin embargo, la marca es distinta y por consiguiente ofrece algunas otras alternativas.

A continuación se mostrarán alguna serie de imágenes de la cámara LMK 2000 que muestra la Oficina de Ingeniería Aérea de Ohio, EUA. ³⁷

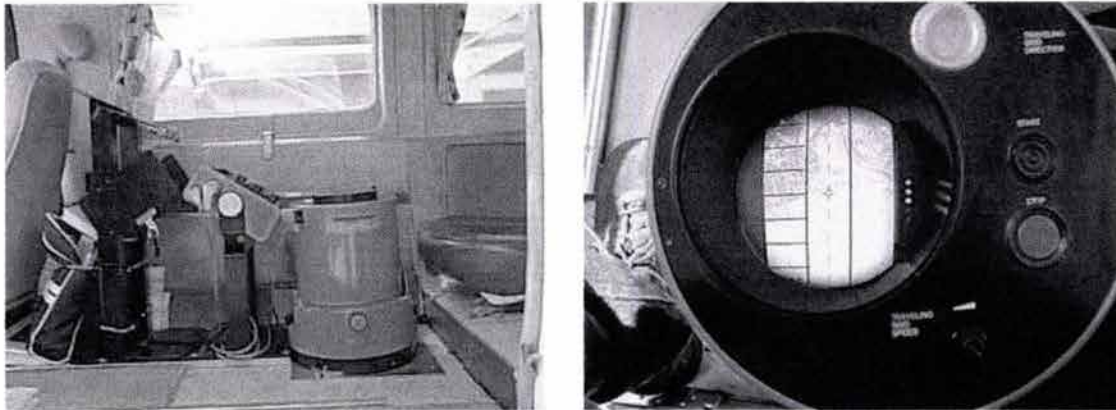


A



B

³⁷ Office of Aerial Engineering. (2002). <http://www.dot.state.oh.us/aerial/HistoryYear.asp?Y=1990>



C

D

Fig. 2.9

- A) Cuerpo de la cámara LMK 2000, el cual puede inclinarse para acceder a las lentes.
- B) Cámara y visor instalados en el avión de vuelo.
- C) Visor de la Cámara LMK 2000.
- D) Pantalla de proyección del visor de la cámara LMK 2000

2.2.2. Películas

La película, consiste en un rollo de acetato de 24 centímetros de ancho por longitud variable, generalmente de 30, 45 ó 60 metros, montado en un carrete de metal, muy similar a lo que pudiera parecer un rollo común de película fotográfica comercial, aunque en otro tamaño.

Las películas poseen diversas emulsiones, las cuales son sustancias que tienen la propiedad de reaccionar químicamente a las radiaciones del espectro luminoso. Existen diferentes emulsiones como la pancromática, infrarroja, de color y de falso color. Generalmente, en las fotografías aéreas se utiliza la película en blanco y negro que posee la emulsión pancromática. Es una película sensible a todo el espectro visible pero que lo registra en la escala de grises.



Fig. 2.10 Fotografía Aérea en película de blanco y negro
Fuente: Servicio Aerofotogramétrico. Fuerza Aérea de Chile (2004)

La emulsión pancromática es muy equilibrada para reaccionar a la luz. Se utiliza en todos los campos porque permite tener una memoria visual muy extensa y de acuerdo con la realidad.

La emulsión de color "permite el registro del espectro visible sobre tres capas correspondientes a tres emulsiones diferentes situadas en la misma base o soporte [...] la capa que es coloreada en amarillo, es sensible a la parte inferior del espectro (azul), la segunda capa que es coloreada en magenta es sensible a la parte media (verde) y la tercera parte que es coloreada en cian es sensible a la parte superior (rojo)." ³⁸

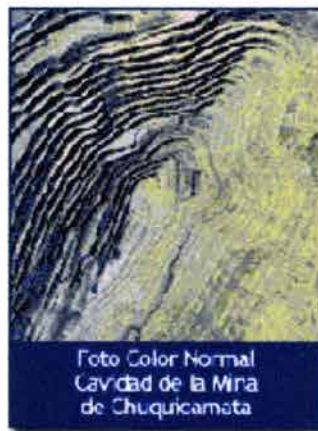


Fig. 2.11 Fotografía aérea con emulsión a color
Fuente: Servicio Aerofotogramétrico. Fuerza Aérea de Chile (2004)

³⁸ R. Betancourt Arce. *Op cit.* Pág. 167

Los resultados obtenidos sobre la película son muy satisfactorios; sin embargo, los tirajes del papel no son lo suficientemente buenos en cuanto a la resolución de la imagen y reproducción de los colores.

La película infrarroja de color a menudo es llamada película de "falso-color". La primera película infrarroja (IR) confiable en blanco y negro que fue desarrollada en Alemania y apareció aproximadamente en 1903 ó 1904. La emulsión de la película regular estaba modificada ligeramente para que resultara sensible a las longitudes de onda de energía, levemente más largas que la luz roja y justo por abajo del rango de alcance del ojo humano. Por los años treinta, las películas IR en blanco y negro eran utilizadas para estudios de conformación de suelos, y a partir de 1930 a 1932 la Sociedad Geográfica Nacional de los Estados Unidos, patrocinó una serie de fotografías IR tomadas desde globos aerostáticos.

Durante los años treinta y cuarenta, los militares impulsaron vigorosamente las investigaciones sobre la película infrarroja de color, impacientes por explotarla para la vigilancia y el espionaje. En los primeros años de la década de 1940, los militares habían acertado en sus tentativas; desarrollaron una película que podía distinguir el equipo camuflado de la vegetación circundante. Pero en unos cuantos meses, sin embargo, fue desarrollada una pintura reflejante de IR con gran eficacia, tornando inútil para los militares la tecnología de la película IR. Así pues, la descontinuaron como arma de detección.

La comunidad científica ha continuado haciendo uso de la tecnología de la película IR. La fotografía infrarroja de color se utiliza primordialmente en estudios de vegetación, ya que la vegetación sana es un reflector muy fuerte de radiación infrarroja y aparece como rojo brillante en las fotografías infrarrojas, la vegetación enferma o mal irrigada se registra en tonos de rojo oscuro, y la vegetación muerta, seca, se observa en tonos de café. A partir de la década de los noventa y de cara a aplicaciones de cartografía temática se inician las campañas de vuelos de infrarrojo color que utilizan una película falso color sensible al infrarrojo próximo.



*Fig. 2.12 Fotografía aérea con emulsión en infrarrojo de falso color
Fuente: Servicio Aerofotogramétrico, Fuerza Aérea de Chile (2004)*

Esta emulsión no tiene aplicación en fotogrametría y tampoco sirve para la identificación de formas en la fotointerpretación.

La emulsión infrarroja posee una gama más abierta de posibilidades. Cubre una parte con rayos ultravioleta y otra parte con el espectro infrarrojo cercano. Tiene el máximo de su sensibilidad en la banda infrarroja y por ello ofrece mayor información al usuario que la fotografía pancromática.

2.2.3. Aviones

Los aviones son también importantes para la Fotogrametría, ya que gracias a ellos se pueden obtener las tomas fotográficas. Durante los inicios de la Fotogrametría había un serio problema en la utilización de aviones porque éstos no eran muy estables, no alcanzaban grandes alturas y no podían sostener vuelos muy largos, se emplearon cometas, globos cautivos y globos libres con el fin de elevar las cámaras. Con el avance de la tecnología, este problema fue quedando atrás y ahora existen varios tipos de aviones que se pueden utilizar para esta actividad; incluso, hay aviones diseñados específicamente para satisfacer los fines fotogramétricos.

Los aviones que cumplen con los trabajos fotogramétricos deben tener las características siguientes ³⁹:

- Radio de acción: Es la capacidad de la aeronave para trasladarse del aeropuerto y/o hangar, a la zona que se quiere fotografiar, tomar las fotografías necesarias y regresar de nuevo al aeropuerto y/o hangar. También es necesario que se tome un lapso adicional, por si ocurren algunos sucesos imprevistos y algunas maniobras necesarias para la realización del trabajo.
- Techo y altura de vuelo: El techo es la capacidad del avión para alcanzar la máxima altitud sobre el nivel del mar; la altura de vuelo es la distancia que hay entre el objetivo de la cámara y un plano medio del terreno, esta distancia también es conocida como plataforma de cámara.
- Estabilidad y marcha homogénea: Estas características se refieren a la intensidad del balanceo y las vibraciones de una aeronave. La estabilidad del avión es importante porque la cámara está sujeta al piso del avión; por lo tanto, participa tanto de su balanceo como de sus vibraciones. La marcha homogénea tiene que ver con la velocidad del crucero, que es la velocidad normal del avión en condiciones ambientales óptimas. Es importante que esta velocidad sea homogénea para que haya una correcta sobreposición lateral en las fotografías.
- Capacidad de carga y de maniobras en su interior: En todas las aeronaves que se utilizan con fines fotogramétricos, es necesario tomar en cuenta el espacio que se tiene para operar el instrumental, el cual, dependiendo del caso, puede constar de dos o tres cámaras fotográficas, porque a veces, los diversos trabajos exigen tomar fotografías con cámaras diferentes que pueden contener distintos tipos de filtros, películas, etc.

Los aviones fotogramétricos también cumplen con ciertos requisitos adicionales, tales como:

³⁹ J. Caire. *Fotogrametría Aérea*. Pág. 65

- Buena visibilidad, tanto para el piloto como para el observador; es decir, que no haya puntos muertos en la visión desde el horizonte hasta el nadir.
- El tren de aterrizaje no debe impedir la visibilidad para las tomas de fotografías verticales u oblicuas.
- Carga útil de 300 a 400 kg.
- Cabina espaciosa que permita la instalación la cámara.
- Comunicación segura entre toda la tripulación.
- Perfecta sincronización de motores, en caso de que el avión sea multimotor.
- Los tubos de escape deberán estar colocados de modo tal, que no ensucien los elementos ópticos. ⁴⁰

Los aviones que se utilizan, generalmente son de gran estabilidad de vuelo, y dotados de motores que transmitan escasas vibraciones a la cámara, pero con suficiente poder para lograr, alcanzar y sostener, alturas que permitan las escalas de trabajo necesarias; aunque ocasionalmente y de acuerdo a posibilidades o circunstancias, se pueden ver desempeñando estas funciones otros aparatos diferentes: helicópteros, jets, ultra ligeros, y hasta globos.

Los globos aerostáticos pueden utilizarse para elevar la cámara más allá de 300 m. Son útiles para proporcionar una cobertura fotográfica pequeña a escalas grandes, pero su uso actual no es muy común debido a los efectos de deriva.

Los aviones ultraligeros no se utilizan mucho para las prácticas fotogramétricas debido a su poca estabilidad y la escasa cobertura que ofrecen. El techo de este tipo de aviones puede llegar a los 6,000 m.

Los monomotores ligeros tienen un rango de utilidad limitado porque sólo vuelan hasta altitudes por debajo de los 3,000 m. Si bien su techo es de 4,500 m, una altitud cercana a dicha cifra hace que el soporte de la cámara quede fuera de control.

Los aviones bimotores tienen una mayor seguridad en la operación debido a su motor extra. El techo de este tipo de aeronaves es de 6,000 m y los aviones con motores alternativos turboalimentados, tienen un techo de hasta 7,500 m.

Los turbohélice se utilizan para trabajos de altitudes que oscilen entre los 4,500 m y 10,000 m; tienen elevados costos y en lugar de gasolina, utilizan keroseno como combustible. La velocidad del crucero es mayor que todos los tipos de aviones anteriores, poseen una

⁴⁰ Schwidewfsky, K. *Fotogrametría Terrestre y Aérea*. Pág. 112.

mayor capacidad de carga y tienen un mayor radio de acción. La plataforma de este tipo de aviones es una herramienta útil en los grandes proyectos, porque se puede sobrevolar en áreas extensas y alejadas de las bases operacionales. Este tipo de aviones son considerados como los más apropiados para realizar los trabajos fotogramétricos debido a su gran versatilidad, su bajo costo de combustible, a su gran maniobrabilidad en el aterrizaje y a su ala alta que le otorga una mayor estabilidad.

El avión Jet tiene una plataforma disponible para las operaciones normales de prospección por encima de los 9,000 m y hasta los 16,000 m. J. Caire destaca en su libro "Fotogrametría Aérea" que el "INEGI ha utilizado el modelo Learjet, tipo ejecutivo para los trabajos de fotogrametría; y ha equipado a los aviones con cámaras [...]; como equipos auxiliares utilizan 14 giroscopios, que aunados a la estabilidad del avión, ofrecen óptimos resultados" ⁴¹. Algunos aviones jet ligeros han sido modificados de las puertas y ventanas, a fin de que la cámara se extienda hacia afuera sobre un soporte hecho en un panel inclinado.

Las aeronaves más usadas en nuestro país son las llamadas "avionetas" Cessna, Piper, y similares, en versiones de 4 y de 6 plazas, así como algunos aparatos de mayor tamaño, en caso de vuelos muy altos (aero-commander, citation, etc).⁴²

Para la toma de fotografías aéreas el INEGI dispone de los aviones siguientes ⁴³:

- Dos aviones Learjet (Learjet 25 y Learjet 35), para la toma de fotografía de vuelo alto (escalas de 1:50,000 a 1:75,000).
- Dos aviones Cessna Conquest para la toma de fotografías en escalas de 1:10,000 a 1:60,000.
- Un avión Cessna 310 para vuelos bajos (escalas de 1:4,000 a 1:10,000)

⁴¹ J. Caire. *Fotogrametría Aérea*. Pág. 67

⁴² <http://iit.jalisco.gob.mx/Definiciones/deffotoaerea.html>

⁴³ INEGI (2003). <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/fotoaer/fotoaerea.cfm?c=204&e=28>



Fig. 2.13 (a) Learjet25
Fuente: <http://www.aviatorsale.com>

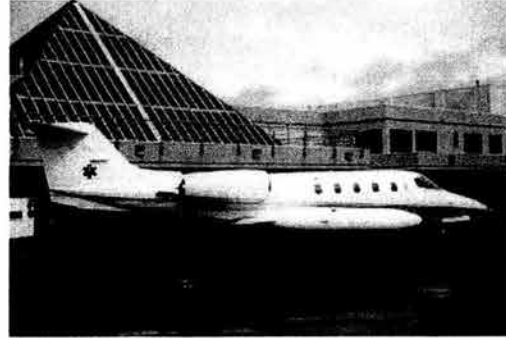


Fig. 2.13 (b) Learjet 35
Fuente: <http://www.aviatorsale.com>



Fig. 2.13 (c) Cessna Conquest
Fuente: <http://www.aviatorsale.com>



Fig. 2.13 (d) Cessna 310
Fuente: <http://www.aviatorsale.com>

También se utilizan las aeronaves Caravan como la que se describe a continuación:



Fig. 2.14. Avioneta Caravan C208.
Fuente: <http://www.tudnei.com.br/FAB/port/c-28.html>

La Caravan C208 es una aeronave turbohélice con capacidad para 12 pasajeros o 1,500 kg de peso. Tiene una autonomía de vuelo de 7:30 hrs, y es muy útil para las operaciones en los aeropuertos pequeños. Tiene una velocidad de crucero de aproximadamente 280 km/hr. Es una aeronave fabricada por Cessna, de fácil mantenimiento y gran seguridad.

2.3. Procesos de laboratorio y digitales de las fotografías aéreas

Las fotografías aéreas después de haber sido tomadas (exposición), pueden estar en forma de negativo, o bien de positivo; sin embargo, no se podrán ver hasta que hayan pasado los procesos de revelado y fijado.

La exposición es la cantidad de luz que actúa en una unidad de superficie de una placa o película sensibilizada; es el producto de la intensidad o potencia luminosa y el tiempo de exposición. El tiempo de exposición es el lapso durante el cual un material sensible está sujeto a la luz o a la acción de ésta. Así pues, la película fotográfica se expone y entra en ella una cantidad de luz que dependerá del tiempo de exposición y de la abertura del diafragma de la cámara.

El revelado es el sometimiento de un material o superficie a la acción de las sustancias químicas con el fin de hacer aparecer lo invisible; es decir, la imagen latente producida por la acción de la luz en una superficie sensibilizada. Entonces, se debe entender que con el revelado, la imagen que se ha tomado en la película aparecerá, ya sea en forma de positivo o negativo.

El fijado es un procedimiento para hacer permanente la imagen fotográfica revelada, mediante la remoción de material sensibilizado, no afectado por la luz.

La luz que es captada por los ojos, es una porción del espectro de energía electromagnético que proviene del Sol en forma de onda corta, incide sobre los objetos y es reflejada por éstos dentro del rango visible que está entre los 0.4 micrómetros (μm) y los 0.7 μm .

Las ondas infrarrojas cercanas parten de los 0.7 μm a los 1.2 μm . Este tipo de películas puede ser en blanco y negro o color, como se mencionó anteriormente.

Las películas pancromáticas se utilizan por lo general para obtener fotografías que sirvan para los estudios de planificaciones urbanas. En cambio, las películas infrarrojas han sido muy eficaces para estudios de suelos, cultivos, humedad etc.

Las fotografías comerciales son obtenidas en negativo, el cual está sensibilizado; así pues, suponiendo que una persona es retratada con una camisa blanca y un pantalón negro; en el negativo, que es sumamente sensible, aparecerá la camisa de color negro y el pantalón blanco. Ésto se debe a que el negativo se ha quemado más en la parte de la camisa porque reflejó más luz que el pantalón, que era negro y por lo tanto la película no tuvo quemaduras o grabaciones. El negativo se convierte a positivo por medio de las ampliadoras que son fuentes de luz, misma que se proyectará sobre el negativo que permitirá o no, dejarla pasar. Volviendo al ejemplo de la persona retratada, la luz es emitida por la ampliadora y va a dar al negativo. Como éste es negro, en la parte de la camisa, no dejará que la luz se filtre; en cambio, en la parte del pantalón, la película es blanca y la luz pasará quemando ahora el papel fotográfico sensibilizado. De esta manera, las tonalidades en el papel fotográfico deben quedar de forma muy similar a la original, dependiendo siempre del tipo de emulsión de la película. El papel se somete a químicos que hacen aparecer la imagen tomada y luego al proceso de fijado para hacer perdurar la imagen y que ésta pueda salir del cuarto oscuro sin sufrir quemaduras, distorsiones, o en un futuro, la pérdida de la imagen.

Análogamente al ejemplo expuesto con anterioridad, la película de las fotografías aéreas es obtenida en negativo y luego es positivada por copias de contacto, lo que reduce las deformaciones por ampliación, pero hay casos en los que es posible trabajar en películas diapositivas pancromáticas o infrarrojas. Estas películas diapositivas se revelan y quedan los colores originales sensibilizados. El tratamiento de este tipo de películas debe tener un cuidado extremo porque son muy inestables a los agentes externos.

El tratamiento de las películas que generan las fotografías aéreas debe ser muy cuidadoso, porque en caso de haber algunas fallas, las fotografías pueden tener modificaciones que afecten al momento de estudio, ya sea en cálculos fotogramétricos o en la fotointerpretación. Se deben evitar a toda costa, las manchas que en ocasiones, los químicos dejan en las fotografías al momento del revelado del negativo o de la fotografía misma, pues ésto puede redundar en una mala interpretación de la fotografía o en el ocultamiento de los detalles que se analizan en la fotointerpretación.

El Diario Oficial de la Federación del 29 de marzo de 1985, y sus modificaciones realizadas el 20 de agosto de 1999, tienen algunas especificaciones con respecto al procesamiento de los negativos, una vez que se ha tomado la fotografía aérea.

Existe otro tipo de procesamiento de las fotografías aéreas: el digital. Las fotografías pueden ser llevadas a la computadora a través de la digitalización de las imágenes (escaneo), lo que redundará en beneficios, porque las fotografías quedarán rectificadas de una manera mucho más precisa; además, podrán estar georreferenciadas con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

Las fotografías se escanean, ya sea en blanco y negro o en color, y se les aplica una resolución que tendrá como unidad el píxel. El píxel (picture element) se define como la unidad elemental o mínima de las imágenes generadas por herramientas de teledetección. La resolución que se les aplique a las fotografías aéreas deberá estar en función de la escala de la fotografía y el número de píxeles por pulgada (dpi).

La digitalización de las fotografías, como se mencionó, tiene grandes beneficios; no obstante, hay que tener muy en cuenta los problemas que ésta puede tener para corregirlos oportunamente. La fotografía aérea tiene una deformación radial que es inherente a ellas, así que al momento del escaneo, esta deformación se transfiere y la fotografía se debe llevar a los programas específicos de aerotriangulación digital. Por otro lado, el escáner puede añadir ciertas fallas a la fotografía referentes a la escala, o distorsiones, si no está correctamente calibrado, también puede agregar basuras a la fotografía, en caso de que el escáner se encuentre sucio.

Otra posibilidad de obtener fotografías aéreas digitales es tomarlas de una cámara digital que guardará las imágenes y las descargará directamente en el sistema de cómputo. Las imágenes aéreas digitales utilizan la "tecnología CCD (Charge Couple Devices) fija y de barrido, posibilitando la utilización de las imágenes de manera inmediata. Esta tecnología en corto tiempo, reemplazará de manera definitiva a las cámaras convencionales"⁴⁴

⁴⁴ Aeroterra, S.A. <http://www.aeroterra.com/HTMs/RelAereos.htm>

2.4. Normas Técnicas para levantamientos aerofotográficos.

El vuelo se debe revisar una vez que ha concluido. Es muy importante que no queden lagunas o huecos, tampoco es permitido que haya bancos de nubes o gran cantidad de sombras.

Si las fotografías no se obtuvieron con las características deseadas por la empresa; o bien, por las especificaciones del Diario Oficial de la Federación del día 29 de marzo de 1985, se puede repetir todo el trabajo, o sólo la toma de algunas fotografías; también se puede llevar a cabo la repetición de una línea completa, si el avión tuvo una deriva considerable en esa línea específica.

Para poder evaluar la repetición del trabajo, o una parte de él, las Normas Técnicas para Levantamientos Aerofotográficos que se especifican en el Diario Oficial de la Federación del día 29 de mayo de 1985, y en la publicación del INEGI del 20 de agosto de 1999 ⁴⁵, ofrecen ciertos parámetros y límites de error para que la empresa haga una buena valoración del trabajo y con base en estos datos, poder repetir.

2.4.1. Normas Técnicas para levantamientos aerofotográficos (INEGI, 20 de agosto de 1999)

Normas Técnicas para Levantamientos Aerofotográficos

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.- Dirección General de Geografía.-

NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAFICOS

Con fundamento en lo dispuesto en los artículos 31 fracción XIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 11 párrafo segundo, 13, 16 fracción I, 17 fracción VII, 19 y 30 fracción I de la Ley de Información Estadística y Geográfica; 55 fracciones 1 y VII, 59 de su Reglamento; y 99, 100 fracción II, incisos a), b), c) y f), 101 fracción I y 102 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, y

⁴⁵ Publicación que se cita de manera textual en el apartado 2.4.1.

CONSIDERANDO

Que la información geográfica constituye un insumo básico para el desenvolvimiento de las actividades que se lleven a cabo en el proceso de planeación y, asimismo, apoya la definición de las orientaciones y políticas de los programas nacionales, sectoriales, regionales y especiales.

Que para este propósito, en la integración y funcionamiento del Sistema Nacional de Información Geográfica, se hace necesario homogeneizar las características de las fotografías aéreas, que se obtengan y que sirven de base en los trabajos de restitución fotogramétrica, cartográficos, de ordenamiento territorial, de planeación urbana, de fotointerpretación, así como para el levantamiento de inventarios de recursos naturales y de infraestructura; y en la formación y actualización del sistema de información geográfica.

Que el desarrollo tecnológico logrado entre la publicación de las primeras normas técnicas para levantamientos aerofotográficos publicadas en 1985 y esta fecha, ha dado lugar a avances que hacen posible que los levantamientos aerofotográficos se efectúen con mayor rapidez y calidad.

Que al dar uniformidad y comparabilidad a los levantamientos aerofotográficos que realizan las distintas unidades que integran el sistema mencionado, se contribuye a evitar la duplicidad de tareas y a racionalizar el gasto público, obteniendo, por otra parte, información geográfica confiable y oportuna que sea de utilidad general y que apoye la toma de decisiones en los distintos niveles de gobierno.

Que en virtud de que deben observarse normas mínimas, en todos los levantamientos aerofotográficos que realicen directamente o por terceros las dependencias y entidades de la administración pública federal, que integran el Sistema Nacional de Información Geográfica, a fin de obtener productos de calidad congruentes con los objetivos de este sistema, se expiden las siguientes:

NORMAS TECNICAS PARA LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAFICOS

De acuerdo con la Ley de Información Estadística y Geográfica y su Reglamento, las presentes normas son obligatorias para las dependencias y entidades de la administración pública federal.

I. Especificaciones de vuelo.

1.1 Proyecto de vuelo.

De acuerdo con los objetivos de los levantamientos aerofotográficos, las dependencias y entidades interesadas, elaborarán un proyecto de vuelo que deberá expresarse sobre mapas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) a la escala conveniente.

El Proyecto de Vuelo deberá mostrar

- Delimitación del área por fotografiar.
- Número de líneas que deberán volarse y dirección del vuelo.
- Número de fotos de cada línea,
- Escala de las fotografías.
- Alturas de vuelo sobre el nivel medio del terreno a fotografiar.
- El porcentaje de sobreposición longitudinal y lateral.

- Tipo de cámara, época del año más probable en que se tomarán las fotografías, tipo de película y filtros a utilizar.
- Tiempo estimado en horas y días para la realización del proyecto.

En caso de trabajos para la administración pública federal, y para escalas 1:75,000; 1:40,000. 1:37.500 y 1:20,000, la dirección del vuelo deberá ser norte-sur y la posición de cada línea deberá coincidir con la posición de las líneas de vuelo del Sistema Nacional de Fotografía Aérea (SINFA). Para escalas diferentes a las mencionadas, y cuando el proyecto así lo requiera, podrá seguirse otra dirección de vuelo según convenga al proyecto.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática pondrá a disposición de los usuarios, que así lo soliciten, las coordenadas de los ejes de las líneas de vuelo para el SINFA en las escalas mencionadas.

1.2 Permisos

La dependencia, entidad o el tercero contratado por éstas, así como los particulares que ejecuten vuelos fotográficos, para cada proyecto, deberán tramitar los permisos oficiales de vuelo fotográfico que expide el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y los que correspondan a otras instancias.

1.3 Aviones.

La operación y el mantenimiento de los aviones utilizados para la toma de fotografía aérea, deberán sujetarse a lo que establece la Ley de Vías Generales de Comunicación y sus Reglamentos.

1.4 Sistemas de navegación.

Para el levantamiento fotográfico, deberá seguirse, al menos, el procedimiento de navegación visual auxiliado por una mira de navegación que permita determinar la deriva e intervalo de disparo entre fotografías.

Para los vuelos que se realicen por encargo de la administración pública federal deberán usarse sistemas de navegación basados en el sistema de posicionamiento global (GPS) o sistemas que produzcan una precisión similar o mayor a éstos.

1.5 Cámaras.

Las cámaras que se utilicen en levantamientos aerofotográficos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener la posibilidad de corrección manual de giros alrededor de los ejes de la cámara.
- Distorsión radial máxima de 10 micras.
- Poder de resolución de por lo menos 60 líneas por milímetro al centro de la lente.
- En los trabajos que se realicen para la administración pública federal, deberán utilizarse cámaras con compensación de movimiento de imagen, valores máximos de distorsión radial promedio del orden de tres micras y poder de resolución en el área de la fotografía de cuando menos 80 líneas por milímetro.
- Deben estar equipadas con reloj para marcar la hora de la toma de cada fotografía.

- Las cámaras aéreas se deberán calibrar por lo menos una vez cada dos años o cada 10,000 disparos.

Los elementos mínimos que debe contener un certificado de calibración son:

- Nombre de la institución donde se efectuó la calibración.
- Fecha de calibración.
- Nombre del fabricante y tipo de cámara.
- Número de serie del cono de la cámara.
- Distancia principal calibrada.
- Coordenadas del punto de óptima simetría.
- Coordenadas del punto principal de autocolimación.
- Coordenadas del centro fiducial, siempre que éste no haya sido tomado como origen en la medida de coordenadas durante la calibración.
- Coordenadas de cada una de las marcas fiduciales.
- Datos de distorsión radial de la lente para cada semidiagonal, y/o datos promedio de distorsión radial.

Los certificados de calibración originales deben estar en poder de la entidad que realizó el vuelo y a su vez debe proporcionar copia del mismo al usuario que lo solicite.

1.6 Filtros.

El filtro se deberá montar enfrente del lente y debe considerarse como una parte del sistema óptico de la cámara. Una cámara deberá calibrarse con el filtro que se usará. Si se usa más de un filtro, deberán hacerse calibraciones por separado con cada filtro.

1.7 Película aérea.

La película deberá tener una base dimensionalmente estable, no haber llegado a la fecha de vencimiento al momento de la toma, manejarse y almacenarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; deberá seleccionarse tomando en cuenta las características requeridas de imagen; su resolución no deberá ser menor que la resolución de la lente.

II. Especificaciones de toma.

II.1 Cubrimiento del área.

El vuelo fotográfico deberá extenderse lo suficiente, más allá del área del proyecto, a fin de garantizar un cubrimiento estereoscópico completo, en caso de utilizar navegadores basados en GPS, la primera y última foto de cada línea podrán ser tomadas en los límites del área, de forma tal que el centro de la fotografía sea el límite.

Las líneas de vuelo no deberán interrumpirse, en caso de que esto llegare a ocurrir, la continuación de la línea se llevará a cabo tomando como mínimo 5 fotos anteriores a la última foto donde se originó el corte, de modo que se asegure la continuidad de la línea. En caso de utilizar navegadores basados en GPS, deberán repetirse al menos dos fotografías anteriores a la última foto donde se originó el corte. Cuando se requiera hacer un cubrimiento de huecos deberán tomarse al menos 2 fotografías antes y 2 fotografías después del hueco. Tanto en caso de huecos como en caso de continuidad de líneas de vuelo, las fotos complementarias deberán ser tomadas, en lo posible, con el mismo cono orientadas en la misma dirección, en condiciones de iluminación semejantes de la línea original y a la misma altura del vuelo del resto de la línea.

Debe ser reservado, al principio o al final del rollo, un tramo de película (leader), de 10 fotografías para pruebas de procesamiento.

Estas fotografías deben ser representativas del terreno cubierto en el rollo expuesto. Las fotografías de prueba deben ser expuestas a una altitud, apertura de diafragma y exposición semejantes a las de la mayoría del rollo.

II.2 Nubosidad

El área total de una fotografía no debe estar cubierta en más de un 7% por nubes o sombras de nubes, y ninguna nube individual deberá cubrir más del 3% del área fotográfica.

Las nubes o sombras de nubes no deberán cubrir los puntos principales ni sus homólogos. Para el conjunto de una línea o bloque, la nubosidad y las sombras promedio no deberán exceder del 7% del área y deberá estar exenta de marcas estáticas, humo, bruma y nieve. En casos de áreas urbanas no deberán existir nubes o sombras de las mismas.

II.3 Posición de las líneas.

Las líneas de vuelo deberán estar dentro de ± 5 grados de la dirección especificada en el proyecto de vuelo y la dirección promedio entre líneas adyacentes deberá ser paralela de ± 5 grados.

II.4 Giro.

Durante el vuelo de cada línea se deberá compensar el giro alrededor del eje vertical para mantenerlo dentro de un máximo de 5 grados.

II.5 Verticalidad.

Se deberá mantener la verticalidad del eje de la cámara dentro de 4 grados.

La inclinación relativa entre dos fotografías sucesivas no deberá exceder de 6 grados.

II.6 Sobreposición longitudinal.

En lo general, la sobreposición longitudinal promedio entre fotografías sucesivas deberá ser suficiente para proporcionar un cubrimiento estereoscópico completo, deberá darse de acuerdo a las necesidades del proyecto, y con una sobreposición no menor al 55% en caso de fotografías para modelos estereoscópicos.

Cuando se trate de vuelos de los que se derivan ortofotos, debe calcularse la sobreposición necesaria para que cuando menos una fotografía tenga su punto principal en el centro del espacio que cubrirá la ortofoto correspondiente.

II.7 Sobreposición lateral.

La sobreposición lateral entre líneas de vuelo adyacentes deberá estar comprendida dentro de $30\% \pm 10$ (20-40%), solamente en caso de extremo relieve las sobreposiciones podrán ser más bajas, pero no menores de 10%.

II.8 Escala de las fotografías.

Las variaciones en la escala de las fotografías no deberán ser mayores de $\pm 10\%$ en promedio, con respecto a la escala nominal.

III. Especificaciones de procesamiento.

III.1 Procesamiento de negativos.

Los rollos de película deberán procesarse preferentemente en una máquina de procesamiento continuo en forma tal que asegure un revelado uniforme. En el caso de los trabajos para la administración pública federal, esta recomendación debe tomarse como norma.

Para asegurar los contrastes adecuados en todos los detalles, en ningún lugar del negativo la densidad deberá ser menor o igual a 0.3 por encima de la densidad de la base excepto en el caso de imágenes de puntos extremadamente brillantes, tales como los debidos a reflexiones especulares de sol. La máxima densidad no debe exceder de 1.6 por encima de la base.

En cada fotografía deberá anotarse claramente en el negativo:

- Zona de trabajo.
- Fecha de toma (día, mes y año).
- Número de línea.
- Número de fotografía.
- Escala media.
- Cuando menos al inicio y terminación de la línea, la distancia focal de la cámara.
- Identificación del proyecto (zona, estado o ciudad).
- Dependencia responsable del vuelo.
- Hora de toma.
- Marcas fiduciales.

III.2 Revisión preliminar.

Cada rollo de película aérea debe ser procesada tan pronto como sea posible después que ha sido expuesto, para verificar que las especificaciones de navegación de las líneas de vuelo y la calidad de la imagen cumplen con las presentes normas.

III.3 Calidad del negativo.

Los negativos deberán ser nítidos y con detalles bien definidos, de un rango de densidad como se menciona en el párrafo segundo del punto III.1 y tener el grado adecuado de contraste para todos los detalles, para permitir observar con claridad tanto las áreas sombreadas como las iluminadas.

Deberán cumplir con las presentes normas, referentes a procesamiento, nubes, sombras, y otro tipo de obstrucciones, rayas de revelado, nieve, marcas estáticas, roturas, raspones y otras manchas que pudieran interferir con el fin propuesto.

III.4 Estabilidad dimensional.

El procedimiento empleado para procesar la película no deberá tener un efecto dañino sobre las características dimensionales de la imagen fotográfica.

En ningún momento durante el revelado, fijado, lavado o secado, deberá la película estar sujeta a una tensión y/o temperatura que cause cambios dimensionales diferenciales superiores a $0.02\% \pm 15$ micrómetros.

III.5 Copias de contacto.

Las copias de contacto se harán en papel fotográfico y se someterán a las mismas especificaciones descritas para el procesamiento y calidad de negativos.

Todas las copias que sean objeto de transferencia de información entre dependencias y entidades deben incluir la imagen legible de los instrumentos auxiliares de toma.

III.6 Índice de vuelo.

El levantamiento fotográfico deberá registrarse sobre un mapa topográfico del INEGI a escala conveniente, donde se mostrará la localización de todas y cada una de las fotografías tomadas, la escala promedio de cada una de las líneas, el número de rollo donde se encuentran, la fecha de vuelo, las características de la película utilizada y la entidad que efectuó el levantamiento; este índice deberá estar a disposición de quien lo solicite. En caso de que el vuelo sea para una dependencia o entidad federal, deberá entregar, además, un archivo digital donde se expresen la identificación de cada toma y las coordenadas del centro de cada una de las fotografías obtenidas.

IV. Registro de vuelos aerofotográficos.

La información aerofotográfica del territorio nacional, se considera de utilidad pública, por lo que todos los levantamientos aerofotográficos deberán ser registrados en el INEGI. El responsable del vuelo, deberá avisar, de acuerdo al procedimiento de permisos y registros, al término de los trabajos los siguientes datos:

- Lugar del vuelo fotográfico (localidades y/o área que cubre).
- Fecha de vuelo.
- Cámara utilizada (número y distancia focal).
- Escala de fotografías.
- Entidad que realizó el vuelo.
- Entidad que posee los negativos.
- Tipo de película utilizada.

La información anterior deberá acompañarse de un índice de vuelo de acuerdo al punto III.6 de estas normas.

El registro de vuelos aerofotográficos estará a disposición del público que lo solicite y podrá ser publicado periódicamente si así se considera conveniente.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- El presente Acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.- Se abrogan las Normas Técnicas para levantamientos Aerofotográficos, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1985, y se derógan todas las disposiciones que se opongan al presente ordenamiento.

TERCERO.- Las disposiciones reglamentarias en uso a la fecha de entrar en vigor del presente Acuerdo, seguirán teniendo aplicación en lo que no se le opongan.

Atentamente

Sufragio Efectivo. No Reelección.

Aguascalientes, Ags., a 20 de agosto de 1999.- La Directora General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, **Ma. Guadalupe López Chávez.**- Rúbrica.

2.4.2. Aspectos Administrativos

Las compañías particulares o las dependencias oficiales que realizan vuelos aerofotográficos deben cumplir con ciertas normas para poder realizar un vuelo en determinada zona.

Estas empresas deben llenar una forma oficial denominada: "SOLICITUD PARA REALIZAR LEVANTAMIENTOS AÉREOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA POR PARTE DE LAS PERSONAS FÍSICAS O MORALES NACIONALES O EXTRANJERAS"

Dicha solicitud se divide en nueve partes que contienen los temas siguientes:

1. Datos Generales.
2. Tipo de levantamiento.
3. Descripción y objeto de los trabajos por realizar.
4. Zona de cubrimiento.
5. Aeronave que se utilizará.
6. Equipo con el que se realizará la captura de información.
 - a. Cámara aerofotogramétrica
 - b. Otros equipos
7. Programa de ejecución.
8. Características de vuelo.
9. Documentos y garantía.

Estos temas se deben especificar muy bien, y para ello, la solicitud contiene preguntas cerradas que no ofrecen posibilidad de interpretación y que aseguran que la empresa solicitante no omita datos que pueden ser de gran importancia.

El procedimiento administrativo para presentar esta solicitud, también conocida como LA01, es como sigue:

La solicitud se encuentra en la página electrónica del INEGI ⁴⁶, y se encuentra libre de reproducción, también se puede solicitar directamente en el mencionado instituto. Una vez llenada y con los correspondientes duplicados que ahí mismo se mencionan, se acude a la Dirección General de Geografía (en Aguascalientes o en el Distrito Federal) o al Departamento de Permisos y Normatividad.

La respuesta a la solicitud por parte de las autoridades se otorga en 15 días hábiles, y su veredicto (afirmativo o negativo) estará en función del artículo 12 de la Ley de Información Estadística y Geográfica, y de los artículos 48, 49 y 50 del Reglamento de esa misma Ley.

La solicitud es obligatoria para todas las personas físicas o morales que pretendan realizar un levantamiento aéreo del territorio con cámaras métricas, de reconocimiento u otras imágenes de satélite.

Las dependencias oficiales que pueden llevar a cabo con regularidad vuelos aerofotográficos, y obtener con facilidad fotografías aéreas son:

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Secretaría de la Defensa Nacional
- Departamento de Cartografía Militar
- Secretaría de Desarrollo Social
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto de Geología, UNAM.
- Instituto de Geografía UNAM.
- Universidad Autónoma Chapingo

Para poder realizar un vuelo se lleva a cabo un contrato de vuelo. Éste se considera un instrumento legal, que establece relaciones firmes y seguras entre dos o más partes que estén interesadas en levantar la información geográfica, y consta de una o más premisas legalmente apoyadas.

⁴⁶ También se encuentra en el anexo de esta investigación.

Los contratos de vuelo buscan establecer y prever las situaciones técnicas que lleven a obtener la máxima calidad en las fotografías y en la realización del vuelo en general. El cuerpo del contrato está constituido de tres partes fundamentales:

- a) Provisiones legales
- b) Especificaciones técnicas
- c) Material por entregar

Los tres puntos mencionados deben estar claros; es decir, bien redactados y especificados, para evitar errores de interpretación que hagan que el material aerofotográfico sea de mala calidad. Si un material es de mala calidad puede ser rechazado, pero la realización de otro vuelo implica muchos gastos innecesarios.

2.5. Planeación del vuelo. Teoría y ejemplo.

2.5.1. Introducción

La misión fotográfica consiste en obtener imágenes fotográficas de la superficie terrestre, las cuales deben permitir acceder a la información deseada según los objetivos del proyecto principal.

Para poder realizar un vuelo, primero hay que diseñarlo en gabinete con el fin de cumplir todos los requerimientos que se plantearon en los objetivos del vuelo. La planeación del vuelo se presenta en un diseño sobre un mapa, mostrando los límites de la región que se va a fotografiar, la escala deseada, las líneas de vuelo trazadas, su altura de vuelo y la posición relativa de las fotografías.

Para planear correctamente el vuelo, se deben considerar:

- Topografía y drenaje. Se localizan en un mapa de la región a escala pequeña, con el fin de tener idea de la situación de estos factores.
- Tipo de vegetación, suelo, etc. Características sobresalientes de la región y que están muy relacionadas con la cantidad de luz reflejada hacia la cámara.

- Precisión aproximada deseada, en relación con el proyecto y elementos técnicos disponibles p. ej. instrumentos de restitución.
- Extensión del área y límites naturales.
- Información especializada por obtener, así como tipo y nivel de estudio.

Los terrenos se fotografían generalmente en el sentido longitudinal; es decir, las líneas fotográficas deben ir paralelas al lado de mayor longitud, con el fin de que haya menor número de líneas de vuelo y sea posible ahorrar los recursos. Sin embargo, cuando el terreno tiene el relieve de un solo lado como se muestra en la figura 2.14, es mejor fotografiar en sentido vertical y no horizontal, con el fin de evitar la variación de las escalas y sobreposición en la fotografía.

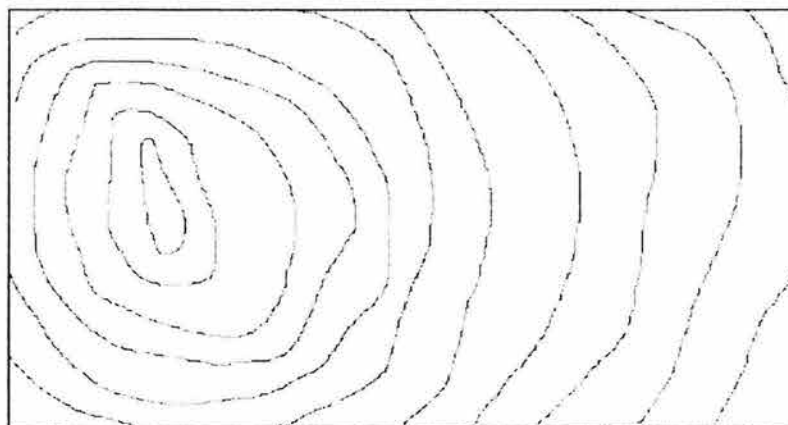


Fig. 2.15 Terreno por fotografiar

También se puede elegir el rumbo de las líneas de vuelo en función de los vientos dominantes (si éstos llegaran a ser muy fuertes en alguna zona o alguna época del año) con el fin de evitar los efectos de deriva en el avión.

La planeación del vuelo terminada debe contener los datos siguientes:

- I. Equipo por utilizar: avión (velocidad y capacidad de los tanques de gasolina), cámara (orientación interna), rolo, filtro, etc.
- II. Fecha y hora de la toma.
- III. Escala y recubrimientos laterales y transversales.
- IV. Diseño geométrico del vuelo, que comprende:

- a. Dimensiones del terreno del cual se planea obtener las fotografías
 - b. Altura del vuelo por línea:
 - i. Sobre el plano de referencia
 - ii. Sobre el nivel del mar
 - c. Dirección y número de líneas de vuelo
 - d. Distancia (tanto en el mapa como en el terreno) de:
 - i. Líneas de vuelo
 - ii. Fotografías
 - e. Número de exposiciones
 - i. Por línea
 - ii. Totales
 - f. Datos complementarios
- V. Especificaciones en aspectos cualitativos y cuantitativos de: tolerancia de inclinación del eje óptico, nubosidad, sombras etc.
- VI. Estimaciones y costos.
- VII. Formación del mapa de vuelo

2.5.2. Recomendaciones

El avión debe volar a una misma altitud sobre el terreno y evitar los movimientos de cabeceo, banqueo y deriva. Las líneas fotográficas deben estar en una línea recta o lo más cercano posible a ella.

Para que se efectúe el vuelo, debe haber las mejores condiciones atmosféricas y luminosas; es decir, evitar los bancos de nubes, los vientos fuertes y la presencia de sombras; para ésto último, las fotografías se toman en las horas medias del día cuando el Sol tenga más de 30° de altura. También se deben consultar los estudios de factibilidad de vuelos fotográficos. En esta investigación se presentan los realizados por la Compañía Mexicana Aerofoto, citados por J. Caire en su libro Fotogrametría Aérea.

El plan de vuelo fotográfico depende, en gran parte, del uso o destino que vayan a tener las fotografías. Lo que es muy importante es que no queden lagunas o huecos, porque el fin de las fotografías es que se puedan realizar pares estereoscópicos y así poder estudiar el área, hacer mapas topográficos, efectuar reconocimientos o formar mosaicos. Asimismo, se debe contar con un cierto número de fotografías extras para cada línea de vuelo a fin de que se tenga la certeza de que el área quedó totalmente fotografiada.

Para tener una correcta planeación del vuelo, se deben hacer cálculos previos donde se determine el intervalo de tiempo entre dos tomas, el tiempo que se tardará el vuelo en hacer éstas, así como el traslado del avión del aeropuerto a la zona de estudio.

2.5.3. Giros y fallas posibles durante el vuelo.

Las fallas en el vuelo se producen cuando hay errores de verticales, en el intervalómetro (disparo del obturador), o por la presencia de nubes. Dichas fallas pueden clasificarse de la manera siguiente:

- Falla completa: un cierto segmento de la zona no aparece fotografiado.
- Falla de recubrimiento estereoscópico: una cierta zona aparece sólo en una fotografía.

Como se mencionó anteriormente, el avión tiene movimientos (giros) durante el vuelo. Éstos tienen que presentarse dentro de ciertos límites porque las fotografías deben ser verticales y no oblicuas, además deben cumplir con ciertos requisitos de sobreposición lateral y transversal.

El movimiento de deriva ocasiona que el avión se mueva con respecto a la línea de vuelo y ésto afecta directamente a la sobreposición transversal de las fotografías. Los movimientos de banqueo y cabeceo ocasionan que el eje vertical de la fotografía se incline.

2.5.4. Ejemplo práctico

Se requiere cubrir fotográficamente una zona de 30 por 50 cm indicada sobre un mapa topográfico de escala 1:25,000. Los datos y equipos con los que se cuenta son:

- Altitud Media del terreno: 2000 m
- Cámara: Wild RC-8. Objetivo: Avigón Universal. Distancia focal (f): 152.24 mm. Tiempo de exposición: 1/100 a 1/700. Formato: 228 mm x 228 mm.
- Avión: Aero Commander (2 motores). Velocidad del crucero 300 km/hr. Autonomía de vuelo: 2,500 km.
- Película Kodak Plus X Aerographic. Filtro Wratten No. 12 (Amarillo)
- Escala de las fotografías: 1:10,000
- Sobreposición lateral: 60%
- Sobreposición transversal: 20%

1. Área por fotografiar

Debido a que el área por fotografiar tiene una longitud de 30 x 50 cm en el mapa de escala 1:25,000; es necesario convertir dichas cifras a las medidas en el terreno:

$$\begin{aligned}30\text{cm} \times 25,000 &= 750,000\text{cm} = 7,500\text{m} \\50\text{cm} \times 25,000 &= 1.250,000\text{cm} = 12,500\text{m}\end{aligned}$$

2. Longitud que cubre el lado de la fotografía

El formato de la fotografía mide 228mm o 0.228m, es necesario convertir dicha cifra a las medidas en el terreno:

$$0.228\text{m} \times 10,000 = 2,280\text{m}$$

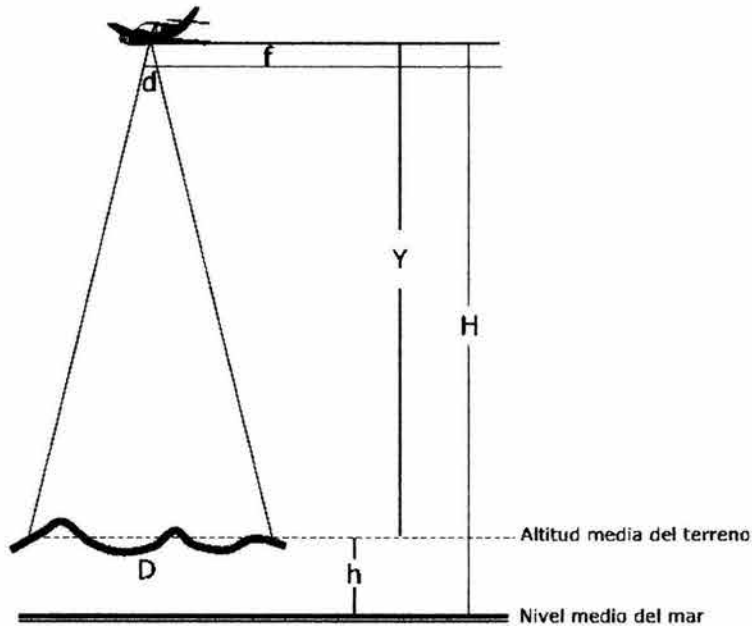
Adviértase que el formato de la fotografía se multiplica por la escala media a la que se pretende que esté la imagen retratada.

3. Área cubierta por cada fotografía

$$(2,280\text{m})^2 = 5,198,400\text{m}^2 = 5.1984\text{km}^2$$

4. Altura de vuelo sobre el terreno

Para obtener la altura de vuelo sobre el terreno es necesario partir de la siguiente premisa:



d.- Distancia de un segmento del terreno en la fotografía

D.- Distancia de un segmento del terreno

f.- Distancia focal

H.- Altitud de vuelo

h.- Altitud media del terreno

Y.- Altura de vuelo con respecto al nivel medio del terreno

Del esquema anterior se desprende por semejanza de triángulos que d es semejante a D y que f es semejante a Y ; es decir que:

$$\frac{d}{D} = \frac{f}{Y} \quad \text{y,} \quad Y = H - h \quad ; \quad \text{por lo tanto,} \quad \frac{d}{D} = \frac{f}{H - h}$$

De las variables anteriores se conocen:

- $d = 0.228 \text{ m}$
- $D = 2,280 \text{ m}$
- $f = 152.24 \text{ mm} = 0.15224 \text{ m}$

La única variable que se desconoce es Y , que es la altura de vuelo sobre el terreno, y se debe despejar de la fórmula anterior.

$$Y \left(\frac{d}{D} \right) = f$$

$$Y = f \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$Y = 0.15224m \left(\frac{2,280m}{0.228m} \right)$$

$$Y = 1522.4m$$

Nótese que $\frac{D}{d}$ es también el módulo de la escala (M) de las fotografías.

5. Base Aérea

La base aérea es la distancia que recorre el avión entre dos disparos sucesivos. Si las fotografías tienen un 60% de sobreposición transversal, entonces hay un 40% de avance del avión; por lo cual:

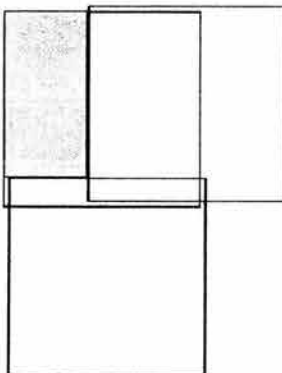
$$2280m \times 0.40 = 912m$$

6. Separación entre líneas de vuelo

El mismo criterio debe aplicarse a la sobreposición lateral ya que, si se tiene un 20% de traslape hay un 80% de avance, por lo tanto:

$$2280m \times 0.80 = 1824 m$$

7. Área efectiva por cada fotografía



$$1824m \times 912 m = 1663488m^2 = 1.6635km^2$$

8. Intervalo de exposición

Si el avión posee una velocidad de 300km/hr ó 83.33m/seg ⁴⁷, entonces:

$$\frac{912m}{83.33 \frac{m}{seg}} = 10.9444seg$$

9. Número de líneas de vuelo

$$\frac{7,500m}{1,824m} = 4.11 \approx 5$$

10. Número de fotografías por línea

$$\frac{12,500m}{912m} = 13.70 \approx 14 + 6(\text{extras}) = 20$$

11. Total de fotografías

$$5 \times 20 = 100 \text{ fotografías}$$

12. Altura de vuelo al nivel del mar

$$1522.4 + 2000 = 3522.4 \text{ m.s.n.m.}$$

13. Tiempo estimado de vuelo para tomar las fotografías

$$100 \times 10.9444seg. = 1094.44seg. = 18 \text{ min } 14.44 \text{ seg.}$$

⁴⁷ $\frac{300km}{hr} = \frac{300,000m}{3600seg} = 83.33 \frac{m}{seg}$

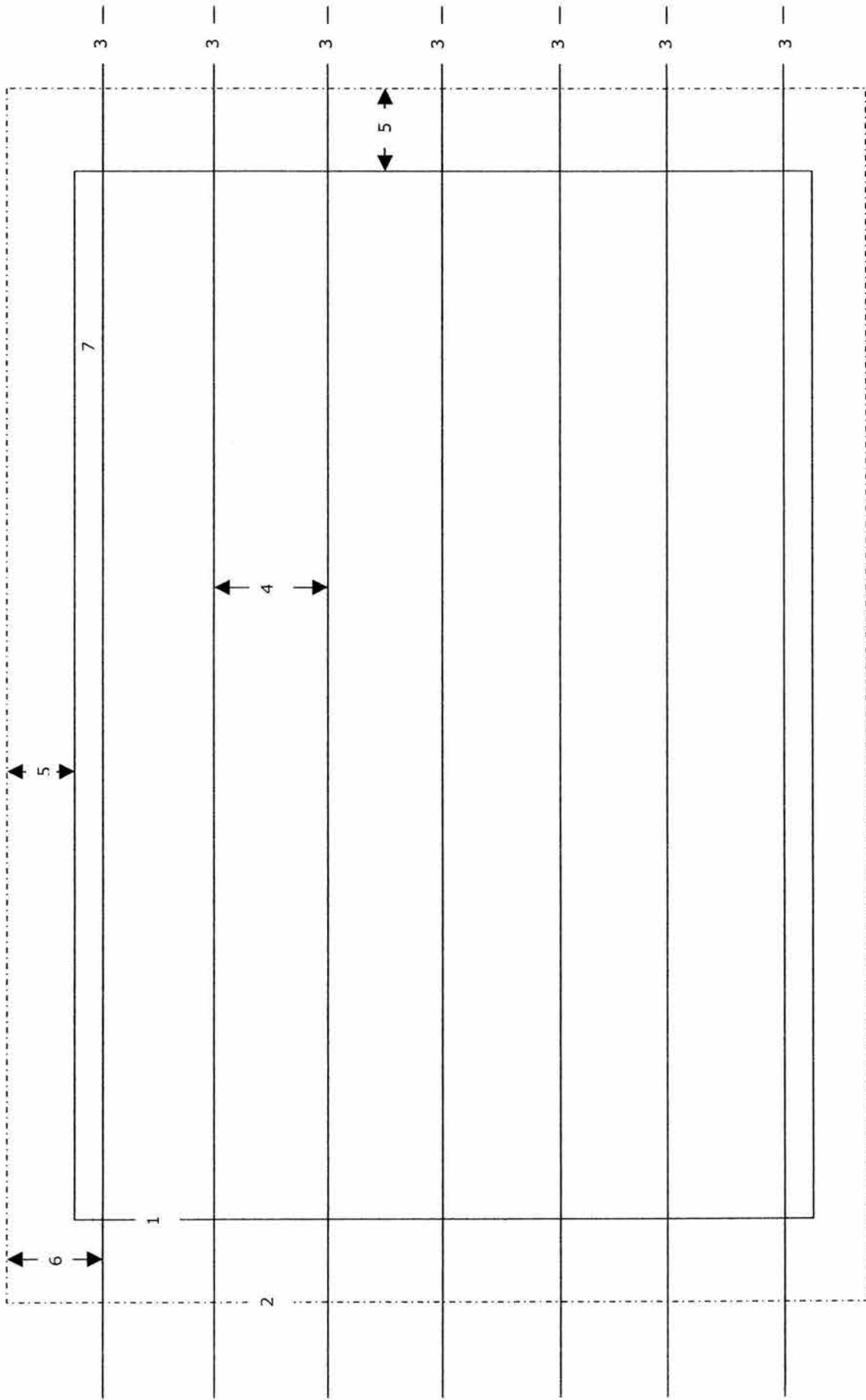
Tabla de resultados

1.- Área por fotografiar	12.5 km x 7.5 km
2.- Longitud que cubre el lado de la fotografía	2280 m
3.- Área cubierta por cada fotografía	5.1984 km ²
4.- Altura de vuelo sobre el terreno	1522.4 m
5.- Base Aérea	912 m
6.- Separación entre líneas de vuelo	1824 m
7.- Área efectiva por cada fotografía	1.6335 km ²
8.- Intervalo de exposición	10.9444 seg.
9.- Rumbo de las líneas de vuelo	E-W
10.- Número de fotografías por línea	20
11.- Total de fotografías	100
12.- Altura de vuelo al nivel del mar	3522.4 m.s.n.m.
13.- Tiempo estimado de vuelo para tomar las fotografías	18 min. 14.44 seg.

El anterior fue un ejemplo sencillo de los datos más básicos que se deben tener en una planeación del vuelo; sin embargo, para que se tenga un plan de vuelo correcto, se debe poseer un mapa de vuelo, donde se tengan los datos siguientes, que son esquematizados en la figura 2.15.

- 1) Límite del proyecto
- 2) Alcance fotográfico
- 3) Ubicación de las líneas de vuelo
- 4) Separación entre líneas de vuelo *
- 5) Distancia entre el límite del proyecto y el alcance fotográfico*
- 6) Distancia entre el alcance fotográfico y la primera línea de vuelo *
- 7) Distancia entre el límite de del proyecto y la primera línea de vuelo *

* Estas medidas deben otorgarse en su longitud real (terreno) y en el mapa de vuelo, considerando la escala de este último.; también debe ser dada el área total del proyecto. Todo ello se hace para facilitar el trabajo del piloto, con el fin de que él sepa por dónde debe pasar el avión.



Nota: La numeración es la correspondiente con la mencionada en la página 93.

Conclusiones

A lo largo de este capítulo se mencionaron aspectos técnicos que permiten la obtención de la información geográfica con el fin de elaborar las cartas geográficas. Se hace necesaria la mención de todos estos tecnicismos ya que el levantamiento de la información de la superficie terrestre es otro paso fundamental para la elaboración de las cartas geográficas, la deficiencia o el desconocimiento de las cámaras, aviones, películas y tratamiento de las fotografías, puede traer como consecuencia errores muy graves, como la pérdida de precisión en la carta.

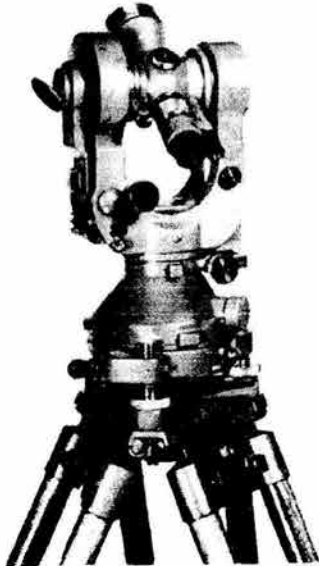
Los levantamientos aerofotográficos otorgan la posibilidad de obtener las imágenes de la superficie terrestre, las cuales en un futuro se georreferenciarán y corregirán, en función de la proyección y de la escala deseada, para dar paso a las cartas geográficas.

La intención de la presente investigación es mostrar la elaboración de las cartas geográficas; no obstante, no hay que olvidar que las fotografías aéreas constituyen fuentes de información muy importantes para los geógrafos y otros especialistas, ya que en ellas se pueden apreciar los fenómenos físicos y sociales que acontecen en la superficie terrestre. Dicha información permite hacer una planeación y un análisis de lo que ocurre en el espacio.

Las fotografías aéreas otorgan una gran cantidad de detalles, los cuales son muy útiles en la fotointerpretación; en realidad, lo único que no se puede hacer sobre una fotografía aérea es hacer mediciones, como las que se realizan en los mapas, debido a su perspectiva central y sus deformaciones que son radiales. Los mapas, son representaciones ortogonales, sobre los cuales se pueden realizar medidas, conocer superficies, áreas, longitudes, etc.

CAPÍTULO

3



Control Terrestre

El control terrestre es “la información numérica correspondiente a monumentos establecidos en el terreno y obtenidos a través de sus valores coordenados correlacionados que forman la armazón a la que se ajustan los levantamientos de detalle”

Jorge Caire, 2002

Introducción

El control terrestre "se constituye por una serie de valores coordinados de vértices y bancos de nivel establecidos sobre la superficie terrestre"⁴⁸, los cuales se identifican por medio de las imágenes fotográficas y se localizan por medio de un programa previamente planteado en función de los requerimientos de la restitución fotogramétrica.⁴⁹

Los procesos fotogramétricos requieren conocer las posiciones de ciertos puntos sobresalientes que aparecen en las fotografías para que éstas puedan ser orientadas con respecto al terreno y relacionar unas con otras; en este sentido, control terrestre se utiliza para el ajuste de una escala uniforme, así como para la determinación de las coordenadas de los puntos de control fotográfico.

En los proyectos de cartografía, "el control terrestre es una extensión del sistema básico de puntos monumentados de control horizontal y vertical, cuyas posiciones fueron determinadas mediante poligonación y nivelación."⁵⁰ Los puntos de control requieren las tres coordenadas que nos dan la ubicación precisa del punto (latitud, longitud y altitud).

El control terrestre no es necesariamente un paso consecutivo a la realización del vuelo fotogramétrico; de hecho, puede ser anterior a la realización del vuelo, o bien efectuarse durante la toma de fotografías.

Cuando se realiza el control terrestre previo al vuelo fotogramétrico se lleva a cabo un preseñalamiento en donde los puntos elegidos deberán ser visibles desde el aire. Con el avance de la tecnología, ahora es posible otorgar las coordenadas a las fotografías aéreas desde el momento de la toma.

No obstante lo anterior, para conocer las coordenadas de un punto sobre la superficie terrestre existen varios métodos: por métodos astronómicos, por métodos geodésicos y por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), tal como se verá en el esquema siguiente, y que refleja brevemente el contenido de este tercer capítulo.

⁴⁸ Jorge Caire. *Fotogrametría I. Fotogrametría Terrestre*. pág. 142.

⁴⁹ Una vez que los puntos de control terrestre se han localizado en la fotografía se denominan puntos de control fotográfico, control suplementario o fotocontrol.

⁵⁰ M. Schmidt y H. Rayner. *Fundamentos de Topografía*. pág. 275.



El posicionamiento astronómico se realiza con la ayuda de algunos aparatos y métodos muy específicos; el método geodésico requiere conocer algún punto perteneciente a la Red Geodésica Nacional para poder determinar las coordenadas del punto deseado con ayuda de los métodos geodésicos; por su parte, la tecnología GPS se basa en la comunicación de un aparato receptor directamente con el satélite.

3.1. Determinación de los puntos de control terrestre en las fotografías.

El control terrestre es imprescindible para la rectificación de fotogramas y para la restitución fotogramétrica por medio de la estereoscopia y para ello se requiere de un gran número de puntos de apoyo determinados por mediciones terrestres ordinarias; sin embargo, la ubicación de estos puntos constituye un obstáculo para la fotogrametría porque eleva mucho los costos del trabajo. En selvas vírgenes o lugares sinuosos o escarpados, donde el acceso terrestre es casi imposible, el control fotográfico es muy útil. En dichas zonas el levantamiento de los puntos de apoyo es decisivo para la aplicación de la fotogrametría.

En virtud de lo anterior, es necesario que el levantamiento los puntos de control terrestre tengan una buena planeación; también es importante establecer los puntos mínimos necesarios que permitan la correcta realización del trabajo y para ello se emplean unas fórmulas que se han obtenido a través de los trabajos en campo ⁵¹.

Las fórmulas son las siguientes ⁵²:

⁵¹ La utilización de dichas fórmulas en nuestro país tienen sus limitantes y deben analizarse con respecto a la bibliografía.

⁵² Fórmulas tomadas y despejadas de: Bernard Herrera. *Elementos de Fotogrametría*. Pág. 115.

$$m = K_1(d) + K_2$$

$$c = \frac{(m - K_2)^2}{(K_3)^2 t}$$

donde:

m = error medio cuadrático de la distancia media de los puntos

K₁ = factor empírico = 0.0006 mm

K₂ = factor empírico = 0.4 mm

K₃ = factor empírico = 0.12 mm

t = número de fotografías

c = número de puntos de control terrestre

d = distancia media entre los puntos de control terrestre

Existe otra fórmula con base en una situación empírica expresada por Trorey G.⁵³ para calcular el número óptimo de puntos de control terrestre en relación con el número de fotografías; además su fórmula nos da un error gráfico de tolerancia en la ubicación del punto en el mapa. La fórmula es:

$$N = \frac{0.0256}{e^2} (t)$$

donde:

N = número de puntos de apoyo

e = error gráfico en mm

t = número de fotografías que cubren el área

0.0256 es una constante determinada por el autor

Las fórmulas mencionadas y otras que se han realizado, toman en cuenta los elementos fundamentales del plan de vuelo como son: tamaño del área, escala, sobreposición lateral y transversal de las fotografías; otros elementos que llevan implícitos estas fórmulas son: condiciones topográficas y objetivos del mapa.

De acuerdo con el trabajo que se realice, hay ocasiones en las que todos los puntos de apoyo tienen que quedar definidos (o por lo menos la gran mayoría) porque en ocasiones las operaciones directas sobre el terreno no bastan para verificar las condiciones necesarias para

⁵³ Fórmula citada por Bernard Herrera. *Id.*

que, a su vez, se pueda realizar la aerotriangulación; por otro lado, la determinación de pocos puntos de control terrestre no ofrecen la precisión que comúnmente requieren los trabajos.

Para que se obtenga una restitución fiel libre de los inconvenientes de los aerofotogramas, es muy importante una adecuada selección de los puntos de control, los cuales deben ser adecuadamente visibles desde el aire, desde cualquier punto de vista y plenamente identificables en las fotografías aéreas.

Lo más conveniente es elegir los puntos después de que se haya realizado el vuelo deduciéndolos de las fotografías mismas, ello se debe a que el carácter y la distribución de los detalles, indicará la mejor localización de los puntos; no obstante, a menudo es necesario fijar un cierto número de puntos antes de los vuelos, estos puntos deben identificarse de tal manera para que sean visibles desde el aire. Con el fin de lograr lo anterior, los puntos para el control terrestre se deben colocar en las intersecciones de caminos, árboles aislados, puentes, esquinas u otros lugares donde se puedan identificar fácilmente. Cuando se trate de praderas o áreas desérticas, es necesario colocar unas marcas especiales denominadas *señales*, antes de tomar las fotografías.

El tamaño mínimo necesario de tales puntos de apoyo, depende de la escala de la fotografía y del contraste en relación con las marcas y el suelo del área a fotografiar. Los tamaños utilizados más frecuentemente varían entre 0.05 a 0.02 cm a la escala de la fotografía. La cifra de 0.02 cm debe escogerse solamente cuando la zona estudiada se va a trabajar con objetivos modernos de alto rendimiento. Las formas de los puntos de control pueden ser circulares o cuadradas.

El número de los puntos de apoyo necesarios depende de:

- "Las exigencias generales en cuanto a la restitución y de la escala del mapa (levantamiento intensivo o extensivo).
- Del método aplicado para la restitución o trabajo estereofotogramétrico con las fotografías aéreas.
- De la extensión de la superficie.
- De la escala de la fotografía.
- Del tamaño de la imagen." ⁵⁴

⁵⁴ K. Schwidofsky. *Fotogrametría terrestre y aérea*. Pág. 252.

En los levantamientos intensivos se necesitan de 5 a 6 puntos por fotografía, éstos deben tener una situación conocida en sus tres dimensiones. Si se trata de un trabajo que no requiera mucha precisión, bastará con que el área de traslape tenga tres puntos por lo menos, distribuidos en toda la fotografía.

La compañía Aeroterra S.A. menciona que la integración de los datos de la tecnología GPS en vuelo, "junto con los de la Unidad de Medición Inercial, le brindan, en tiempo real, exacto posicionamiento y parámetros de orientación a todos los sensores y cámaras de la aeronave, independientemente unos de otros. Ésto elimina la necesidad de puntos de apoyo en el terreno y posterior proceso de aerotriangulación, georeferenciando a todos los sensores con el mismo grado de precisión, aumentando la productividad y reduciendo tiempos y costos."⁵⁵

3.2. Determinación de las coordenadas de los puntos de control terrestre

3.2.1 Posicionamiento Astronómico

La astronomía es la ciencia que estudia el universo y las leyes que lo gobiernan, tales como el movimiento y la composición de los cuerpos celestes, su posición, radiaciones luminosas y electromagnéticas, temperatura, masa, densidad, etc. Es una ciencia muy antigua, y por ello ha acompañado al hombre desde que éste tomó conciencia de los cuerpos celestes. Ellos cobraron importancia porque representaban cambios en las estaciones y la repetición de algunos sucesos que regían la vida nómada. Posteriormente los astros adquirieron mayor importancia matemática, y de esta manera el ser humano comenzó a explicar el mundo en el que se desenvuelve. La astronomía se ha perfeccionado, tanto en sus conceptos básicos como en los métodos e instrumentos que ayudan a ver y entender los astros y su influencia e importancia científica para nuestro planeta y sus habitantes.

La astronomía de posición es una parte de la astronomía, que se interesa en determinar las posiciones de los puntos de la superficie terrestre con la ayuda de los cuerpos celestes; así, es posible determinar de cada punto la latitud, la longitud y el azimut geográficos, cálculos que son esenciales para el control terrestre. También es posible calcular la hora de algún lugar específico.

⁵⁵ <http://www.aeroterra.com/HTMs/RelAereos.htm>

Los cálculos de las posiciones de los puntos de control, por medio del empleo de la astronomía de posición, pueden tener tres órdenes de precisión, (detallados a continuación). Para ello se debe emplear el instrumental adecuado.

Las determinaciones poco precisas, también denominadas de exploración, (con tolerancia de error de $\pm 1'$) pueden realizarse con un teodolito de topógrafo como el mostrado en la figura 3.1.

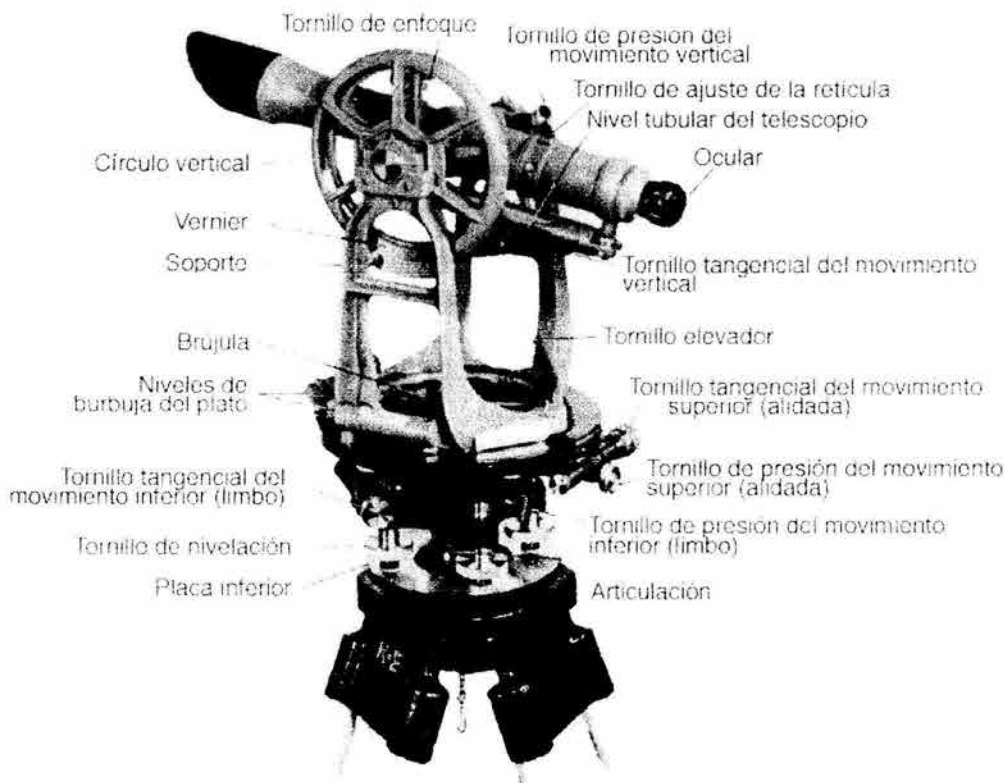


Fig. 3.1 Tránsito de topógrafo y sus partes constitutivas
Fuente: Milton SCHMIDT y William Horace RAYNER. Fundamentos de Topografía. Pág. 32

Las determinaciones semiprecisas (con tolerancia de error de $\pm 1''$) se deberán realizar con un teodolito de 1" de aproximación en ambos círculos.⁵⁶

⁵⁶ Existen diferentes tipos de tránsito, los cuales varían de acuerdo con sus capacidades. Hay tránsitos que aproximan los datos hasta el minuto de arco; hay otros, que aproximan las lecturas hasta los treinta segundos; otros más, que lo hacen hasta el segundo de arco, y los más modernos, como el teodolito Leica TM-1100 y 1800, que son motorizados y capaces de orientar automáticamente el punto deseado.

Las determinaciones precisas, de carácter geodésico, como las que se requieren en las Estaciones Laplace y los puntos de control terrestre (con tolerancia de error de $\pm 0.1'$) deben realizarse con los aparatos provistos de micrómetros como el Wild T-2 mostrado en la figura 3.2.⁵⁷

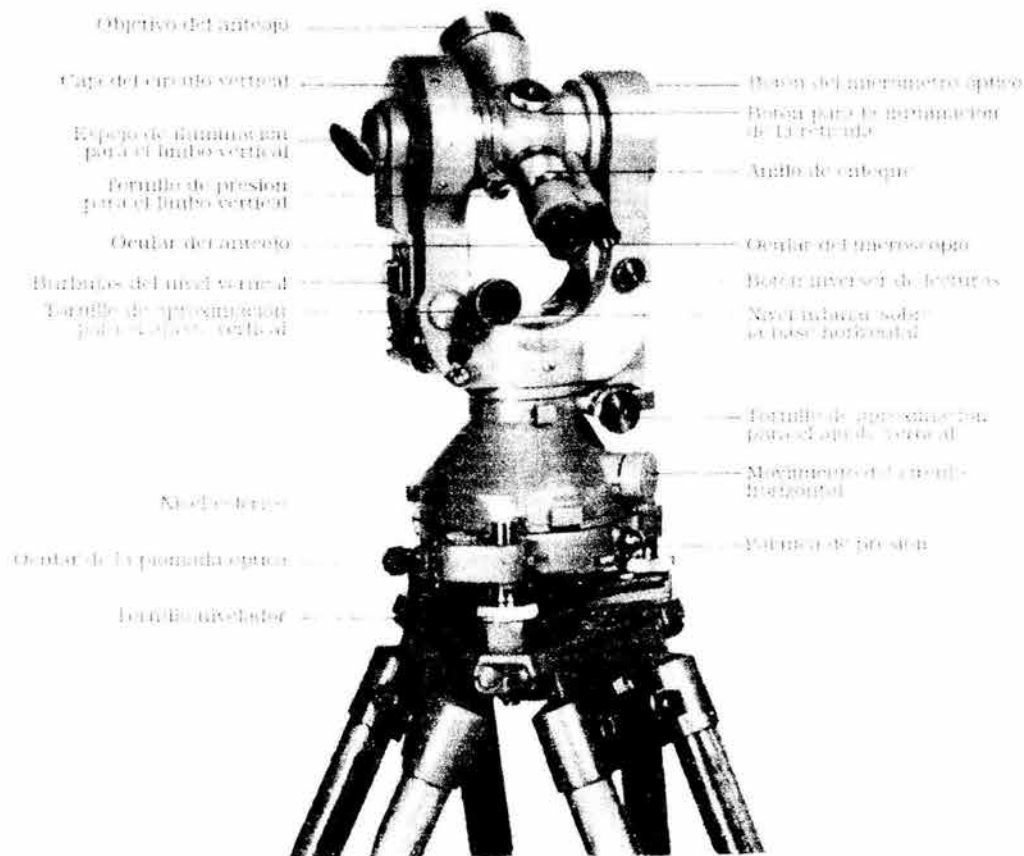


Fig. 3.2 El Wild T-2 y sus partes constitutivas
Fuente: Terndry Carl-Olof y Eliz Lundin. Topografía y Fotogrametría en la Práctica Moderna pág. 21

El Wild T-2 es, de hecho, un teodolito. Los teodolitos son instrumentos ópticos que se usan para trabajos geodésicos y topográficos de campo. Ellos miden ángulos horizontales y verticales y constan de una cabeza o alidada con anteojo montada en un limbo graduado con exactitud y provisto de los niveles necesarios con sus respectivos niveles de lectura.

⁵⁷ La información acerca de este aparato será abundante ya que es el requerido para la determinación de las coordenadas de los puntos de control terrestre.

Las características esenciales del Wild T-2 son:

- La cabeza debe ser compacta, ligera y de poca altura. El peso debe oscilar entre 7 y 8 kg., (sin contar el peso del tripié).
- El telescopio debe ser corto y capaz de enfocar a distancias relativamente cortas, en algunos casos es de imagen invertida.
- Las líneas de retícula deben estar grabadas sobre el cristal. El aparato puede constar de sistema de puntería preliminar montado sobre el telescopio.
- El instrumento debe estar apoyado por tres tornillos de nivelación y debe estar equipado con la plomada óptica.
- Los círculos, vertical y horizontal del aparato son de cristal, con los números y graduaciones debidamente grabados.
- El aparato se debe encontrar perfectamente sellado en los sistemas ópticos y mecánicos, a fin de que esté a salvo del polvo y la humedad.
- Los niveles del aparato son dos principales: el esférico y el tubular, situado en el plano del círculo horizontal. También puede poseer un nivel para el índice junto al círculo vertical o bien, un dispositivo de colimación automática, los cuales ayudan a eliminar el error de índice del aparato.
- La parte superior del instrumento puede separarse de la base de centrado y nivelación. A esta base se le llama *base nivelante*.
- Si es necesario, se ocupa el sistema de iluminación interior para trabajos nocturnos.

3.2.1.1. La esfera celeste y las coordenadas celestes

Antes de conocer cómo es posible que los cuerpos celestes nos ayuden a situar los puntos sobre la superficie terrestre, es necesario ubicarlos a ellos en la esfera celeste. La esfera celeste es una esfera imaginaria de radio infinito con centro en la Tierra, donde se encuentran los objetos celestes aparentemente a la misma distancia. La esfera celeste gira en aparente sentido contrario a la rotación de la Tierra. Los astros se encuentran a diversas distancias del centro y en todas direcciones y todos ellos se proyectan en la esfera celeste; estas proyecciones sitúan a los astros en posiciones relativas que se fijan a través de los procedimientos geométricos y el resultado de ellos es el establecimiento de las coordenadas en la bóveda celeste.

La bóveda celeste es la parte de la esfera celeste que el observador puede ver, (no toda la esfera celeste se puede observar al mismo tiempo). La figura 3.3 muestra los componentes de la esfera celeste. En ellos se encuentran puntos, líneas y planos que es conveniente destacar.

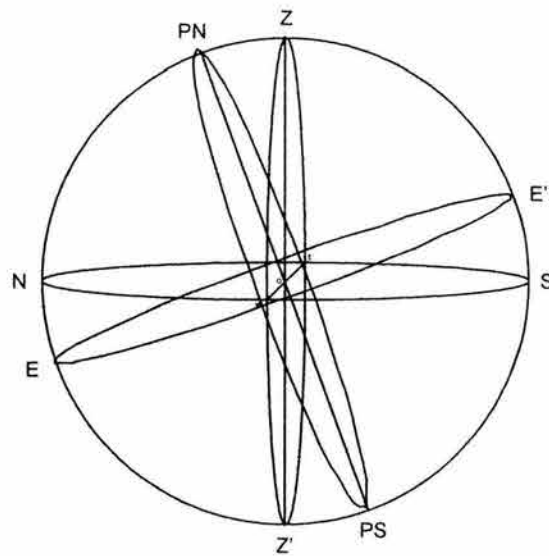


Fig. 3.3 Esfera celeste

Tabla 3.1 Elementos importantes de la esfera celeste⁵⁸

Puntos	Líneas	Planos
Z.- Zenit	Z-Z'.- Vertical del lugar	Z-W-Z'-E.- Plano vertical
Z'.- Nadir	PN-PS.- Eje del mundo	PN-W-PS-E.- Círculo horario
PN.- Polo Norte	E-W.- Traza correspondiente	E-E'.- Plano ecuatorial
PS.- Polo Sur	a dos planos en la que se	N-W-S-E.- Plano horizontal u
E.- Este	definen E y W	horizonte celeste
W.- Oeste		
O.- Origen o centro		

Para estudiar el movimiento de los astros, así como las posiciones relativas, es necesario aplicar un sistema de coordenadas que fijan con precisión la posición de cualquier astro. La figura 3.4 muestra todas las coordenadas que se necesitan para fijar la posición de una astro en la esfera celeste.

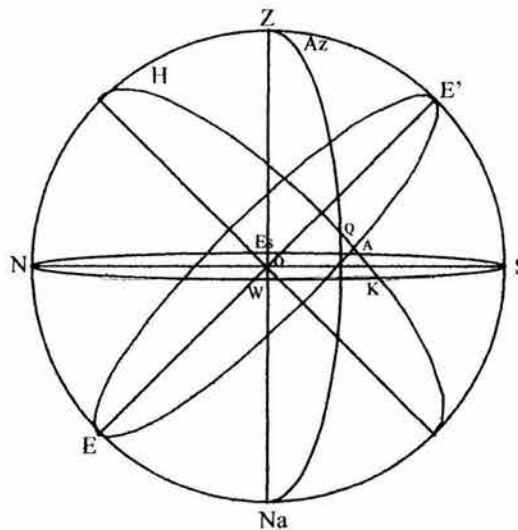


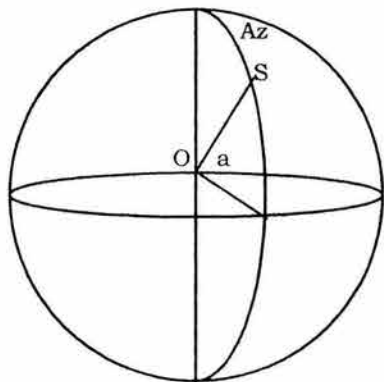
Fig. 3.4 Coordenadas celestes

ZNa	Plano vertical	PZ	Colatitud = $(90^\circ - \varphi)$
NEsSW	Plano horizontal	PQ	Codeclinación = $(90^\circ - \delta)$
PQZ	Triángulo Astronómico	PZ	Distancia Zenital = $(90^\circ - a)$
AQ	Declinación (δ)	H	Ángulo Horario
KQ	Altura (a)	Az	Azimut
NOP	Latitud (φ)	O	Origen;
		Q	Astro

⁵⁸ Las definiciones de los elementos de la esfera celeste se encuentran en el glosario.

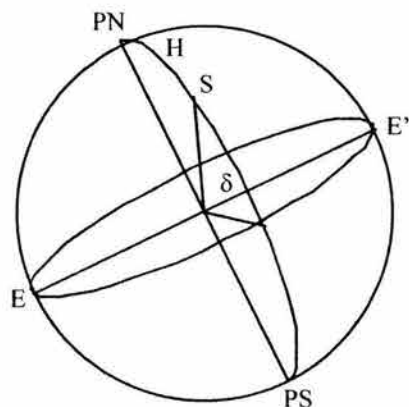
Como el anterior esquema es bastante complicado, es conveniente dividirlo en dos partes: las coordenadas horizontales y las ecuatoriales.

Coordenadas Horizontales

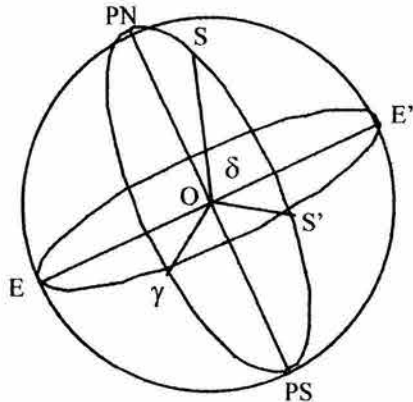


- O Origen
- S Astro
- a Altura. Se mide de 0 a 90° a partir del horizonte celeste hacia el Zenit o el Nadir
- Az Azimut. Se mide de 0° a 360° hacia el W

Coordenadas Ecuatoriales



- EE' Plano Ecuatorial
- PNPS Eje del mundo
- δ Declinación. Se mide de 0° a 90° a partir del ecuador celeste.
- H Ángulo horario. Se mide de 0° a 360° hacia el W.



EE'	Plano Ecuatorial
PNPS	Eje del mundo
γ	Punto vernal
S	Astro
PNSS'P	Círculo horario del astro
S	
PN γ PS	Círculo horario del punto vernal
δ	Declinación
γ OS'	Ascensión recta. Se mide de 0 a 360° hacia el Este
O	Origen

A continuación se presentan unas breves definiciones de los principales ángulos que sirven para establecer las coordenadas celestes:

- Altura. Distancia angular entre el horizonte y el cuerpo celeste.
- Ángulo Horario. Distancia angular entre el meridiano del lugar y el círculo horario que pasa por el cuerpo celeste.
- Ascensión Recta. Ángulo en el plano ecuatorial formado por la distancia entre el círculo horario del punto vernal y el del astro.
- Azimut. Distancia angular desde el Norte geográfico hasta la intersección del horizonte celeste con el círculo máximo vertical que pasa por el objeto celeste.
- Declinación. Distancia angular que se mide desde el ecuador celeste hasta el círculo horario del cuerpo celeste.

En la figura 3.5 se puede ver un triángulo que es muy esencial para la astronomía de posición: el triángulo astronómico. El triángulo mencionado es un triángulo esférico cuyos vértices los conforman el Polo Norte Celeste (P), el Zenit (Z) y el astro (S).

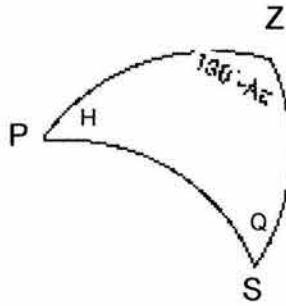


Fig. 3.5 Triángulo astronómico

El lado PZ es fijo para cada lugar de la Tierra y se llama colatitud ($90^\circ - \varphi$). El lado PS también es fijo (dentro de ciertos márgenes) y se llama distancia polar o codeclinación ($90^\circ - \delta$). El lado SZ es la distancia zentral (z) y es el ángulo complementario a la altura del astro.

Los ángulos dentro del triángulo astronómico son:

- H.- Ángulo horario, es un ángulo diedro formado por el meridiano del lugar y el círculo horario del astro.
- $180^\circ - Az.$ - Angulo diedro formado por el plano del meridiano y el plano vertical del astro.
- Q.- Es el ángulo paraláctico que se forma por los círculos vertical y horario por los que pasa el astro.

La importancia de conocer el triángulo astronómico radica en la necesidad de hacer las transformaciones en los distintos sistemas de coordenadas.

En las observaciones se necesitan coordenadas de acuerdo con el instrumento que se va a utilizar y dos casos pueden darse: el paso del sistema de coordenadas azimut y altura, al sistema de coordenadas ángulo horario y declinación; y viceversa.

La transformación de las coordenadas celestes se puede hacer por medio de la ecuación de los cosenos de la trigonometría esférica, que dice:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Sustituyendo en el triángulo astronómico, que como se mencionó, es un triángulo esférico:

$$\cos z = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) \cos H$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

3.2.1.2. Correcciones a las coordenadas celestes

Las observaciones de los astros son generalmente erróneas. Los errores son causados por la imperfección en el instrumento o la manera de utilizarlo; también hay errores del observador o errores inherentes a él como la desviación de la luz al atravesar las capas de la atmósfera; otro error se produce cuando los astros tienen un diámetro como la Luna o el Sol y el punto visado no se encuentra en el centro.

Los errores y debidas correcciones se agrupan de la manera siguiente:

- Instrumentales.
 - Errores de graduación y de excentricidad en los círculos graduados, se reducen repartiendo el error en todo el círculo.
 - Error de colimación, (tanto horizontal como vertical) debe eliminarse por el método de reiteraciones.
 - Error de índice, se determina nivelando perfectamente el aparato y haciendo una lectura de origen cuando el anteojo está perfectamente horizontal
 - Error de desviación del eje principal del instrumento
 - Error de horizontalidad del eje de alturas.
 - Por defectos de observación.

- Refracción atmosférica (desviación de los rayos luminosos). Las correcciones por refracción atmosférica se deben hacer porque los rayos luminosos que expiden los astros, sufren una desviación cuando atraviesan las capas atmosféricas debido a que éstas tienen diferentes densidades.

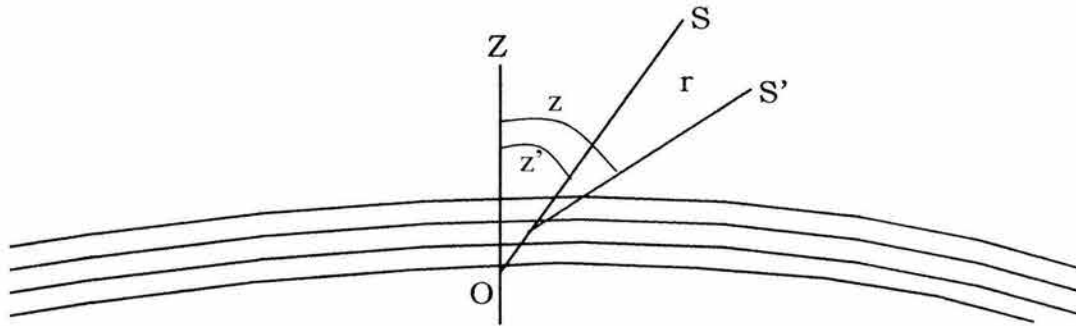


Fig. 3.6 Esquema de la corrección por refracción atmosférica

El ángulo r es el que determina la desviación con la que observamos al astro. El astro real es S , mientras que el observado es S' .

Las fórmulas para la corrección por refracción atmosférica son:

➤ $r = RBT$

- R.- Refracción media = $60''.6 \tan z$
- B.- Presión barométrica = $p'/p = p'/762$
- T.- Factor termométrico = $1/1+0.004t$
 - p.- presión
 - p'.- presión al nivel del observador
 - t.- temperatura

➤ $z' = z + r$

- Por el punto visado del astro (semidiámetro). La corrección por semidiámetro se hace cuando no es posible dirigir la visual al centro del diámetro en astros como la Luna o el Sol. En este caso, se observa algún borde (inferior o superior si se quieren medir alturas y lateral si se miden azimutes) y posteriormente se hace la corrección para referir los datos al centro del astro.

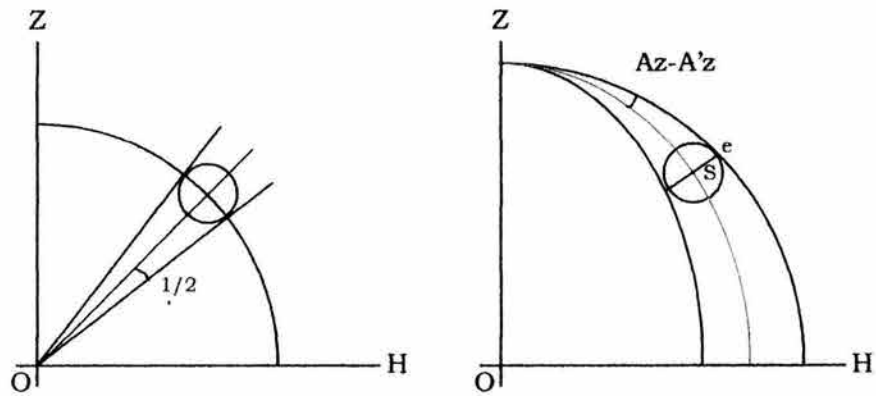


Fig. 3.7 Esquema de la corrección por semidiámetro

- Por el lugar ocupado por el observador (paralaje, depresión del horizonte). La corrección por paralaje se hace para referir las observaciones al centro de la Tierra, cuando en realidad son hechas en la superficie, ello se debe a que las coordenadas celestes están referidas al centro de la Tierra.

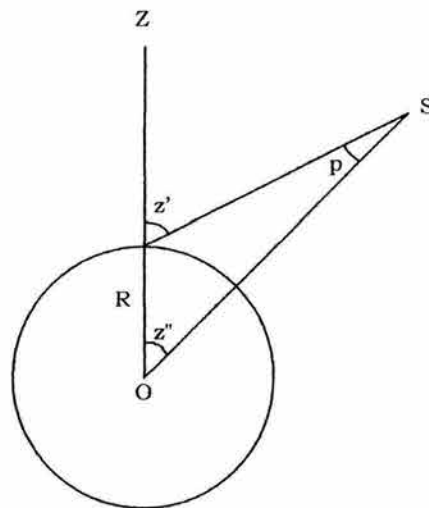


Fig. 3.8 Esquema de la corrección por paralaje

El ángulo p es el paralaje y el ángulo z'' es la verdadera distancia zenital, y se calcula como sigue:

$$p = 8''.80 \text{ sen } z'$$

La corrección por depresión del horizonte se debe efectuar porque cuando se observa un astro se hace sobre la superficie de la Tierra, y además en alguna altura determinada, entonces,

el horizonte celeste se observa más abajo de lo que está en realidad y no es posible situar la altura de astro correctamente.

Las correcciones a las coordenadas celestes son acumulativas; primero se elimina la colimación y se reducen la excentricidad y graduación.

3.2.1.3. Determinación de la hora

En Astronomía, es necesario hacer los cálculos de la determinación de la hora en un momento dado, y ello se hace a través de un cronómetro, reloj o péndulo.

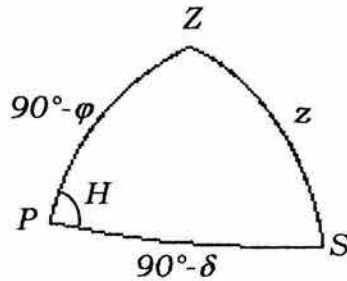
La determinación del estado del cronómetro (Δt) para un momento dado, puede obtenerse por tres maneras distintas:

- Por medio de una o varias observaciones astronómicas de la hora.
- Por la comparación del cronómetro con otro patrón.
- Por las señales de tiempo emitidas por radio.

Si se comparan dos relojes de tiempo medio, o de tiempo sidéreo; o bien, uno y uno, el cotejo se debe hacer por medio de la vista, el oído o por medio de algún cronógrafo.

La determinación de la hora por medio de las observaciones astronómicas consiste en el cálculo del ángulo horario (H) de un astro en función de los elementos del triángulo astronómico que pueden obtenerse por medio de la observación directa de un astro. El objetivo de estas observaciones para determinar el ángulo horario es establecer la longitud y latitud del lugar, así como el azimut del astro.

Para obtener el ángulo horario, se tiene que partir de la ley de cosenos del triángulo astronómico que dice:



$$\cos z = \text{sen } \varphi \text{ sen } \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

Despejando cos H

$$\cos H = \frac{\cos z \cdot \text{sen } \varphi \cdot \text{sen } \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

La fórmula anterior es generalmente usada para calcular el ángulo horario de cualquier astro, cuya distancia zenital (z) se determina por medio de las observaciones para una determinada hora cronométrica (T). Es importante mencionar que la distancia zenital se debe corregir por refracción y paralaje, por lo cual, z resulta en z'' que es la distancia zenital que se utilizará para los cálculos.

Para hacer una correcta lectura y poder determinar el estado del cronómetro (Δt) se deben seguir los pasos siguientes con el método de alturas iguales del Sol:⁵⁹

- Estacionar y nivelar cuidadosamente el aparato, en este caso Wild T-2.
- Visar el astro en posición directa; es decir, con el círculo vertical a la izquierda. El limbo superior del astro debe quedar tangente a la línea horizontal de la retícula del aparato. (Ver figura 3.9)

⁵⁹ Este método puede realizarse en la mañana y en la tarde o bien puede realizarse en dos días diferentes, pero es necesario tener la reiteración de las observaciones.

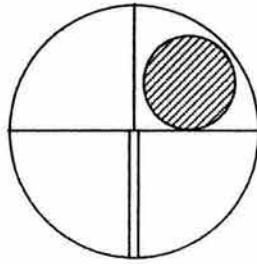


Fig. 3.9 Lectura directa del Sol para la determinación de la Δt

- Cuando el Sol o el astro visado se encuentre en esta posición se da la señal para que el auxiliar encargado registre la hora cronometrada.
- Dictar la lectura del círculo vertical.
- Invertir cuidadosamente el aparato a fin de repetir las observaciones descritas. Cuando el limbo inferior del astro toque la línea de la retícula horizontal (ver figura 3.10) se da la señal para que el cronometrista dé la hora. Se dicta de igual manera la lectura del círculo vertical y se anotan los datos.

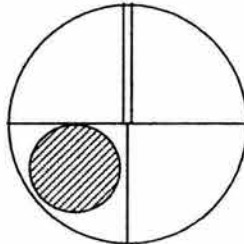


Fig. 3.10 Lectura Inversa del Sol para la determinación de la Δt

Existen otros métodos más precisos para la determinación de la hora, tales métodos son:
a) alturas iguales de dos estrellas, y b) pasos meridianos de las estrellas. Es muy importante conocer el tiempo cuando se determinan las posiciones de puntos en la superficie terrestre utilizando los métodos astronómicos, porque esta medida dará pie al cálculo de la longitud.

3.2.1.4. Cálculo de la longitud

La longitud de un lugar se puede establecer por los siguientes medios:

- Por medio de listas de posiciones geográficas como las del Anuario, si el lugar preciso buscado se encuentra en ellas.
- Midiendo en un plano la distancia en sentido E-W, entre el punto que se busca y otro de longitud conocida. Previamente hay que saber la latitud a la que se encuentra dicho punto buscado, porque la longitud de los paralelos disminuye conforme aumenta la latitud. Si el punto buscado y el conocido difieren de latitud, se obtiene una latitud media para conocer el ángulo correspondiente a la distancia media a esa latitud.
- Si se tiene la hora local y se tiene un radio, éste último se sintoniza para escuchar la hora de algún meridiano base por ejemplo 90°W.G., la diferencia de horas se multiplica por 15 y se obtiene un ángulo que se sumará al meridiano base y esa será la longitud del lugar.

Ejemplo:

Hora del meridiano 90°W.G.	=	9h 36m
Hora local	=	8h 45m
Diferencia de horas	=	0h 51m (x 15)
Diferencia angular	=	12° 45' (+ 90°)
Longitud del lugar	=	102° 45'

- "Calculando la diferencia de ángulos horarios de una estrella cualquiera. Los ángulos horarios deben ser calculados para un mismo momento, uno con respecto al meridiano del lugar y otro, con respecto al meridiano que se tome como base."⁶⁰

Con respecto a este último punto, cabe destacar que la fórmula para determinar el estado del cronómetro (Δt) sirve para determinar la longitud geográfica, sólo se tiene que saber cuál es el estado del cronómetro para cierto momento dado.

$$\Delta t = (12h + ET) \pm H - H_c + \Delta \lambda$$

$$\Delta \lambda = -(12h + ET) \pm H + H_c + \Delta t$$

⁶⁰ Miguel Montes de Oca. *Topografía*. Pág. 260

Δt = Marcha del cronómetro

$12h + ET$ = Hora del paso por el meridiano

H = Ángulo Horario

H_c = Hora cronometrada

$\Delta\lambda$ = Diferencia de longitud con respecto a un meridiano base

La fórmula anterior despeja $\Delta\lambda$; por lo tanto, como resultado se obtiene la diferencia de longitud respecto al meridiano a partir del cual se tomó el tiempo cronometrado y al que tiene que estar referido el reloj. Es necesario hacer una observación astronómica y determinar la Δt para obtener la longitud geográfica del lugar.

La longitud geográfica también se puede determinar en función de la importancia de los puntos a situar. En este sentido hay:

- Determinaciones de exploración.
- Determinaciones semiprecisas.
- Determinaciones precisas.

Las determinaciones de exploración admiten un error de $\pm 0^s.07$; es decir, $\pm 1''$ de arco. En estas operaciones poco precisas el tiempo se determina por alturas absolutas del Sol y se tiene que tener la Δt del cronómetro previamente determinada.

Las determinaciones semiprecisas son muy parecidas al caso anterior pero en este caso es más común que se observen a grupos de seis a ocho estrellas y se hagan tres observaciones consecutivas cada noche. En este tipo de observaciones la tolerancia de error es de $\pm 0^s.02$ o $0''.3$ de arco.

"Las determinaciones precisas son empleadas para la situación de posiciones Laplace en un sistema geodésico de triangulación o en levantamientos precisos para fijar rutas y direcciones para la navegación aérea y marítima."⁶¹ La tolerancia requerida no debe exceder $\pm 0''.1$; o bien, $0^s.007$ si la longitud se encuentra expresada en horas; para que la determinación no exceda de esta tolerancia, es necesario emplear los instrumentos más precisos y el método de la observación de pasos meridianos de estrellas o alturas iguales de estrellas con inscripción cronográfica y recepción automática de las señales de tiempo universal.

⁶¹ Manuel Medina Peralta. *Astronomía de Posición*. Pág. 119.

3.2.1.5. Determinación de la latitud

La latitud astronómica o geográfica se define como el ángulo que forma la vertical del lugar con el plano del ecuador. Este ángulo es igual al ángulo formado por la línea de los polos con el plano del horizonte.

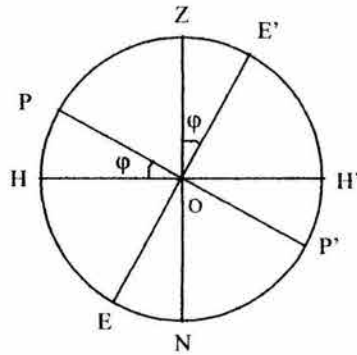


Fig. 3.11 Esquema de la determinación de la latitud.

La latitud astronómica y geodésica son distintas; la primera se obtiene a partir de la observación de las estrellas, la segunda mediante el cálculo que parte de una posición astronómica.

La Astronomía de Posición determina la latitud astronómica. En la figura 3.11 los ángulos POH y ZOE' representan la latitud de un lugar.

Para determinar la latitud astronómica hay diferentes métodos que se explicarán a continuación:

- **Observación de un objeto celeste en cualquier posición.** Este método consiste en ver al astro con un aparato de precisión que mida su altura o distancia zenital y la anotación respectiva de la hora.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Estacionar y nivelar cuidadosamente el aparato, en el caso de las prácticas realizadas, el Wild T-2.

- Visar el astro en posición directa; es decir, con el círculo vertical a la izquierda. El limbo superior del astro debe quedar tangente a la línea horizontal de la retícula del aparato y tangente a la línea vertical de la retícula. (Ver figura 3.12)

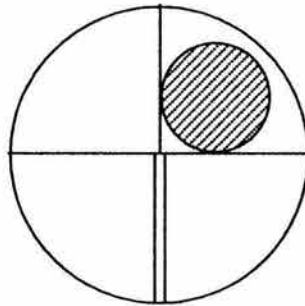


Fig. 3.12 Observación directa para la determinación de la latitud

- Cuando el Sol se encuentre en esta posición se da la señal para que el auxiliar encargado registre la hora cronometrada.
- Dictar la lectura del círculo vertical.
- Invertir cuidadosamente el aparato a fin de repetir las observaciones descritas. El limbo inferior del astro debe tocar la línea de la retícula horizontal y también la vertical, como se muestra en la figura 3.13. Se da la señal para que el cronometrista dé la hora. Se dicta de igual manera la lectura del círculo vertical y se anotan los datos.

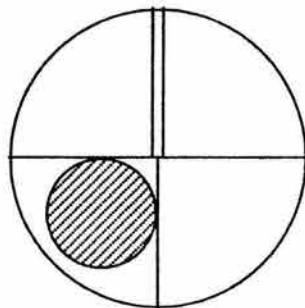


Fig. 3.13 Observación inversa para la determinación de la latitud

Esta operación debe repetirse por lo menos tres veces, y toda la observación debe repetirse 20 minutos después de las primeras reiteraciones.

Según Toscano, la latitud de un lugar se determina por medio de la observación del Sol en el instante del paso por el meridiano del observador. El Sol se va observando y siguiendo con el aparato, de tal manera que el hilo horizontal sea tangente a uno de los bordes del astro, cuando éste alcanza su mayor altura se lee el círculo vertical en posición directa e inversa. En este caso, la fórmula para calcular la latitud es:

$$\varphi = \delta \mp (90^\circ - A) \begin{cases} + & \text{cuando el Sol culmina al S de Z} \\ - & \text{cuando el Sol culmina al N de Z} \end{cases}$$

Si sólo se observa la tangencia de un borde del astro, se tendrá que hacer la corrección por semidiámetro que es aproximadamente 16' por el error del círculo vertical.

- **Uso de la fórmula de Litrow.** Esta fórmula se aplica en el caso de que se desee determinar la latitud por medio de observaciones a la estrella polar, cuyos movimientos en azimut y altura son muy lentos. La fórmula es la siguiente:

$$\varphi = a - p \cos H + \frac{1}{2} p^2 \operatorname{sen}^2 H \tan a \operatorname{sen} 1''$$

a. Es la altura de la estrella polar corregida por refracción.

$$p = 90^\circ - \delta$$

H. Es el ángulo horario en el momento de la observación, el cual requiere la determinación previa de la Δt del cronómetro.

- **Latitud por distancias zenitales meridianas.** Este es un método menos preciso porque aproxima hasta el minuto, pero su mayor cualidad es la rapidez de la determinación de la latitud. La principal dificultad de este método consiste en que el instrumento debe estar previamente orientado; en otras palabras, el anteojo del instrumento debe estar situado en el plano del meridiano.

La fórmula aplicable para este método es:

$$\varphi = \pm z \pm \delta$$

z. Es la distancia zenital. Es positiva cuando el Sol culmina al Sur del Zenit y negativa en caso contrario.

δ . Es la declinación. Es positiva si el astro se encuentra al Norte del plano del ecuador y es negativa si se encuentra al Sur.

- **Latitud por el método de Horrebow-Talcott.** Este método consiste en la observación de dos estrellas que culminen al Norte y Sur del zenit, respectivamente, con distancias zenitales muy parecidas. Si las observaciones se hacen con un instrumento adecuado y con el suficiente cuidado para evitar los errores del observador, los datos obtenidos pueden tener una precisión de centésimas de segundo de arco. Este método ha sido aplicado por las organizaciones geodésicas mundiales.

3.2.1.6. Determinación del azimut

La determinación del azimut es un cálculo muy importante para la geodesia y la topografía ya que este dato es indispensable para determinar las posiciones geográficas en las cuales se basa la construcción de un mapa; asimismo, se obtienen las coordenadas ortogonales de los levantamientos topográficos.

El azimut de una dirección se define como un ángulo plano formado por la meridiana y la línea trazada. Esta segunda definición considera que el azimut se mide de $0-360^\circ$ a partir del Norte y en dirección de las manecillas del reloj.

El método para obtener este importante dato se elige en función de la precisión que se necesite en el trabajo. La máxima precisión se puede obtener con un error de $\pm 0''.5$. Esta precisión la requieren las operaciones geodésicas delicadas; como este error puede irse acumulando, hay que hacer varias determinaciones del azimut a lo largo de una triangulación geodésica.

- **Método de las distancias zenitales del Sol.** Para determinar una azimut se puede seguir el método de las distancias zenitales del Sol. Por lo regular, en el triángulo astronómico se conocen así:
- $90-\varphi$ (se obtiene si se conoce la latitud del lugar),

- $90-\delta$ (se obtiene cuando se interpola la declinación con los datos del anuario, la hora de la observación y la longitud en la cual se encuentra el observador), y
- z (es el dato que se mide).

De la fórmula del triángulo astronómico se despeja $\cos Az$ y queda como sigue:

$$\text{sen } \delta = \text{sen } \varphi \cos z + \cos \varphi \text{sen } z \cos Az$$

$$\cos Az = \frac{\text{sen } \delta - \text{sen } \varphi \cos z}{\cos \varphi \text{sen } z}$$

Programa de observación

- El aparato se nivela correctamente con el círculo vertical a la izquierda para que se encuentre en posición directa. Se visa la señal o marca terrestre cuya línea vaya a orientarse y se pone la lectura del aparato en $00^{\circ}00'00''$ con ayuda del tambor de grados.
- Se visa el Sol llevando su imagen a la tangencia con la retícula horizontal y vertical como lo muestra la figura 3.14

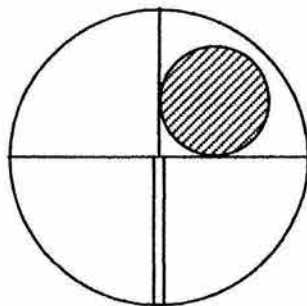


Fig. 3.14 Lectura directa para la obtención del azimut

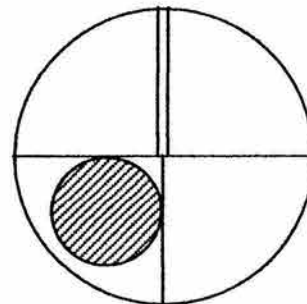


Fig. 3.15 Lectura inversa para la obtención del azimut

- Se dictan los datos del cronómetro y el círculo horizontal y vertical. Se invierte el aparato y se visa nuevamente el Sol como lo muestra la figura 3.15.

- Si se requiere más precisión en la determinación del azimut, se realiza la observación compuesta, la cual se ejemplifica en las figuras siguientes:

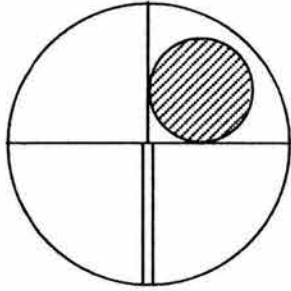


Fig. 3.16 Primera lectura directa para la obtención del azimut

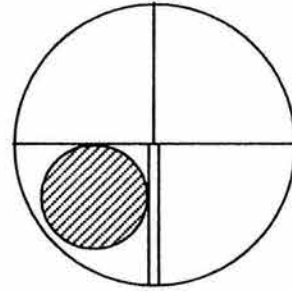


Fig. 3.17 Segunda lectura directa para la obtención del azimut

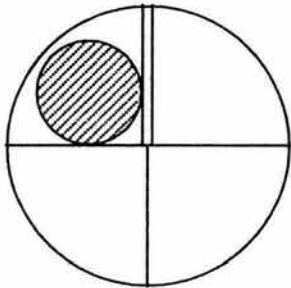


Fig. 3.18 Primera lectura inversa para la obtención del azimut

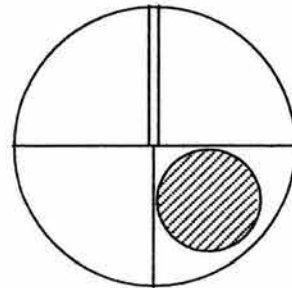


Fig. 3.19 Segunda lectura inversa para la obtención del azimut

- Una vez que el aparato se invirtió y se tomaron los datos del cronómetro y las lecturas, se regresa a la posición de la señal, en posición inversa.

Otros métodos para determinar el azimut son:

- Determinación del azimut en función del ángulo horario y la distancia zenital de una estrella
- Determinación del azimut observando el Sol en dos posiciones
- Determinación del azimut en función del ángulo horario
- Determinación del azimut por alturas iguales del Sol

3.2.2 Determinación de coordenadas Geodésicas

La Geodesia es la ciencia que trata del tamaño y forma de la Tierra, asimismo, de la determinación exacta de los puntos de la superficie terrestre. Durante el siglo XIX se realizaron trabajos por todo el mundo y en 1866 se fundó la Asociación Geodésica Internacional a la cual todos los Estados debían estar adscritos. Las investigaciones relacionadas a esta asociación son "los trabajos geodésicos y los que a ellos se relacionan, como las variaciones de la latitud, determinación de la intensidad de la gravedad, aberración de la luz, nivel medio del mar, etc."⁶² Cuando se calculó el elipsoide de revolución por el método de mínimos cuadrados, basándose en arcos medidos sobre diversos meridianos, se admitió la idea de que todos los arcos pertenecen a elipses meridianas.

Los científicos de todo el mundo empezaron a dar sus resultados acerca de las dimensiones de la Tierra. Las principales determinaciones fueron las siguientes:

Tabla 3.2 Determinaciones acerca de las dimensiones de la Tierra

Nombre	Fecha	Semieje ecuatorial	Semieje polar	Achatamiento
Everest	1830	6,377,276	6,356,075	1/300.8
Airy	1830	6,377,563	6,356,257	1/299.3
Bessel	1841	6,377,397	6,356,079	1/299.1
Clarke	1866	6,378,206	6,356,584	1/294.9
Clarke	1880	6,378,249	6,356,515	1/293.4
U.S. Coast & Geod. Sur.	1909	6,378,388	6,356,909	1/297.0
Internacional	1924	6,378,388	6,356,912	1/297.7
Krasovsky	1940	6,378,245	6,356,863	1/298.3
Australian	1965	6,378,160	6,356,775	1/298.2
G.R.S.	1980	6,378,137	6,356,752	1/298.2
W.G.S.	1984	6,378,137	6,356,752	1/298.2

Para determinar la forma de la Tierra o parte de ella (incluido su campo gravitacional) se utiliza el Sistema Geodésico de Referencia que ocupa un conjunto de valores numéricos y constantes geométricas y físicas que definen una forma única a partir de un marco matemático. El Sistema Geodésico de Referencia comprende, según Hilario Palomino ⁶³:

⁶² Jorge Caire Lomeli. *Anuario de Geografía No. XIV*. Pág. 431-432.

⁶³ Hilario Palomino Cabañas. *Una visión general de Geodesia con GPS desde la Geografía*

- El sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80).- Resultó de los constantes monitoreos de la rotación terrestre y se definió con las nuevas técnicas de medición vía láser. Sin embargo, las coordenadas terrestres que determinaba se referían a datums locales y era inadecuado para las nuevas investigaciones acerca del movimiento rotacional del eje terrestre y para las precisiones requeridas en el cálculo de las órbitas satelitales.
- El Sistema Geodésico Mundial (WGS84).- Fue creado por una serie de observaciones Doppler del Sistema Naval de Navegación, y determinó las coordenadas cartesianas de los puntos en tres dimensiones. El centro de estos datos era coincidente con el centro de la Tierra. El principal problema que tuvo este sistema fue la falta de precisión en el cálculo de las órbitas satelitales y no alcanzó la exactitud del sistema ITRF92.
- El Marco del Sistema Terrestre de Referencia Internacional (ITRF92).- Retomó los parámetros del GRS80. Se empezó a planear desde 1988 cuando se investigaron los movimientos terrestres y la variación del movimiento del polo, también se fijaron con precisión las coordenadas y los parámetros de referencia de la nueva Red Internacional. Fue hasta 1992 cuando este sistema adquirió importancia, porque se incorporaron los centros de investigación donde se

De esta forma, todos los trabajos geodésicos, cartográficos y de navegación que se han llevado a cabo por el sistema GPS, están ligados al sistema GRS80 y al ITRF92.⁶⁴

El INEGI está utilizando en sus cartas una segunda cuadrícula UTM referida al ITRF92. Para realizar los cálculos de los datos en la nueva cuadrícula se le deberán restar 28 metros hacia el Este y sumar 201 al Norte, con respecto a la cuadrícula del Dátum NAD27, según lo dicen las propias cartas.

Al Sistema Geodésico Mundial (WGS84), por su parte, se le deberán restar 12 metros hacia el Este y sumar 130 al Norte con respecto a los valores del Dátum NAD27.

⁶⁴ El funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global será tratado más adelante en este capítulo.

Así pues, los trabajos geodésicos han demostrado que la Tierra no posee una figura esférica sino que es más apegada a la elipse. Una de las características principales de la elipse es que posee dos radios, uno mayor y otro menor. Generalmente, el radio mayor se representa con la letra a y el radio menor con la letra b . Estos datos son de suma importancia para la Geodesia, porque a partir de ellos se han construido los diversos elipsoides que se han calculado para determinar la forma más aproximada de la Tierra.

En el elipsoide de revolución, el semieje mayor corresponde al radio ecuatorial de la Tierra, mientras que el semieje menor corresponde al radio polar.

En la figura siguiente se pueden apreciar algunos de los elementos del elipsoide.

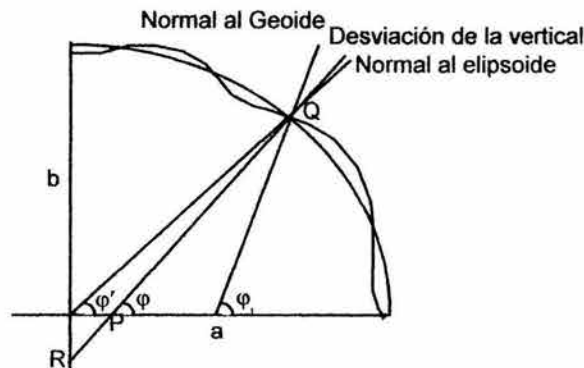


Fig. 3.20 Elementos del elipsoide

- | | |
|--|----------------------------------|
| a. Semieje mayor | b. Semieje menor |
| QR. Normal mayor | QP. Normal menor |
| φ . Latitud geodésica | φ' . Latitud geocéntrica |
| φ_1 . Latitud geodésica- astronómica | |

Con los datos de los semiejes a y b , se puede obtener la excentricidad (e) y el achatamiento polar (f), dados por las siguientes fórmulas:

$$e = \frac{(a^2 - b^2)^{1/2}}{a} \qquad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \qquad f = \frac{a - b}{a}$$

Cabe destacar que, a través de estas fórmulas también existe la posibilidad de conocer un semieje, siempre y cuando se conozca la excentricidad o el achatamiento polar y el otro semieje.

El achatamiento polar queda definido como la diferencia entre los dos semiejes (mayor y menor); la excentricidad es la distancia que hay del centro de la elipse a uno de los focos en relación al semieje mayor.

Los elementos del elipsoide tienen la finalidad de poder determinar las posiciones geodésicas a partir de observaciones realizadas sobre la superficie terrestre. A continuación se mencionarán los elementos del elipsoide y las fórmulas respectivas que auxilian en la determinación de dichos elementos.⁶⁵

Normal Mayor. Está definida a partir del punto Q de la figura 3.20, prolongándose hasta tocar al radio polar del elipsoide. Para poder trazar esta normal y también la normal menor, hay que situar una línea tangente al elipsoide que toque a éste en el punto Q. A partir de esta línea tangente se traza una línea perpendicular que es la normal mayor y menor.

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}$$

Normal Menor. Esta línea es muy parecida a la normal mayor; sin embargo, ésta sólo se prolonga hasta tocar al radio ecuatorial del elipsoide.

$$n = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} = N(1 - e^2)$$

Latitud Geocéntrica. Esta latitud está definida como el ángulo formado por el radio ecuatorial y una línea que parte desde el centro del elipsoide hasta el punto Q. El vértice de este ángulo se encuentra en el centro del elipsoide. El vértice de la latitud geodésica, por su parte, se encuentra en algún punto a lo largo del radio ecuatorial, donde la normal mayor corta al dicho radio.

$$\tan \varphi' = (1 - e^2) \tan \varphi$$

Radio de curvatura. En Geodesia, se presenta la producción de una curva formada por la intersección de un plano vertical con dicho elipsoide. A esta intersección se le denomina Radio de curvatura.

⁶⁵ Tomados de Griselda Córdoba Rendón "Elementos del Elipsoide" En: *Control Primario para la elaboración de Cartas Geográficas*.

$$Rm = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

Primer vertical. Surge cuando se corta al elipsoide con un plano que forme un ángulo de 90° con el meridiano.

$$r = \frac{NRm}{Rm(\sin^2 Az) + N(\cos^2 Az)}$$

Radio central. Se encuentra en función de la latitud Geodésica y del valor tomado para el semieje ecuatorial.

$$Rc = a \left[1 - \frac{e^2 \sin^2 \varphi (1 - e^2)}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \right]$$

Radio medio de curvatura. Es el promedio de todos los radios de curvatura correspondientes a las secciones normales de 0° a 360°.

$$rm = \sqrt{RmN}$$

Arco de meridiano. Este arco está en función del Radio de curvatura y la distancia angular de la que se quiera saber su distancia angular a lo largo de dicho meridiano.

$$dm = Rm \sin 1''$$

Arco de paralelo. Este arco está en función de la Normal Mayor y el coseno de la latitud del paralelo sobre el cual se desee saber la distancia métrica.

$$dp = 0.017453293 \text{ g } N \cos \varphi \quad ^{66}$$

Línea Geodésica. Es la distancia más corta entre dos puntos sobre el elipsoide. Cuando dos puntos que se quieren unir con la línea geodésica, no se encuentran en un mismo plano, se forman en dicha superficie dos curvas, es por eso que la línea geodésica es de doble curva.

$$\theta = \frac{S}{r}$$

⁶⁶ g es el número de grados considerados para el cálculo

3.2.2.1. Métodos Geodésicos

La Geodesia trata acerca de la determinación de la figura de la Tierra, y para ello se auxilia de las mediciones, que también sirven para el establecimiento de la posición de los accidentes geográficos. Las mediciones sobre la superficie terrestre se conocen comúnmente como levantamientos topográficos; sin embargo, los levantamientos pueden ser topográficos, si son hechos en plano, o geodésicos, si se considera la curvatura de la Tierra.

Los levantamientos topográficos se restringen a pequeñas zonas geográficas y se calculan como si la superficie terrestre fuera plana; los levantamientos geodésicos son llevados a cabo para obtener la posición relativa de puntos sobre grandes zonas geográficas y requieren que se tome en consideración la curvatura de la Tierra y la convergencia de meridianos.

Los instrumentos utilizados en estos últimos levantamientos son de alta precisión, pues los errores en ellos han sido eliminados o predeterminados para poderlos compensar en los cálculos posteriores; además, se emplean procedimientos más rigurosos de trabajo, para reducir los errores de observación.

La extensión del control horizontal puede llevarse a cabo de diversas maneras, pero el procedimiento básico comienza en un punto o puntos de posición conocida, y desde ellos se miden distancias y ángulos a los nuevos puntos, cuyas posiciones se calculan luego, por medio de los valores medidos. Los métodos más comunes de control horizontal incluyen poligonales, triangulaciones y trilateraciones, pero hay otros métodos más complejos.

Triangulación geodésica. Es un procedimiento que consiste en cubrir por medio de triángulos enlazados entre sí, toda extensión de terreno que se va a levantar. Los triángulos son figuras geométricas y la resolución de ellos proporciona las posiciones de los puntos o vértices geodésicos que componen dicho triángulo. Para ello se tendrá que conocer o determinar la longitud de uno de sus lados (línea base), la cual sirve para la determinación y propagación de los restantes lados del triángulo pues en cada uno de los vértices de la triangulación se miden las direcciones hacia los demás vértices de cada figura.

La línea base, tiene características especiales de alta precisión en la cual el error debe estar en la relación de 1:1,000,000; es decir, debe haber un metro de error en un millón de

metros. A partir de la línea base se pueden calcular los otros lados y vértices de la triangulación la cual se va propagando como lo muestra la figura siguiente. Estos datos pueden tener una posibilidad más grande de error.

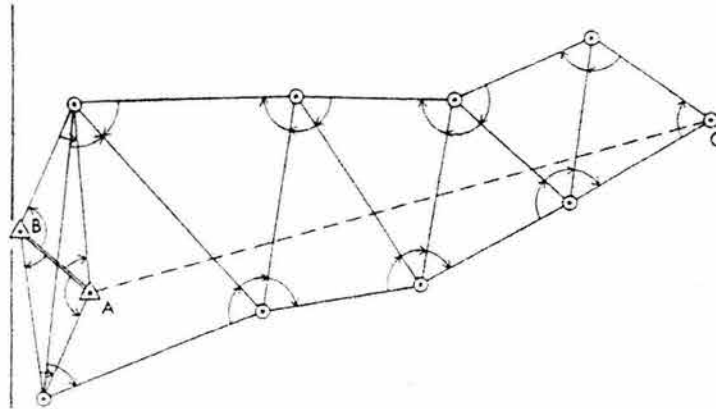


Fig. 3.21 Red de triangulación simple
 Fuente: IPGH. La Geodesia al Alcance de Todos. Pág. 26

Las triangulaciones geodésicas tienen como algunos de sus principales objetivos:

- Determinar la medida de arcos de meridiano o de paralelo
- Determinar la medida de grandes líneas
- Conocer el cubrimiento de áreas para fincar la estructura del control terrestre para diversos usos, entre ellos el cartográfico
- Fijar los límites fronterizos
- Determinar las medidas lineales y angulares de los desplazamientos que experimenta la corteza terrestre.

Se debe tomar en cuenta que el triángulo geodésico es una figura elipsóidica limitada por las líneas geodésicas, por lo que su resolución sobre el elipsoide resultaría muy difícil; sin embargo, esto se simplifica aplicando el teorema de Gauss que dice: "Un elemento de superficie superpuesta flexible se amolda sin extensión, sin desgarradura y sin dobleces, sobre una esfera cuyo radio sea la media geométrica de los radios de curvatura principales de centro del elemento de superficie considerada"; también se aplica el Teorema de Lagrange, que dice: "Si se tiene un triángulo esférico de lados poco curvos y un triángulo plano, los ángulos de ambos triángulos difieren una cantidad igual a la tercera parte del exceso esférico"; entonces, la

resolución de los triángulos de las triangulaciones geodésicas se reduce al cálculo de un triángulo plano.

Un sistema de triángulos está formado por figuras, y éstas, a su vez, forman cadenas o redes; así pues, se tienen: a) Red de triángulos; b) Red de polígonos; y c) Red de cuadriláteros (ver fig. 3.22).

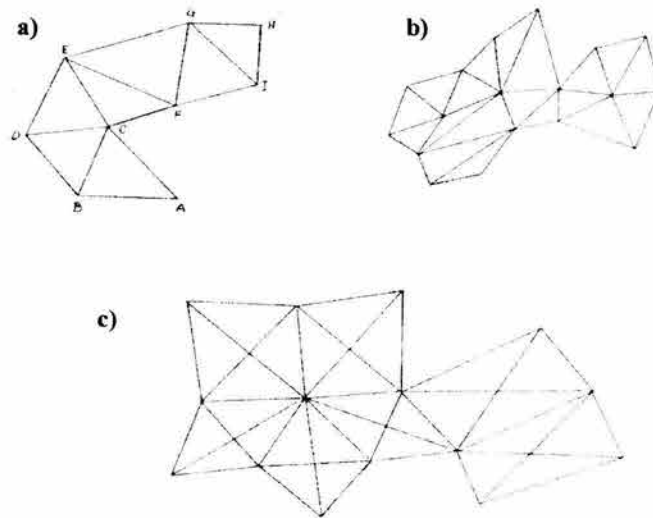


Fig. 3.22 Redes de la triangulación

Fuente: Luis Gabriel CAIRE VEGA. *Obtención del Control Terrestre para la Elaboración de Cartas Geográficas*

En cuanto a la precisión, las triangulaciones geodésicas se han dividido en varios órdenes:

- Primer orden: 1" de promedio en el cierre de los triángulos, y tolerancia lineal entre bases 1:25,000.
- Segundo orden: 3" de promedio en el cierre de los triángulos y tolerancia lineal entre bases 1:10,000
- Tercer orden: 5" de promedio en el cierre de los triángulos y tolerancia lineal entre bases 1:5,000.

Además, el primer orden ha sido dividido en tres clases: A, B y C, y para ellas se han fijado las tolerancias lineales entre bases de:

- A = 1:100,000
- B = 1:50,000
- C = 1: 25,000

Trilateración geodésica. Con la aplicación de los sistemas de medición electrónica como el Shoran y el Hiran, los levantamientos geodésicos pudieron seguir el procedimiento de la trilateración. El Shoran y el Hiran permiten la extensión del control horizontal sobre extensas áreas en lapsos relativamente cortos, también permiten realizar levantamientos sobre grandes extensiones de agua para la vinculación de islas y continentes.

En este método "sólo se miden las longitudes de los tres lados de cada triángulo"⁶⁷, y es por ello que a este procedimiento técnico se le denomina *trilateración* (Fig. 3.23). Cada lado de los triángulos que componen la red se mide repetidamente para asegurar la precisión requerida y después se ajustan para eliminar discrepancias. Posteriormente se calculan los ángulos del triángulo, para luego calcular las posiciones geodésicas, como se hace en la triangulación.

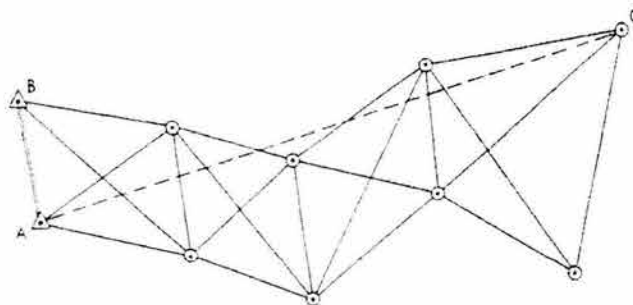


Fig. 3.23 Red de Trilateración simple.
Fuente: Fuente: IPGH. *La Geodesia al Alcance de Todos*. Pág. 28

Nivelación geodésica. Con el objeto de obtener las cotas trigonométricas de los vértices, se determinan las distancias zenitales o ángulos de altura. La nivelación trigonométrica es un método muy válido y rápido para la determinación de desniveles. Se hace la estación en un punto, se lee la distancia y el ángulo vertical, luego se calcula el desnivel que debe estar referido a un plano normal a la vertical del lugar de la estación.

La integración de datos nuevos, tal como la desviación de la vertical obtenida por las diferentes estaciones de Laplace y las informaciones recogidas por el método de nivelación a través del GPS, permitirán una representación aún más detallada de la superficie de referencia.

⁶⁷ IPGH. *La Geodesia al alcance de todos*. Pág. 29.

El uso de puntos de nivelación en la red GPS, con el conocimiento preciso de algunas de sus cotas, facilita la fijación del geoid.

Poligonación geodésica. Con este método es posible definir regiones homogéneas o áreas cercanas alrededor de una serie de puntos conocidos. La poligonación de Thiessen o Voronoi genera polígonos alrededor de un conjunto de puntos, de manera que el perímetro de los polígonos generados debe ser equidistante con respecto a los puntos vecinos. Cada punto que se desee localizar debe quedar dentro en un polígono y, por lo tanto, dicho punto se encontrará más cerca de cualquier punto conocido dentro de su polígono, que de los puntos de otro polígono.

La poligonación puede tener las aplicaciones siguientes:

- Determinación de áreas de influencia de centros de salud, farmacias, escuelas, etc.
- Área de influencia de datos pluviométricos
- Área de influencia de zonas industriales o comerciales
- Área máxima que puede cultivar un campesino en función de su localización geográfica
- Establece la continuidad del Ph de un área a partir de puntos muestrales.
- Procesador de polígonos.
- Procesos de ayuda a la superficiación y codificación para dibujos digitalizados.

Intersección geodésica. Se aplica cuando se tienen las coordenadas y los ángulos de dos puntos hacia otro que funge como el punto por conocer. Por ejemplo, e quieren conocer las coordenadas del punto P (Fig. 3.24) y se tienen las coordenadas de los puntos A y B así como de los ángulos β_A y β_B ; es decir, s. Otra posibilidad de aplicar el método de la intersección, surge cuando los ángulos hacia el punto deseado pueden calcularse con base en los datos de las líneas que se intersectan. En la figura 3.25 se conocen las coordenadas de 1, 2, 3 y 4, también se conocen los ángulos β_1 y β_2 ; así, se sabe que las dos líneas se intersectarán en el punto P, que es el que se desea conocer. Entre los métodos más utilizados para el cálculo de la intersección se encuentra el método de Englund.

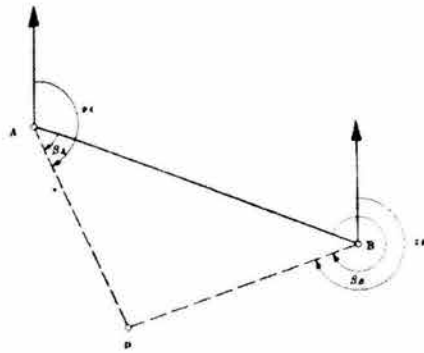


Fig. 3.24

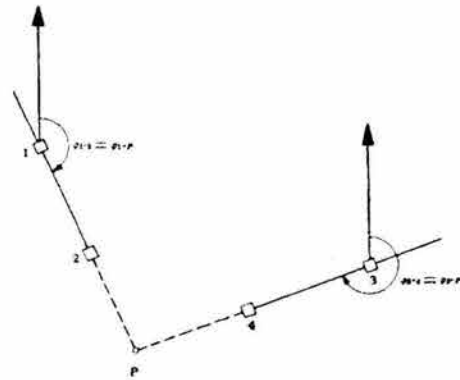


Fig. 3.25

Resección geodésica. Se refiere a la determinación de un punto por mediciones efectuadas desde dicho punto hacia por lo menos tres puntos de coordenadas conocidas. En la figura 3.26 el punto P, es el que se desea conocer, y los puntos A, B y C son puntos de coordenadas conocidas. Los puntos A, C y P quedan unidos por una circunferencia y la línea que une los puntos B y P se prolonga hasta su intersección con el círculo trazado; este punto se denominará D y es un punto de apoyo.

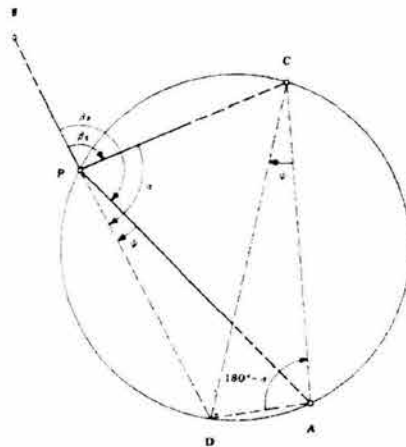


Fig 3.26 Método de la Resección

Los puntos A y C se unen por medio de una línea y los ángulos ψ resultantes serán iguales por tener el mismo arco; los azimutes AC y CA se calculan a partir de las coordenadas de A y C, de esta manera se procede a calcular las coordenadas del punto de apoyo D que se determinan por medio de la intersección de A y C. Los azimutes de las líneas AD y CD se calculan por medio de las fórmulas:

$$AD = AC - (180 - \alpha)$$

$$CD = CA + \psi$$

Una vez conocidas las coordenadas del punto D se calculan los azimutes de AP, DP y CP y así se pueden obtener las coordenadas del punto P a partir de la intersección de A, C y D. Aunque sólo son requeridos dos puntos para realizar la intersección, un tercero sirve para verificar el cálculo. En síntesis, la resección se basa en el teorema que establece que los ángulos inscritos en una circunferencia, con arcos iguales, son iguales entre sí.

Métodos Actuales. Los métodos geodésicos actuales están basados en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS); brevemente, es conveniente mencionar que el sistema de la constelación satelital NAVSTAR proporciona los datos que se reciben a través del GPS. Estos datos son básicamente la latitud, longitud y altitud de un punto de la superficie terrestre, pero hay muchos otros datos complementarios que puede captar el GPS.

Con este método actual, es posible identificar cada punto de la red de triangulación con una mayor velocidad con respecto de la técnica tradicional. A ésto se debe añadir que la determinación de distancias de los lados de los triángulos, que anteriormente se realizaba a través del hilo limbar, ahora se puede efectuar con distanciómetros, telurómetros y geodímetros que tienen una alta precisión.

Por otro lado, entre los métodos actuales que auxilian a la Geodesia, existen programas digitales; tal es el caso del POLMAKE que se aplica específicamente a la poligonación. Es un paquete de software cerrado, desarrollado por Altek Systems, para poligonar, superficiar, codificar y colorear dibujos. Este programa tiene, entre otras, las características siguientes:

- Permite automatizar completamente el proceso de poligonación, generando un nuevo diseño con los polígonos como elementos gráficos individuales, pudiendo luego superficiarlos, borrarlos, moverlos etc., interactivamente.
- Permite jerarquizar diferentes niveles de poligonación, especificando para cada uno de ellos las diferentes capas que intervendrán, de tal forma que los polígonos finales quedarán ordenados según dicha jerarquía.

- Está totalmente adaptado a ámbitos Cartográficos y Catastrales. Así, superficializa los polígonos restando las áreas de sus posibles subpolígonos interiores.
- Forma los códigos de los polígonos en función de la jerarquía de niveles especificada.
- Permite asociar la información generada a una base de datos.

En conclusión con respecto a los métodos geodésicos, se puede decir que sirven para la ubicación de puntos sobre la superficie terrestre; sin embargo, en algunas ocasiones el punto es de difícil acceso; de esta manera, se puede utilizar la intersección o resección para el cálculo de las coordenadas de dicho punto, dependiendo de la situación. Aún con los métodos geodésicos actuales, que ubican los puntos de la superficie terrestre por medio de satélites, existen dificultades para llevar el aparato a los sitios inaccesibles; así que los métodos geodésicos clásicos se deben complementar con las tecnologías actuales para obtener resultados óptimos.

3.2.2.2. Realización de un trabajo geodésico

La realización de un trabajo geodésico tiene como fin la propagación del control terrestre, con lo cual se les asignarán coordenadas a los puntos de control fotográfico y las fotografías entonces podrán pasar al posterior proceso de restitución. Un trabajo geodésico tiene como etapas: el reconocimiento, la monumentación, las observaciones y el cálculo, temas que se tratarán a continuación.

El reconocimiento es la primera etapa para realizar las triangulaciones geodésicas, ya que controla la ubicación, la distribución de estaciones, la resistencia de figuras, la conformación de la red de triángulos, la determinación de rutas y ligas en la nivelación para los levantamientos astronómicos, también analiza la ubicación de estaciones, accesibilidad, abrigo, etc. Estas operaciones exigen gran habilidad de los principios y propósitos de los trabajos geodésicos.

Un paso previo al reconocimiento es el anteproyecto, que consiste en la reunión de los mejores mapas de la región, fotografías aéreas existentes y catálogos de posiciones geográficas, con esta información se proyectará la red de triangulación geodésica. Con una inspección de los pares estereoscópicos de las fotografías aéreas se analiza la intervisibilidad de los vértices, y

sobre las cartas se realiza la conformación de la figura, que será modificada o confirmada dependiendo de los resultados obtenidos posteriormente en campo. Los vértices que se marquen durante esta etapa no son definitivos, son, en realidad, candidatos para vértices, y dependiendo de las condiciones de campo, se podrán confirmar o modificar.

Reconocimiento

Una vez concluido el anteproyecto, se procede a ir a campo para realizar el reconocimiento.

Para efectuar el Reconocimiento de una triangulación geodésica deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Requisitos Generales:
 - a. Buena visibilidad y asegurar la intervisibilidad entre vértices, de preferencia se debe tener un horizonte de 360° .
 - b. Formar figuras resistentes que puedan llegar a ser ligadas a otros levantamientos.
 - c. Obtener lados de distancias uniformes.
 - d. La ubicación del vértice debe hacerse en un lugar seguro.
 - e. Hacer una descripción para cada vértice.
2. Instrumentos:
 - a. Un teodolito de minuto.
 - b. Un barómetro aneróide y un termómetro.
 - c. Una brújula.
 - d. Anteojos binoculares.
 - e. Heliógrafo o pares de espejos planos de 8 x 10 cm.
 - f. Radios transmisores-receptores.
3. Herramientas:
 - a. Martillo, cinceles y clavos.
 - b. Pinzas, serrote y alambre del No. 20.
 - c. Pintura, pinceles y cemento.
 - d. Banderolas.
 - e. Lámparas y baterías.
4. Útiles:
 - a. Cartera de Campo.
 - b. Mapas y fotografías aéreas, si existen de esa zona.
 - c. Escuadras, transportador y lápices.
 - d. Botiquín.

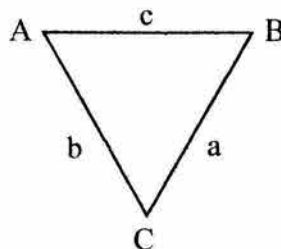
5. Personal :

- a. Un Jefe de Brigada.
- b. Un ayudante de Jefe de Brigada.
- c. Número variable de ayudantes o trabajadores.

Así pues, el teodolito se debe instalar en el terreno sobre uno de los puntos que son candidatos para vértices, es entonces cuando se observa, se realiza una reiteración o repetición y sus distancias zenitales en posición directa e inversa, se determina el rumbo magnético tanto a los puntos proyectados como a los notables o elevados; si no se dispone del teodolito es necesario tomar los rumbos magnéticos con brújula, y se realizan las lecturas; después, la brigada tendrá que trasladarse a cada uno de los puntos preseleccionados para realizar las mismas operaciones. Por procedimientos rudimentarios, se mide la distancia de un lado para poder determinar la longitud que deben tener los lados de la triangulación, de esta manera, pueden servir mejor como base para las operaciones subsecuentes.

Todos los posibles vértices deben quedar sobre terreno firme de tal manera que pueda instalarse el teodolito, ya sea sobre el tripié o en un poste de concreto. Todo vértice físicamente está representado por un monumento superficial, aéreo o subterráneo y debe referirse a marcas de referencia establecidas para su localización a través del tiempo; es necesario ver y asegurar que se esté observando la señal para tener confirmada la intervisibilidad. Terminadas las operaciones de campo pertenecientes al reconocimiento, se representará la triangulación a escala para obtener un buen croquis en el que se puedan trazar los elementos constitutivos y de esta forma se obtenga un documento gráfico que norme el planteamiento de las operaciones de las etapas siguientes.

El siguiente paso es realizar un análisis de los triángulos y figuras. La figura elemental de las triangulaciones geodésicas es el triángulo, por lo que su forma debe ser analizada para lograr mayor precisión y poder estar dentro de las tolerancias permisibles. El triángulo geodésico puede considerarse como esférico, en el que sus lados son "a", "b" y "c"; y sus ángulos "A", "B" y "C"



Para iniciar toda triangulación geodésica se debe conocer un lado del triángulo y todos sus ángulos; es decir, el lado que se conoce es la línea base y los ángulos son medidos con el teodolito, a partir de estos datos se pueden calcular los otros dos lados y así sucesivamente para toda la triangulación geodésica. Es necesario conocer las dimensiones de triángulo por medio de la Ley de los Senos.

Los triángulos que conforman deben tener entre 30° y 120° para cada ángulo, de lo contrario, hay una posibilidad más grande de error. Para llegar a un análisis más detallado y para repartir convenientemente las bases en una cadena de triángulos, es necesario tener en cuenta la teoría de los errores, que menciona que el error probable de un lado deducido de una serie de triángulos es:

$$p^2 = \frac{4}{3} e^2 \frac{D-C}{C} \sum (\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2) \quad 68$$

donde,

p= error probable del lado calculado.

e= error probable de la observación de una dirección.

D= número de direcciones observadas.

C= número de ecuaciones de condición.

$\delta A, \delta B$ = diferencias logarítmicas en un segundo correspondientes a los ángulos A y B, siendo el primero el ángulo opuesto al lado que se calcula y B el opuesto a la base.

De la ecuación anterior el factor $\frac{4}{3} e^2$ es constante en una triangulación, y depende de la precisión con que se observe, para el primer orden es de 0.4" y el valor de p depende de los factores: $\frac{D-C}{C} \sum (\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2)$, cuyo producto mide la eficacia o resistencia de figura (R), para dar una línea calculada con determinada precisión, independientemente del error de observación. Con el cálculo de esta resistencia de figura se podrá proporcionar la forma de comparar dos proyectos con el fin de elegir el mejor, de reducir el número de figuras o de localizar una base intermedia.

⁶⁸ Los elementos que intervienen en esta ecuación están considerados, tanto para el triángulo como para las otras figuras compuestas que puedan emplearse en las triangulaciones geodésicas: cuadrilátero con diagonales y polígono con punto central.

La resistencia de figuras (R) es una medida que se aplica a las figuras geométricas con el fin de conocer su estabilidad, que depende del grado de variación de los senos de los ángulos de distancia, por cada unidad de variación en los ángulos en sí mismos, este producto es a su vez multiplicado por un factor, distintivo de la figura, que esta función del número de direcciones observadas y de condiciones a ser satisfechas dentro de dicha figura. Así pues, una figura fuerte es aquella en la cual el desplazamiento de los lugares de las intersecciones es relativamente pequeño.

Para algunas de las figuras dentro de una triangulación geodésica se pueden calcular dos valores de resistencia, el valor menor se denomina R_1 y corresponderá a la cadena de triángulos mejor formada, en tanto el valor mayor R_2 es el resultado de la cadena de triángulos menos conformada.

Existe una fórmula para calcular la resistencia de figuras:

$$R = \frac{D - C}{C} \sum (\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2)$$

El primer factor $\frac{D - C}{C}$ será menor para un número dado de direcciones observadas, porque dan lugar a un número mayor de ecuaciones de condición. Los valores D y C se determinan mediante las siguientes ecuaciones :

$$D = 2L - 2$$










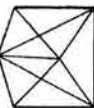
$$C = 2L - 3V + 4 \quad \text{donde,}$$

L= lados de la figura

V= vértices de la figura

A continuación se mostrarán una serie de figuras utilizadas en las triangulaciones geodésicas y se mostrará su factor $\frac{D - C}{C}$

Tabla 3.3 Determinación de la resistencia geodésica de las figuras en la triangulación

Figura	Descripción	Lados	Vértices	$\frac{D - C}{C}$
	Figura de tres lados simple	3	3	0.75
	Figura de tres lados con punto central	6	4	0.60
	Figura de cuatro lados con dos diagonales	6	4	0.60
	Figura de cuatro lados con punto central	8	5	0.64
	Figura de cuatro lados con punto central y una diagonal	9	5	0.56
	Figura de cinco lados con punto central	10	6	0.67
	Figura de seis lados con punto central	12	7	0.68
	Figura de cinco lados con cuatro diagonales	9	5	0.56
	Figura de cinco lados y tres diagonales	8	5	0.64
	Figura de cinco lados con un punto central y dos diagonales	12	6	0.55

Existe la posibilidad de que uno de los vértices que componen las figuras no sea visible, en ese caso se aplican las fórmulas siguientes:

$$D = 2L - 2 - K$$

$$C = (L - 2V + 3) + (L' - V' + 1) \quad \text{donde,}$$

L' = Número de lados cuyos vértices tienen intervisibilidad

V' = Número de vértices que tienen intervisibilidad

K = Número de lados cuyos vértices no tienen intervisibilidad

El segundo término de la ecuación $\sum(\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2)$, se refiere a las diferencias logarítmicas en un segundo correspondientes a los ángulos A y B. Para realizar este cálculo se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Se obtiene la diferencia del seno de 1" de A
- Se obtiene el *log sen A* para cada *sen A*
- Se restan los dos resultados de *log sen A* en la sexta cifra decimal para llegar a obtener δA

Ejemplo: Suponiendo que el ángulo A=30°

	sen A	log sen A + 10
sen 30°00'01"	0.500004198	9.698973
sen 30°00'00"	0.500000000	9.698970
		Dif. = 3

El mismo procedimiento se realiza para obtener δB y así poder sustituir todo el segundo término de la fórmula de resistencia de figuras:

$$(\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2).$$

Sin embargo, para evitar estos cálculos se ha desarrollado una tabla donde se dan los valores de $(\delta A^2 + \delta A \delta B + \delta B^2)$.

Una vez que se ha terminado el reconocimiento se procede a la monumentación, que consiste en la representación física de cada uno de los vértices. La monumentación puede ser de varios tipos: a) Monumentación de mampostería; b) Monumentación a flor de tierra; c) Monumentación de tipo subterráneo; y d) Monumentación en terreno rocoso.

A cada vértice se le debe establecer el monumento que lo defina y además, se deben fijar otras marcas de referencia y azimut. Las marcas de referencia se deben situar a 50 metros o más al Este, Oeste y Sur del vértice al que se refieren indicando, por medio de flechas hacia dónde dirigirse para encontrar el vértice.

Las estaciones de triangulación deben marcarse con placas de bronce en las que debe aparecer grabado el nombre de la estación y el año en que se determinó dicho vértice, esto mismo se realiza con las marcas de referencia, las cuales además indican el número de marca que le corresponde.

Las marcas de referencia del vértice, como se mencionó, deben indicar la dirección a la cual se encuentra el vértice. En caso de ser necesario, estas marcas de referencia también pueden ser monumentadas, pero su diámetro debe ser dos pulgadas más pequeño. En las placas de referencia no se deben utilizar monumentos subterráneos, deben localizarse en lugares seguros y donde pueda medirse fácilmente la distancia hacia el vértice; todo esto con el fin de que la marca de referencia sea clara.

La marca azimutal también posee un disco o placa donde está grabada la leyenda "MARCA AZIMUTAL" . Esta marca también indica, por medio de una flecha, hacia dónde se encuentra el vértice al que se refiere. La distancia entre el vértice y esta marca debe ser de aproximadamente 400 metros pero deben tener intervisibilidad entre sí. El propósito de estas marcas consiste en proporcionar un azimut en cada estación y que este dato se encuentre disponible para los trabajos locales a fin de que no se tenga que construir una torre.

Una vez realizada la monumentación se llevan a cabo las observaciones angulares tanto horizontales como verticales. Debido a la alta precisión que se requiere, se trata de evitar la refracción horizontal y de observar con toda claridad las señales, motivo por el cual, las observaciones se realizan por la noche, lo cual demanda de señales luminosas. Cuando llegan a realizarse los trabajos durante las horas de Sol, las señales utilizadas pueden ser opacas o luminosas, dependiendo de las distancias.

Las observaciones se anotan en los registros correspondientes calculando las direcciones y con éstas los ángulos que conforman la red geodésica.

La medida de ángulos de una triangulación geodésica se puede llevar a cabo por alguno de los siguientes métodos: a) método de direcciones, o b) método de ángulos.⁶⁹

Método de direcciones de Bessel. Consiste en medir los ángulos o direcciones que concurren al vértice en el que se hacen las observaciones, tomando como origen un vértice que presente buenas condiciones de visibilidad.

Después de comprobar la nivelación del instrumento, se coloca en posición directa (círculo vertical a la izquierda) y se dirige a la señal origen, llevándola al centro de los hilos de la retícula. Se coloca el aparato en una lectura de $00^{\circ} 00' 00''$. Una vez hecha esta primera lectura, se afloja el tornillo de movimiento azimutal y se dirige el anteojo a la segunda estación y al situarla dentro del campo de observación, se aprieta el tornillo de movimiento horizontal para colocar la estación en el centro de la retícula, con la ayuda del tornillo tangencial horizontal. Así, se procede con los vértices subsecuentes, y al llegar a la última señal, se da vuelta de campana al aparato, de esta manera se obtendrán las lecturas inversas.

Para realizar las lecturas con el aparato invertido, se parte de la última estación y se va en sentido contrario hasta llegar a la primera estación. De esta forma se ha concretado la primera reiteración. Para la segunda lectura de ángulos, se aprovecha que el aparato se encuentra en posición inversa; así se toman todas estas lecturas para cada señal, se da vuelta de campana en la última estación y se hace el recorrido de regreso proporcionando las lecturas directas. Este procedimiento se realiza hasta haber concluido las reiteraciones necesarias, según la exigencia del orden de la triangulación.

Método de ángulos de Screiber. Este método consiste en medir todos los ángulos que pueden formarse con las estaciones visibles (n). Cada uno de los ángulos se obtiene en medida directa, o por la suma y resta de los demás ángulos; debido a ello, es necesario que para que cada ángulo tenga igual peso, se midan igual número de veces.

⁶⁹ Con el fin de explicar los métodos se elegirá el método de direcciones de Bessel y el método de ángulos de Screiber.

Los ángulos se miden separadamente en las dos posiciones del instrumento, esto constituye una reiteración; así, el número total de ángulos por medir es de combinaciones de dos en dos de las n visuales.

En las triangulaciones geodésicas, las direcciones o los ángulos deben repetirse el número de veces que sea necesario para que el error promedio no exceda del límite prescrito para cada orden. Los errores angulares permisibles para el cierre angular de los triángulos de primer orden es de $\pm 1''$, para las triangulaciones de segundo orden $\pm 3''$, y para las de tercer orden $\pm 5''$. Sin embargo, para no llegar a estos cierres máximos es necesario repetir la observación angular, 18 veces para los vértices de primer orden, 8 veces para los de segundo orden y 4 para los de tercer orden. Esta desigualdad de observación de los vértices no indica que las precisiones para cada vértice sean desiguales, sino que en condiciones normales, las precisiones métricas son uniformes.

Los errores más frecuentes en la medida de ángulos se deben principalmente a:

- La torsión de la torre en que se apoya el instrumento. Cuando la torre en la que se apoya el instrumento es de madera o metal, puede suceder un calentamiento desigual de las partes, y debido a ello, se produce una ligera torsión de la torre. Esto se previene cubriendo a esta torre de los rayos solares.
- El fenómeno de la refracción lateral. Se previene o reduce procurando que las visuales queden elevadas y no rasantes sobre el terreno, los postes y las trabes de las torres.
- La fase de las señales. Se produce cuando se observa un tablero desigualmente iluminado por la luz solar o por la lámpara geodésica cuando se encuentra mal dirigida.

El último paso en la elaboración de los trabajos geodésicos es la resolución de los triángulos y la determinación de las coordenadas. Antes de emplear los ángulos obtenidos durante la observación en la resolución de los triángulos, se deben examinar para ver si satisfacen las condiciones geométricas que existen entre ellos; lo cual debe efectuarse antes de la compensación angular, para tener los valores más probables de los ángulos; después, con los ángulos compensados y la determinación de la longitud de la base, se procede a efectuar el cálculo de los triángulos. Para calcular el cierre angular se utiliza el Teorema de Lagrange (citado en la página 131).

Calculando el exceso esférico e y sumado a 180° se obtiene la suma interna angular del triángulo esférico; ésta, restada de la suma angular observada, arroja el error de cierre angular:

$$\text{error de cierre angular} = 180^\circ + e - \Sigma \text{ angular observada}$$

$$e = s / (R'^2 \text{ sen } 1'')$$

donde,

e = exceso esférico.

s = superficie del triángulo

$R'^2 \text{ sen } 1'' = m$; e = s m (El logaritmo de m está tabulado)

R' varía de acuerdo con la latitud.

Las tolerancias para el cierre angular que están establecidas para las triangulaciones geodésicas son:

- PRIMER ORDEN : 1" cada figura y 3" cada 10 figuras.
- SEGUNDO ORDEN: 3" cada figura y 5" cada 10 figuras.

Si el error de cierre angular no está dentro de la tolerancia, se tendrá que repetir la observación; sin embargo, si son aceptadas por estas condicionantes, se procede a llevar el cálculo completo de la triangulación geodésica. Teniendo en cuenta que la condición lineal sea aceptada; es decir, que a partir de diferentes ángulos en una misma figura, se calcule un mismo lado y que la diferencia sea mínima. Para triangulaciones de primer orden se acepta hasta cien unidades de la séptima cifra logarítmica.

Los pasos que implica el cálculo de la triangulación geodésica son:

- Reducción de las direcciones al nivel del mar. En el caso de que la altitud de las estaciones de la triangulación sea muy grande, se les debe aplicar una corrección para poder reducir las al nivel del mar: Esta corrección únicamente se aplica a las triangulaciones de primer orden, ya que sólo resulta ser de algunos centésimos de segundo.
- Cálculo del exceso esférico. Es aquella cantidad que rebasa los 180° y que depende de la superficie que tenga el triángulo y la curvatura donde se encuentre dicho triángulo.

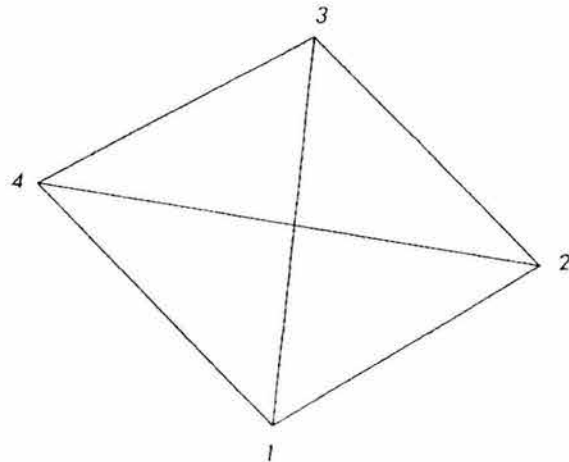
- Compensación por mínimos cuadrados. Se utiliza para el ajuste de las observaciones, y se basa en relacionar dichos valores obtenidos en campo a través de la formulación de condiciones lógicas y matemáticas que dan lugar a las ecuaciones de condición.
- Cálculo de las longitudes de los lados de un cuadrilátero. Se parte del conocimiento de las coordenadas de la base del cuadrilátero. Las longitudes restantes se propagan a partir de este dato una vez aplicado el Teorema de Lagrange.
- Cálculo de las coordenadas geodésicas. El objetivo de este cálculo consiste en proporcionar la posición geodésica a los vértices establecidos, para ello se necesita conocer el azimut geodésico y la distancia geodésica, y necesitan estar referidos a un punto cuyas coordenadas geodésicas se conozcan.
- Cálculo inverso o comprobación de las posiciones geodésicas. Se realiza con el fin de comprobar los resultados obtenidos de forma directa. También se aplica cuando se requieren la distancia y azimut, directo e inverso, una vez conocidas las coordenadas.

A continuación se presentará un ejemplo práctico para ejemplificar la propagación del control terrestre por medio de la geodesia.⁷⁰

⁷⁰ Ejercicio tomado de: Caire Vega, Luis Gabriel. "Obtención del control terrestre para la elaboración de Cartas Geográficas"

CÁLCULO DE LA FIGURA GEODÉSICA:

- 1.- Boca Grande
- 2.- Vado de Piedra
- 3.- Cementerio
- 4.- Moscos



COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS

	Boca Grande	Vado de Piedra	Cementerio	Moscos
φ	31° 25' 25.179"	31° 33' 54.311"	31° 46'	31° 48'
λ	107° 45' 03.409"	107° 28' 52.475"	107°43'	108° 00'
h	1618.87	1395.54	1370.00	2290.00

La estación 1 y 2 están determinadas astronómicamente, la 3 y la 4 sólo están aproximadas al minuto con el auxilio de una carta confiable. Los valores de la altitud (h) están referidos en metros.

DIRECCIONES OBSERVADAS

1		2		3		4	
4	00°00'00.000"	1	00°00'00.000"	2	00°00'00.000"	3	48°40'26.980"
3	50°15'38.356"	4	40°19'07.463"	1	50°41'33.120"	2	85°45'07.510"
2	103°10'36.140"	3	76°23'29.280"	4	106°50'57.850"	1	122°15'30.308"

Lado Base: 1-2=30,041.52 metros

1. REDUCCIÓN DE LAS DIRECCIONES AL NIVEL DEL MAR

La expresión de esta corrección es:

$$c = \frac{e^2 \cos^2 h \varphi \operatorname{sen} 2Az}{2N \operatorname{sen} 1''}$$

Donde,

c= Corrección angular en segundos

h= Altitud a la estación observada en metros

Az= Azimut de la dirección, tomada a partir del sur en sentido directo

φ = Latitud de la estación observada

N= Normal mayor

e^2 = Excentricidad del elipsoide

La fracción $\frac{e^2 \cos^2 h}{2N \operatorname{sen} 1''}$ puede considerarse constante: 0".000109 debido a la pequeña cantidad que dicho valor representa y la ecuación queda: 0".000109h $\cos^2 \varphi \operatorname{sen} 2Az$ y se desarrollará en la tabla siguiente:

CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE LAS DIRECCIONES AL NIVEL DEL MAR

Δ	LADOS	log 0.000109h	log $\cos^2 \phi$	Azimut (Az)	log sen Az	log SUMA	Correc.	Direcciones Observadas	Direcciones Corregidas
	VADO DE PIEDRA								
1	Boca Grande	9.24664	9.86224	58°36'	9.94911	9.05799	+0.114	00°00'00.000"	00°00'00.114"
2	Moscas	9.39727	9.86029	98°55'	9.48607 (n)	9.74363 (n)	-0.055	40°19'07.463"	40°19'07.408"
3	Cementerío	9.17415	9.85904	134°59'	9.99999 (n)	9.03318 (n)	-0.108	76°26'29.280"	76°26'29.172"
	BOCA GRANDE								
4	Moscas	9.39727	9.86029	135°18'	9.99998 (n)	9.25754 (n)	-0.181	00°00'00.000"	359°59'59.819"
1	Cementerío	9.17415	9.85904	185°33'	9.28448	8.31767	+0.021	50°15'38.356"	50°15'38.377"
2	Vado de Piedra	9.18248	9.86093	238°28'	9.95014	8.99355	+0.099	103°10'36.140"	103°10'36.239"
	MOSCOS								
3	Cementerío	9.17415	9.85904	241°50'	9.92027	8.95346	+0.090	48°40'26.980"	48°40'27.070"
4	Vado de Piedra	9.18248	9.86093	278°55'	9.48607 (n)	8.52948 (n)	-0.034	85°45'07.510"	85°45'07.476"
1	Boca Grande	9.24664	9.86224	315°18'	9.99998 (n)	9.10891 (n)	-0.128	122°15'30.308"	122°15'30.180"
	CEMENTERIO								
2	Vado de Piedra	9.18248	9.86093	314°59'	9.99999 (n)	9.04340 (n)	-0.111	00°00'00.000"	359°59'59.889"
3	Boca Grande	9.24664	9.86224	5°41'	9.29466	8.40354	+0.025	50°41'33.120"	50°41'33.154"
4	Moscas	9.39727	9.86029	61°50'	9.92027	9.17783	+0.151	106°50'57.850"	106°50'58.001"

2. CÁLCULO DEL EXCESO ESFÉRICO

Es el segundo paso en la resolución de la triangulación geodésica. El exceso esférico es la cantidad producto de la sumatoria de los ángulos internos de un triángulo esférico; es decir 180° más una cantidad excedente debida a la curvatura de los lados del triángulo.

El exceso esférico depende de: a) la superficie que abarque el triángulo geodésico, y b) la curvatura donde dicho triángulo se encuentre.

Los datos que se requieren para calcular el exceso esférico son:

- Latitud Media, que se obtiene por medio de las cartas
- Ángulos Observados
- Distancia de los lados para poder calcular la superficie del triángulo

El exceso esférico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$e = Sm$$

El factor S es el doble de la superficie del triángulo y m es un coeficiente dado para las diversas latitudes.

El cálculo del exceso esférico siempre deberá estar incluido en las operaciones geodésicas, porque con él es posible conocer el cierre angular de los triángulos.

CÁLCULO DEL EXCESO ESFÉRICO

Latitud	log m	Ángulos Observados	Cálculo aproximado del log lados	Cálculo del Exceso Esférico
30°30'	1.40544		log 1-2= 4.47772	log 3-1= 4.57669
30°40'	1.40542	1 52°55'	log csc 3= 0.11135	log 3-2= 4.49094
30°50'	1.40540	2 76°23'	log sen 1= 9.90187	log sen 3= 9.88865
31°00'	1.40539	3 50°42'		log m = 1.40533
31°10'	1.40537	Σ= 180°00'	log 2-3= 4.49094	log e = 0.36161
31°20'	1.40536		log csc 4= 0.21970	e = 2.299"
31°30'	1.40534		log sen 2= 9.76991	
31°40'	1.40532			log 4-2= 4.69158
31°50'	1.40531	2 36°04'	log 3-4= 4.48055	log 4-3= 4.48055
32°00'	1.40530	3 106°51'	log csc 1= 0.11406	log sen 4= 9.78030
32°10'	1.40528	4 37°05'	log sen 3= 9.91934	log m = 1.40533
32°20'	1.40527	Σ= 180°00'		log e = 0.35776
32°30'	1.40525		log 4-1= 4.51395	e = 2.279"
			log csc 2= 0.18909	
			log sen 4= 9.77439	log 1-3= 4.57669
		3 56°09'		log 1-4= 4.51395
		4 73°35'	log 1-2= 4.47772	log sen 1= 9.88594
		1 50°00'	log csc 3= 0.11135	log m = 1.40533
		Σ= 180°00'	log sen 2= 9.98762	log e = 0.38191
			log 1-3= 4.57669	e = 2.409"
			log 2-3= 4.49094	log 2-4= 4.69158
		4 36°30'	log csc 4= 0.21970	log 2-1= 4.47772
		1 103°11'	log sen 3= 9.98094	log sen 2= 9.81091
		2 40°19'	log 2-4= 4.69158	log m = 1.40533
		Σ= 180°00'		log e = 0.38554
				e = 2.430"

3. COMPENSACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS

La compensación por mínimos cuadrados se realiza cuando es necesario aumentar la precisión de los resultados. El método se basa en relacionar los valores obtenidos en campo a través de la formulación de condiciones lógicas y matemáticas.

Este paso no es necesario cuando la diferencia resultante entre 180° más el exceso esférico, y la sumatoria de los ángulos internos de cada triángulo con las direcciones reducidas al nivel del mar, no excede de los límites de tolerancia de la triangulación (pág. 146); en caso contrario, este método se debe aplicar.

El primer paso consiste en calcular el cierre angular (cálculo de las W) que consiste en sumar los ángulos que integran cada uno de los triángulos que componen la figura geodésica. Esta sumatoria podrá ser mayor o menor de 180° , pero será restada de 180° más el exceso esférico. Esto se denomina: Cálculo de las ecuaciones de condición de los ángulos.

También es necesario realizar las ecuaciones de condición de los lados para lograr la compensación de las direcciones. La comprobación de toda esta serie de cálculos consiste en que la suma de los ángulos interiores de cada triángulo que compone la figura geodésica sea igual a 180° más el exceso esférico.

Actualmente existen programas computarizados para el ajuste, por medio del método de mínimos cuadrados, de las redes topográficas observadas por Dirección, Distancia y Desnivel. El programa REDES, que es una ayuda completa para el cálculo de la compensación por mínimos cuadrados, puede ajustar en las coordenadas X, Y y Z en las observaciones realizadas con cualquier aparato, tanto óptico como electro-óptico. Este programa estuvo sujeto a pruebas reales y se lanzó al mercado a la disposición de la comunidad geómetra (Topógrafos, Agrimensores, Geógrafos, Geodestas y cualquier profesional en ciencias de medida.)

COMPENSACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS

Direcciones reducidas al nivel del mar	Ecuaciones de condición de los ángulos (Notación de Gerling) CÁLCULO DE LAS W								
1-2 = 103° 10' 36.239" 1-3 = 50° 15' 38.377" 1-4 = 359° 59' 59.819"	1 ₁ = 52° 54' 57.86" 2 ₁ = 76° 23' 29.06" 3 ₁ = 50° 41' 33.26"	3 ₁ = 59° 09' 24.86" 4 ₁ = 73° 35' 03.11" 1 ₂ = 50° 15' 38.56"	1 ₂ = 103° 10' 36.42" 2 ₂ = 40° 19' 07.29" 4 ₂ = 36° 30' 22.70"	2 ₂ = 36° 04' 21.76" 3 ₂ = 106° 50' 58.11" 4 ₂ = 37° 04' 40.41"					
2-1 = 00° 00' 00.114" 2-3 = 76° 23' 29.172" 2-4 = 40° 19' 07.408"	Σ = 180° 00' 00.18" 180°+e = 180° 00' 02.30" W ₂ = + 2.12	Σ = 180° 00' 06.52" 180°+e = 180° 00' 02.41" W ₃ = - 4.11	Σ = 180° 00' 06.42" 180°+e = 180° 00' 02.43" W ₄ = - 3.99	Σ = 180° 00' 00.28" 180°+e = 180° 00' 02.28" Cierre = 2.00					
3-1 = 50° 41' 33.256" 3-2 = 359° 59' 59.889" 3-4 = 106° 50' 58.001"	Ecuaciones de Condición de lados. Cálculo de W _i								
	Ángulos	log sen ángulos numerador	Dif. log. por 1" d	d ²	Áng.	log sen ángulos denominador	Dif. log. por 1" d'	d' ²	d d'
4-1 = 122° 15' 30.180" 4-2 = 85° 45' 07.476" 4-3 = 48° 40' 27.070"	2 ₁ 3 ₁ 4 ₁	9.81093017 9.88860520 9.98192550	24.8 17.2 6.2	615.04 295.84 38.44	2 ₂ 3 ₂ 4 ₂	9.98763307 9.91937405 9.77445219	5.1 14.1 28.5	26.01 198.81 812.25	126.48 242.52 176.70
Las direcciones están consideradas en sentido retrógrado	S ₁ = 9.68146087 W ₃ = S ₂ - S ₁ = - 15.6	d ₁ = 949.32	S ₂ = 9.72675203	d ₂ = 1037.07					
Unidades a la séptima cifra logarítmica									
Cálculo de [aa]	Cálculo de [ab]	Cálculo de [ac]	Cálculo de [ad]	Cálculo de P ₁					
[aa] = 2([d ₁ ²] + [d ₂ ²] + [d ₃ ²] + [d ₄ ²])	[ab] = d ₂ - 2d ₂ ' + 2d ₃ + d ₃ '	[ac] = - d ₃ - 2d ₃ ' + 2d ₄ - d ₄ '	[ad] = 2d ₂ - d ₂ ' + d ₄ - 2d ₄ '	P ₁ = 2[ab] + [ac] - [ad]					
[d ₁ ²] + [d ₂ ²] = 1986.39 (-1) ⁿ [d ₃ ²] = - 60.66 1/2 [aa] = 1925.73 [aa] = 3851.46	d ₂ - 2d ₂ ' = 14.60 2d ₃ + d ₃ ' = 48.50 [ab] = 63.10	- d ₃ - 2d ₃ ' = - 45.40 2d ₄ - d ₄ ' = - 16.10 [ac] = - 61.50	2d ₂ - d ₂ ' = 44.50 d ₄ - 2d ₄ ' = - 50.80 [ad] = - 6.30	2 [ab] = 126.20 [ac] = - 61.50 - [ad] = 6.30 P ₁ = 71.00					
Cálculo de P ₂	Cálculo de P ₃	Cálculo de Q	Cálculo de K ₁						
P ₂ = [ab] + 2[ac] - [ad]	P ₃ = 2[ad] - [ab] - [ac]	Q = P ₁ [ab] + P ₂ [ac] + P ₃ [ad]	K ₁ = (8W ₁ - P ₁ W ₂ - P ₂ W ₃ - P ₃ W ₄) / (8[ad] - Q)						
[ab] = 63.10 2 [ac] = - 123.00 - [ad] = 6.30 P ₂ = - 53.80	2 [ad] = - 12.60 - [ab] = - 63.10 - [ac] = 61.50 P ₃ = - 14.20	P ₁ [ab] = 4480.10 P ₂ [ac] = 3296.40 P ₃ [ad] = 89.46 Q = 7865.96	8W ₁ = - 124.800 - P ₁ W ₂ = - 150.733 - P ₂ W ₃ = - 220.564 - P ₃ W ₄ = - 56.630 Numerador = - 552.727 8 [aa] = 30811.68 - Q = - 7865.96 Denominador = 22945.72 K ₁ = - 0.02408848						
Cálculo de K ₂	Cálculo de K ₃	Cálculo de K ₄	Correcciones a las direcciones dadas por la compensación		Direcciones compensadas				
K ₂ = 1/8 (2W ₂ + W ₃ - W ₄ - P ₁ K ₁)	K ₃ = 1/8 (2W ₃ + W ₂ - W ₄ - P ₂ K ₁)	K ₄ = 1/8 (2W ₄ + W ₃ - W ₂ - P ₃ K ₁)							
2W ₂ + W ₃ = 0.131 - W ₄ = 3.988 - P ₁ K ₁ = 1.710 8K ₂ = 5.829 K ₂ = 0.729	2W ₃ + W ₂ = - 6.107 - W ₄ = 3.988 - P ₂ K ₁ = - 1.291 8K ₃ = - 3.410 K ₃ = - 0.426	2W ₄ + W ₃ = - 3.861 - W ₂ = - 2.123 - P ₃ K ₁ = - 0.342 8K ₄ = - 6.326 K ₄ = - 0.791			V 1-2 = - 0.062 V 1-3 = - 1.155 V 1-4 = 1.217 V 2-1 = 0.537 V 2-2 = 0.852 V 2-3 = - 1.388 V 2-4 = 0.401 V 3-1 = - 0.315 V 3-2 = - 0.086 V 3-3 = - 0.680 V 3-4 = 0.104 V 4-1 = 0.575 V 4-2 = 0.575				
Cálculo de V 1-2	Cálculo de V 1-3	Cálculo de V 1-4	Cálculo de V 2-1	Cierre de triángulos con ángulos compensados					
V 1-2 = K ₂ + K ₄	V 1-3 = - K ₂ + K ₃	V 1-4 = - K ₃ - K ₄	V 2-1 = (d ₂ ' - d ₂)K ₁ - K ₂ - K ₄						
K ₂ = 0.729 K ₄ = - 0.791 V 1-2 = - 0.062	- K ₂ = - 0.729 K ₃ = - 0.426 V 1-3 = - 1.155	K ₃ = 0.426 - K ₄ = 0.791 V 1-4 = 1.217	(d ₂ ' - d ₂)K ₁ = 0.475 - K ₂ = - 0.729 - K ₄ = 0.791 V 2-1 = 0.537	1 ₁ 52° 54' 58.955" 2 ₁ 76° 23' 29.373" 3 ₁ 50° 41' 33.792" Σ 180° 00' 02.300" 1 ₂ 103° 10' 35.141" 2 ₂ 40° 19' 05.369" 4 ₂ 36° 30' 21.920" Σ 180° 00' 02.430"					
Cálculo de V 2-3	Cálculo de V 2-4	Cálculo de V 3-1	Cálculo de V 3-2						
V 2-3 = -d ₂ 'K ₁ + K ₂	V 2-4 = d ₂ 'K ₁ + K ₄	V 3-1 = (d ₃ + d ₃ ')K ₁ + K ₂ - K ₃	V 3-2 = -d ₃ 'K ₁ - K ₂	3 ₁ 56° 09' 24.369" 4 ₁ 73° 35' 01.855" 1 ₂ 50° 15' 36.186" Σ 180° 00' 02.410"					
-d ₂ 'K ₁ = 0.123 K ₂ = 0.729 V 2-3 = 0.852	d ₂ 'K ₁ = - 0.597 K ₄ = - 0.791 V 2-4 = - 1.388	(d ₃ + d ₃ ')K ₁ = - 0.754 K ₂ = 0.729 - K ₃ = 0.426 V 3-1 = 0.401	- d ₃ 'K ₁ = 0.414 - K ₂ = - 0.729 V 3-2 = - 0.315						
Cálculo de V 3-4	Cálculo de V 4-1	Cálculo de V 4-2	Cálculo de V 4-3						
V 3-4 = -d ₃ 'K ₁ + K ₃	V 4-1 = (d ₄ - d ₄ ')K ₁ + K ₂ + K ₄	V 4-2 = -d ₄ 'K ₁ - K ₄	V 4-3 = -d ₄ 'K ₁ - K ₃						
-d ₃ 'K ₁ = 0.340 K ₃ = - 0.426 V 3-4 = - 0.086	(d ₄ - d ₄ ')K ₁ = 0.537 K ₂ = - 0.426 K ₄ = - 0.791 V 4-1 = - 0.680	-d ₄ 'K ₁ = - 0.687 - K ₄ = 0.791 V 4-2 = 0.104	-d ₄ 'K ₁ = 0.149 - K ₃ = - 0.426 V 4-3 = 0.575	2 ₂ 36° 04' 24.004" 3 ₂ 106° 50' 58.341" 4 ₂ 37° 04' 39.935" Σ 180° 00' 02.280"					
Cierre lineal de ángulos compensados									
Ángulos		log sen ángulos numerador		Ángulos		log sen ángulos denominador			
2 ₁		9.8109254		2 ₂		9.9876332			
3 ₁		9.8886064		3 ₂		9.9193734			
4 ₁		9.9819247		4 ₂		9.7744499			
S ₁ = 9.6814565				S ₂ = 9.6814565					
S ₁ - S ₂ = 0								U. 7ª cifra log	

4. CÁLCULO DE DISTANCIAS Y AZIMUTES GEODÉSICAS

Las distancias de los lados de la figura geodésica se pueden calcular una vez que se conozcan los datos siguientes: base y ángulos internos de dicha figura. Todos los demás lados se pueden ir propagando utilizando el teorema de Lagrange. En los cálculos precisos de las triangulaciones geodésicas se deben considerar los datos de las direcciones corregidas y compensadas.

A los ángulos, compensados por el método de mínimos cuadrados, se les reparte por igual la diferencia del exceso esférico (también se denomina reducción), así la sumatoria de los ángulos internos será igual a 180° , y el triángulo esférico de lados poco curvos se convertirá en un triángulo plano cuyos lados poseen igual extensión que los del esférico.

La resolución de las distancias geodésicas se realiza aplicando la Ley de los senos de los triángulos planos oblicuángulos que dice: $\frac{a}{\text{sen}A} = \frac{b}{\text{sen}B} = \frac{c}{\text{sen}C}$

Para comprobar los resultados obtenidos se deberán sumar los triángulos de la figura geodésica, los cuales deberán sumar $180^\circ 00' 00.000''$. Otra comprobación se puede realizar calculando las longitudes de algunas diagonales de la figura geodésica en ambos sentidos, la cifra no debe tener variación o diferir hasta la séptima cifra logarítmica.

Para calcular distancias mayores que las de un lado geodésico (20-60 km) se deben emplear otros métodos como los de Hayford (para 5,000 km) o Clarke (de 5,000 a 15,000 km) que ofrecen resultados más precisos.

Los azimutes geodésicos se calculan en función de la línea conocida \pm el ángulo entre la línea que une el punto conocido y el punto cuyas coordenadas se desean conocer.

CÁLCULO DE DISTANCIAS GEODÉSICAS

Triángulos	Ángulos Compensados	Ángulos Reducidos	Cálculo de lados	Longitud de lados
1 BOCA GRANDE 2 VADO DE PIEDRA 3 CEMENTERIO	52°54'58.955" 76°23'29.373" 50°41'33.972" Σ= 180°00'02.300"	52°54'58.188" 76°23'28.606" 50°41'32.206" 180°00'00.000"	log 1-2= 4.477721900 log csc 3= 0.111394889 log sen 1= 9.901869025 log 2-3= 4.490985810 log csc 4= 0.219758024 log sen 2= 9.769980543	1-2 = 30,041.520 m 2-3 = 30,973.181 m
2 VADO DE PIEDRA 3 CEMENTERIO 4 MOSCOS	36°04'24.004" 106°50'58.341" 37°04'39.935" Σ= 180°00'02.280"	36°04'23.244" 106°50'57.581" 37°04'39.175" 180°00'00.000"	log 3-4= 4.480724380 log csc 1= 0.114101047 log sen 3= 9.919372229 log 4-1= 4.514197660 log csc 2= 0.189076619 log sen 4= 9.774447658	3-4 = 30,249.930 m 4-1 = 32,673.651 m
3 CEMENTERIO 4 MOSCOS 1 BOCA GRANDE	56°09'24.369" 73°35'01.855" 50°15'36.186" Σ= 180°00'02.410"	56°09'23.566" 73°35'01.052" 50°15'35.386" 180°00'00.000"	log 1-2= 4.477721900 log csc 3= 0.111394889 log sen 2= 9.987632843 log 1-3= 4.576749630	1-3 = 37,735.458 m
4 MOSCOS 1 BOCA GRANDE 2 VADO DE PIEDRA	36°30'21.920" 103°10'05.369" 40°19'35.141" Σ= 180°00'02.430"	36°30'21.110" 103°10'04.559" 40°19'34.331" 180°00'00.000"	log 2-3= 4.490985810 log csc 4= 0.219758024 log sen 3= 9.980943841 log 2-4= 4.691687680	2-4 = 49,168.582 m

5. CÁLCULO DE COORDENADAS GEODÉSICAS

El cálculo de coordenadas geodésicas en un vértice requiere del conocimiento de la posición de otros vértices, que se obtuvieron por medio la astronomía o el posicionamiento satelital. A partir de dichos vértices se calculará la diferencia de la latitud y la longitud ($\Delta\varphi$ y $\Delta\lambda$, respectivamente). También a partir de los puntos de origen se puede conocer el azimut. Para cumplir con el objetivo del cálculo es necesario contar con los siguientes datos, que están referidos al punto de origen: azimut geodésico y distancia geodésica.

El cálculo del azimut se realiza en función del azimut de la línea conocida formada por los vértices de origen.

La latitud geodésica del punto deseado se expresa por medio de la fórmula siguiente: $\varphi' = \varphi + \Delta\varphi$, donde φ' es la latitud del punto por conocer, φ es la latitud del punto conocido y $\Delta\varphi$ es la diferencia ente ambas. Este mismo criterio se aplica a la longitud cuya fórmula se expresa: $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$, y al azimut cuya ecuación es: $\alpha' = 180^\circ + \alpha + \Delta\alpha$

No obstante la sencillez de las fórmulas anteriores, las ecuaciones para determinar las diferencias ($\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ y $\Delta\alpha$) son un tanto complejas. Para llevar un orden se han desarrollado algunas tablas que se manejan con valores logarítmicos y con la ayuda de calculadoras científicas.

Fórmulas empleadas ⁷¹:

$$\begin{aligned}
 - \Delta\varphi &= s \cos \alpha B + s^2 \operatorname{sen}^2 \alpha C + (\delta\varphi)^2 D - h \operatorname{sen}^2 \alpha s^2 E - \frac{1}{2} s^2 KE + \frac{3}{2} s^2 KE + \frac{1}{2} s^2 \cos^2 \sec \varphi A^{12} K \operatorname{sen}^2 1'' \\
 \log \Delta\lambda &= \log s + C_{\log \Delta\lambda} - C_{\log s} + \log \operatorname{sen} \alpha + \log A' + \log \sec \varphi' \\
 - \Delta\alpha &= \Delta\lambda \operatorname{sen} \frac{1}{2} (\Delta\varphi) + (\Delta\lambda)^3 F
 \end{aligned}$$

Las literales A, B, C, D, E y F poseen cada una su propia ecuación que está en función de la latitud de los puntos conocidos, de la excentricidad y del eje mayor del elipsoide.

⁷¹ COSAT and Geodetic Survey. Pág 8

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS GEODÉSICAS ⁷²

α	2	VADO DE PIEDRA	a	1	BOCA GRANDE	58	36	24.469
2d						+	76	29.370
α	2	VADO DE PIEDRA	a	3	CEMENTERIO	134	59	53.839
$\Delta\alpha$						-	07	16.884
α'	3	CEMENTERIO	a	2	VADO DE PIEDRA	180	00	00.000
						314	52	36.955
φ	31	33	54.311	2	VADO DE PIEDRA	λ	107	28
$\Delta\varphi$	+	11	50.326			$\Delta\lambda$		13
φ'	31	45	44.637	3	CEMENTERIO	λ'	107	42
								44.740
s	Logaritmos	(1)	- 711.0902	$\frac{1}{2}$	Logs.	$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$		$31^{\circ} 39' 49.47''$
cos α		(2)	+ 0.7496	s				Logaritmos
B			- 710.3406	K		s		4.49098585
(1) = h		(3)	+ 0.0111	E		sen α		9.84949797
s^2		(4)	+ 0.0030	(5)		A'		8.50931890
sen ² α		(5)	- 0.0000	3		sec φ'		0.07045932
C		(6)	+ 0.0000	cos ² α		Σ		2.92026205
(2)=K		(7)	+ 0.0000	(6)		Arc-sen		- 52
($\delta\varphi^2$)		$-\Delta\varphi$	- 710.3265	(colog E)		$\Delta\lambda$		2.92026153
D		$\Delta\varphi$	- 355.1633			sen $\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$		9.72010399
(3)				sec φ		sec $\Delta\varphi/2$		0.00000064
-h				(7)		Aprox ($-\Delta\varphi$)		2.64036617
s^2 sen ² α						Ant.log		436.884''
E		Arc-sen corr				(8)		000.000''
(4)		Para s	- 17.0	$\Delta\lambda$		$-\Delta\alpha$		436.884''
		Para $\Delta\lambda$	+ 11.8	F				832.265''
		Total	- 5.2	(8)		$\Delta\lambda$		13' 52.265''

⁷² El cálculo está seccionado en partes. Se realiza desde cada punto conocido a cada uno de los puntos por determinar en forma separada. Esto constituye al mismo tiempo una comprobación.

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS GEODÉSICAS (cont)

α	1 BOCA GRANDE	a	2 VADO DE PIEDRA	238	27	57.238
$2d$				- 52	54	58.960
α	1 BOCA GRANDE	a	3 CEMENTERIO	185	32	58.278
$\Delta\alpha$				+	01	12.647
				180	00	00.000
α'	3 CEMENTERIO	a	1 BOCA GRANDE	5	34	10.925
						"
φ	31	25	1 BOCA GRANDE	λ	107	45
$\Delta\varphi$	+	11		$\Delta\lambda$	-	02
φ'	31	45	3 CEMENTERIO	λ'	107	42
						"
s	Logaritmos					
$\cos \alpha$	4.57674963	(1)	- 1219.5112	$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$	31° 35' 34.91"	
B	9.99795967 (m)	(2)	+ 0.0207	s	Logaritmos	
(1)=h	8.51147650	(3)	- 1219.4905	K	8.316	4.57674963
s'	3.08618580 (m)	(4)	+ 0.0014	E	5.938	8.98545366 (n)
$\text{sen}^2 \alpha$	9.15349926	(5)	- 0.0000	(5)	3.106	8.50931890
C	7.97090732	(6)	+ 0.0000	3	0.477	0.07045932
(2)=K	1.19137000	(7)	+ 0.0000	$\cos^2 \alpha$	9.996	2.14198151 (n)
($\delta\varphi^2$)	8.31577658	(8)	- 1219.4578	(6)	3.579	- 219
D	6.17235686	$-\Delta\varphi$	- 609.7289	(colog E)	4.062	2.14198370 (n)
(3)	2.34120000	$\Delta\varphi$		$\text{sec } \varphi$	5.912	9.71923372
-h	8.51355686			(7)	0.138	0.00000190
$s^2 \text{sen}^2 \alpha$	3.08618580			Aprox (- $\Delta\varphi$)	3.691	1.86121932
E	7.12440658			Ant.log		72.647"
(4)	5.92379000	Arc-sen corr		(8)		00.000"
	6.14849238	Para s	- 25.2	$\Delta\lambda$	6.426	72.647"
		Para $\Delta\lambda$	+ 3.3	F	7.872	- 138.670"
		Total	- 21.9	(8)	4.298	- 2' 18.670"

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS GEODÉSICAS (cont)

α	2 VADO DE PIEDRA	a	1 BOCA GRANDE	58	36	24.469		
2d				+ 40	19	05.370		
α	2 VADO DE PIEDRA	a	4 MOSCOS	98	55	29.839		
$\Delta\alpha$				-	16	05.370		
				180	00	00.000		
α'	4 MOSCOS	a	2 VADO DE PIEDRA	278	39	24.048		
					0	"		
φ	31	33	54.311	2 VADO DE PIEDRA	λ	107	28	24.475
$\Delta\varphi$	+	04	03.982		$\Delta\lambda$	+	30	43.205
φ'	31	37	58.293	4 MOSCOS	λ'	107	59	35.680
	Logaritmos		"	Logs.				
s	4.69168768	(1)	- 247.6739	$\frac{1}{2}$	9.699	$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$		31° 35' 56.31"
cos α	9.19072569 (m)	(2)	+ 3.6860	s	9.383			
B	8.51146680		- 243.9879	K	0.567	s		4.69168768
(1)=h	2.39388017 (m)	(3)	+ 0.0013	E	5.940	sen α		9.99470964
s^2	9.38337536	(4)	+ 0.0051	(5)	5.589	A'		8.50932190
sen ² α	9.98941928	(5)	- 0.0000	3	0.477	sec φ'		0.06985295
C	1.19376000	(6)	+ 0.0000	cos ² α	8.381	Σ		3.26557216
(2)=K	0.56655464	(7)	+ 0.0000	(6)	4.447	Arc-sen		- 148
($\delta\phi^2$)	4.77473647	$-\Delta\varphi$	- 243.9815	(colog E)	4.060	$\Delta\lambda$		3.26557364
D	2.34230000	$\Delta\varphi$	- 121.9907		5.912	sen $\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$		9.71930698
(3)	7.11703647			sec φ	0.139			0.00000008
-h	2.39388017			(7)	4.558			2.98488069
s^2 sen ² α	9.37279464							965.786"
E	5.94050000	Arc-sen corr						000.005"
(4)	7.70717481	Para s	- 42.9	$\Delta\lambda$	9.797	$-\Delta\alpha$		965.791"
		Para $\Delta\lambda$	+ 57.7	F	7.872			1843.205"
		Total	+ 14.8	(8)	7.669	$\Delta\lambda$		30' 43.205"

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS GEODÉSICAS (cont)

α	1 BOCA GRANDE	a	2 VADO DE PIEDRA	238	27	57.238
$2d$				- 103	10	35.140
α	1 BOCA GRANDE	a	4 MOSCOS	135	17	22.098
$\Delta\alpha$				-	07	36.128
α'	4 MOSCOS	a	1 BOCA GRANDE	180	00	00.000
				315	09	45.969
φ	31	25	1 BOCA GRANDE	λ	107	45
		25.179		$\Delta\lambda$	+	14
$\Delta\varphi$	12	33.116		γ	107	59
φ'	31	58.294	4 MOSCOS			35.680
s	Logaritmos			$\frac{1}{2}(\varphi + \varphi')$	Logaritmos	
$\cos \alpha$	4.51419766	(1)	- 753.9495	s	4.51419766	
B	8.51147650	(2)	- 0.8210	K	9.914	
(1)=h	2.87734227 (n)	(3)	- 0.0124	L	5.938	
s'	9.02839532	(4)	- 0.0003	(S)	4.579	
$\text{sen}^2 \alpha$	9.69455944	(5)	- 0.0000	3	0.477	
C	1.19137000	(6)	- 0.0000	$\cos^2 \alpha$	9.703	
(2)=K	9.91432476	(7)	- 0.0000	(6)	4.759	
($\delta\phi$)	5.75373823	$-\Delta\varphi$	- 753.1158	(colog L)	4.062	
D	2.34120000	$\Delta\varphi$	- 356.5579		5.912	
(3)	8.09493823			$\text{sec } \varphi$	0.138	
-h	2.87734227			(7)	4.871	
$s'' \text{sen}^2 \alpha$	8.72295476					
E	5.93790000	Arc-sen corr		(8)	000.000	
(4)	7.53819704	Para s	- 18.9	$\Delta\lambda$	8.822	
		Para $\Delta\lambda$	+ 12.9	L	7.872	
		Total	- 6.0	(8)	6.693	
				$\Delta\lambda$	14'	32.217"

6. CÁLCULO INVERSO DE COORDENADAS GEODÉSICAS Y AZIMUTES INVERSOS

El Cálculo inverso de coordenadas geodésicas se realiza con el fin de comprobar los resultados obtenidos por el método directo; no obstante, también se puede aplicar cuando se requiere conocer la distancia geodésica entre dos puntos así como el azimut directo e inverso entre los puntos deseados.

1. φ	31 37 58.293	MOSCOS	λ	107 59 35.680	
2. φ'	31 45 44.637	CEMENTERIO	λ'	107 42 44.470	
$\Delta\varphi = (\varphi' - \varphi)$	07 46.344		$\Delta\lambda = (\lambda' - \lambda)$	- 16 50.940	
$\frac{\Delta\varphi}{2}$	03 53.172		$\frac{\Delta\lambda}{2}$	- 08 25.470	
$\varphi = (\varphi + \frac{\Delta\varphi}{2})$	31 41 51.465				
$\Delta\varphi$ (seg.)	466.344		$\Delta\lambda$ (seg.)	- 1010.940	
$\log \Delta\varphi$	2.66870639		$\log \Delta\lambda$	3.00472538 (n)	
corr. Arc-sen	0		corr. Arc-sen	- 44	
$\log \Delta\varphi$	2.66870639		$\log \Delta\lambda$	3.00472582 (n)	
$\log \cos \frac{\Delta\varphi}{2}$	9.99999870		$\log \cos \varphi$	9.92984425	
$\text{colog. } B_m$	1.48854230		$\text{colog. } A_m$	1.49067960	
$\log \{s \cdot \cos(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})\}$	4.15724739	signo contrario a $\Delta\alpha$	$\log \{s \cdot \sin(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})\}$	4.42524967 (n)	
			$\log \{s \cdot \cos(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})\}$	4.15724739	
$\log \Delta\lambda$	3.00472538 (n)	$3 \log \Delta\lambda$	9.014	$\log \tan(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})$	0.26800228
$\log \sin \varphi$	9.72052019	$\text{Log. } F$	7.872	$\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}$	241° 39' 10.05"
$\log \sec \frac{\Delta\varphi}{2}$	0.00000030	$\text{Log } b$	6.886	$\log \sin(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})$	9.94452533 (n)
$\log a$	2.72524588 (n)			$\log \cos(\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2})$	9.67652307 (n)
a	- 531.1850824			$\log s_1$	4.48072438
b	- 0.0007691			corr. arc-sen	44
- $\Delta\alpha$ (seg.)	- 531.1858515			$\log s$	4.48072482
$\frac{-\Delta\alpha}{2}$	- 265.5929258			s	30.249.961

3.2.3 Sistema de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global, (GPS), es un sistema de posicionamiento y navegación basado en las señales transmitidas por la constelación de satélites NAVSTAR (por las siglas en inglés de Navigation Satellite Timing And Ranging)⁷³ consistente en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres las dimensiones, así como velocidad y tiempo. Dichas señales son recibidas por aparatos receptores portátiles en Tierra, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas; así, al no haber comunicación directa entre el usuario y los satélites, el GPS puede dar servicio a un número ilimitado de usuarios.

El GPS fue creado en 1973 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objetivo de mejorar la exactitud para la navegación terrestre, marina y aérea, y poder suministrar un posicionamiento geográfico preciso en cualquier parte del mundo a usuarios en Tierra por medio del uso de receptores. El 22 de febrero de 1978 se puso en órbita el primero de los satélites NAVSTAR, hecho que constituyó el principio del lanzamiento de un grupo de 10 satélites como un bloque experimental, que tuvo como objetivo determinar la efectividad del sistema. Después de estos trabajos de investigación, se puso en marcha el bloque operativo, que el 26 de junio de 1993 colocó en órbita el satélite número 24, con lo cual quedó completa la constelación que permite un cubrimiento espacial de 24 horas en cualquier parte del mundo. Actualmente la precisión de un levantamiento GPS está cifrada en el rango de los 3-10 metros, en el momento de la observación⁷⁴; sin embargo, la exactitud se puede mejorar por medio de una técnica llamada corrección diferencial.

⁷³ Sistema de Navegación por Tiempo y Distancia

⁷⁴ Momento que también se denomina “tiempo real”

3.2.3.1. Funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global

La clave para comprender el funcionamiento del GPS consiste en saber que una señal electromagnética viaja a la velocidad de la luz (300,000 km/s) en el vacío. Una vez determinado el tiempo (Δt) que toma a la señal viajar desde el satélite al receptor, puede calcularse la distancia (d) que existe entre ambos. La posición del receptor en un sistema cartesiano X,Y se calcula por la intersección cuando se tengan calculadas las distancias precisas hacia por lo menos tres satélites de posición conocida. En realidad el posicionamiento GPS no es tan sencillo, pero el planteamiento anterior anticipa la base teórica del sistema.

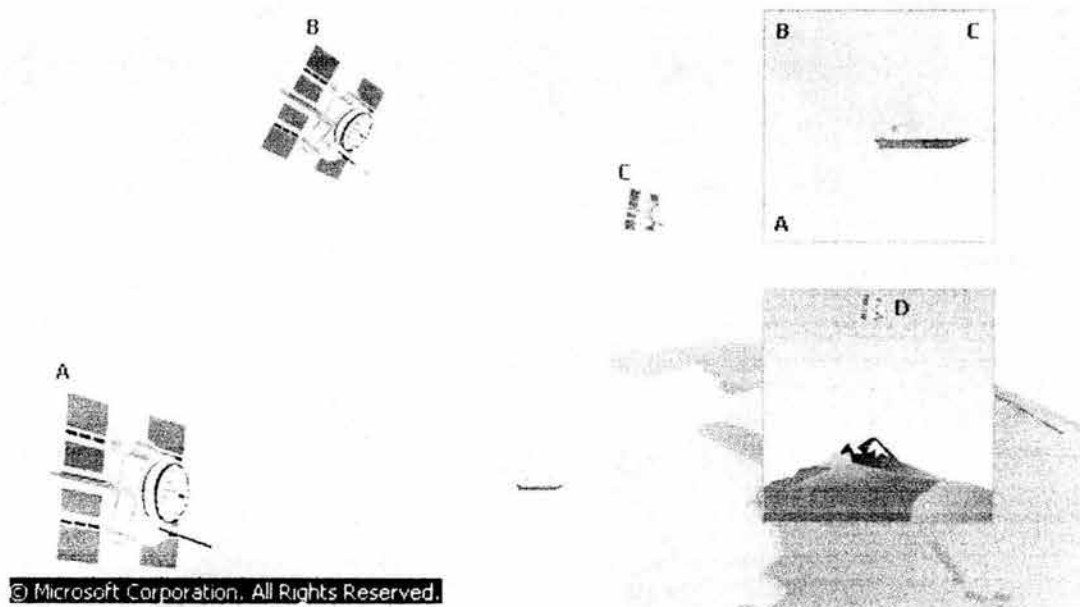


Fig. 3.27

Los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) describen órbitas a gran altura sobre la Tierra en ubicaciones precisas que permiten al usuario determinar de forma exacta su latitud, longitud y altitud. El receptor mide el tiempo que tardan en llegar las señales enviadas desde los diferentes satélites (A, B y C). A partir de esos datos, el receptor triangula la posición exacta por medio de la intersección de las distancias. En todo momento, cada punto de la Tierra recibe cobertura de varios satélites. Se necesitan tres satélites para determinar la latitud y la longitud, mientras que un cuarto satélite (D) es necesario para determinar la altitud.

Fuente: Enciclopedia Electrónica Encarta (2001)

Los satélites GPS llevan relojes atómicos de alto grado de precisión. La información horaria se sitúa en los códigos de transmisión mediante los satélites, de forma que un receptor puede determinar en cada momento el tiempo en que se transmite la señal. Esta señal contiene datos que el receptor utiliza para calcular la ubicación de los satélites y realizar los ajustes necesarios para precisar las posiciones. El receptor utiliza la diferencia de tiempo entre

el momento de transmisión de la señal el tiempo de la recepción, para calcular la distancia al satélite. Asimismo, tiene en cuenta los retrasos en la propagación de la señal debidos a dos capas de la atmósfera: ionósfera y a la tropósfera.

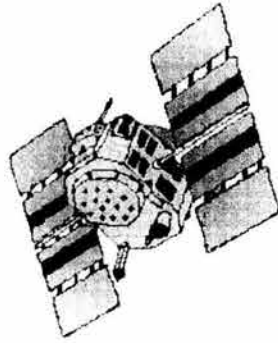
La distancia entre el satélite y el receptor, la corrección del reloj del satélite, la corrección del reloj del receptor, el retraso atmosférico y el ruido en la señal constituyen la corrección diferencial. La corrección en el reloj del satélite, los retrasos debidos a la atmósfera y el ruido en la señal, son compensados por la incorporación de correcciones, antes de incluirlas en el cálculo de la posición; pero la corrección en el reloj del receptor es una variable más a determinar; así que, para calcular directamente las distancias, el usuario debe tener un reloj atómico sincronizado con el Sistema de Posicionamiento Global o utilizar fórmulas para corregir la diferencia.

3.2.3.2. Partes del Sistema de Posicionamiento Global

El Sistema GPS está definido para su estudio por tres grandes subsistemas: el Subsistema Satelitario, también llamado Espacial, el Subsistema de Control y el Subsistema del Usuario

El subsistema Satelitario está constituido por los 24 satélites operativos de la constelación NAVSTAR, que se hallan distribuidos en 6 órbitas elípticas, cada una con 55° de inclinación con respecto al Ecuador para asegurar la cobertura de las regiones polares; los satélites tienen un período de casi 12 horas y orbitan a 17.440 km. de altitud.

La energía que requieren los satélites para moverse la proporcionan células solares, por lo que los satélites se orientan continuamente dirigiendo los paneles solares hacia el Sol y las antenas hacia la Tierra.



*Fig. 3.28 Satélite NAVSTAR del primer bloque
Fuente: Geocentro*

La configuración de la constelación asegura que, con pocas excepciones, siempre haya un mínimo de cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la Tierra. A la fecha existen orbitando más de 24 satélites NAVSTAR (31 satélites), sin embargo sólo los 24 mencionados operan en forma permanente; algunos ya terminaron su vida útil o entran en acción cuando los operativos presentan problemas. Estos satélites están equipados con cuatro relojes atómicos activados por osciladores de Cesio o Rubidio, que permiten al satélite transmitir ondas electromagnéticas en dos frecuencias distintas que indican el tiempo exacto de transmisión, estas frecuencias son captadas por los receptores utilizados para la observación.

El subsistema de control es operado por las fuerzas armadas norteamericanas. Consiste en una Estación Maestra o de control principal ubicada en la base de las Fuerzas Aéreas Falcon, localizada en Colorado Springs, California E.U., y las cuatro estaciones de observación situadas en Falcon AFB, distribuidas en las inmediaciones del ecuador y alrededor del mundo. Cada estación de control rastrea los satélites GPS mediante radiotelescopios y envía la información hacia la estación maestra, donde se llevan a cabo complicados cálculos para determinar las efemérides precisas de cada satélite y el error de reloj correspondiente. La estación maestra genera la actualización de la información de navegación de cada satélite y la transmite a los satélites, esta información a su vez, es retransmitida por los satélites como parte de su mensaje de navegación a los receptores portátiles.

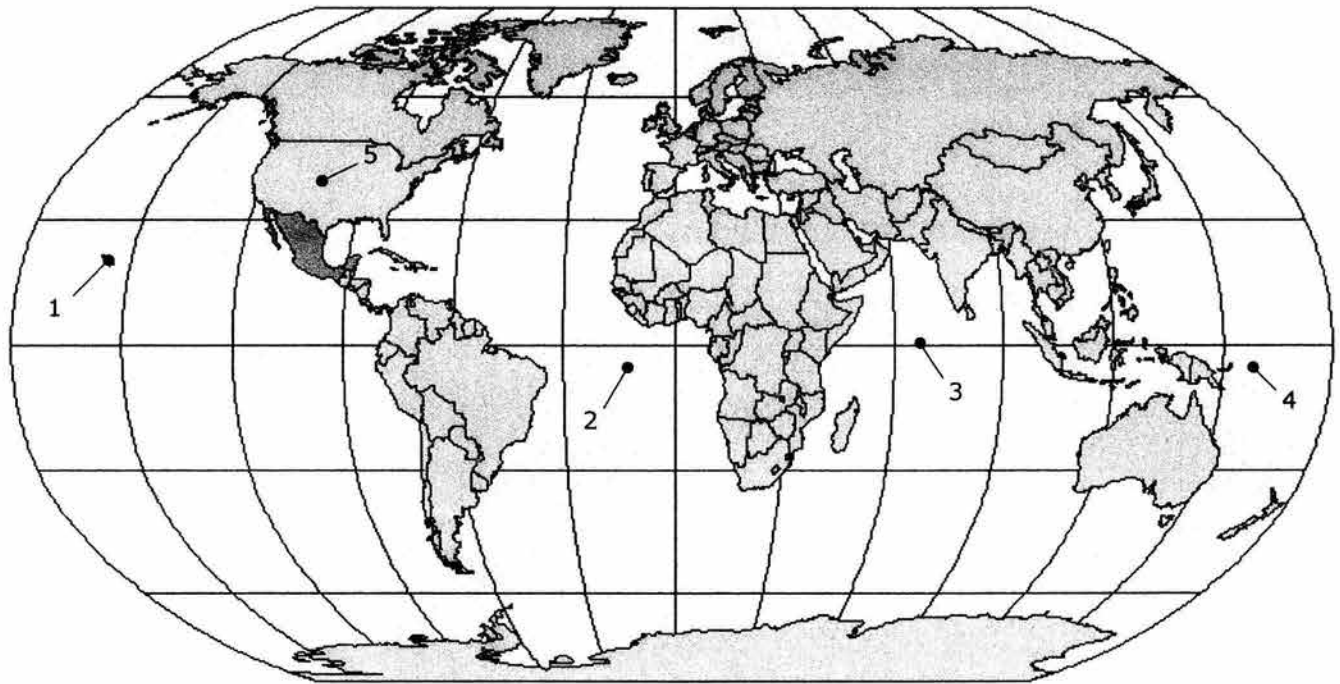


Fig. 3.29 Estaciones del Subsistema de Control:

1. *Hawai*
2. *Ascensión*
3. *Diego García*
4. *Kwajalein*
5. *Colorado Springs*

El subsistema del usuario es un término que en principio fue asociado a los receptores militares. Los GPS militares utilizan equipos integrados en armas de fuego, armamento pesado, artillería, helicópteros, buques, submarinos, carros de combate, vehículos de uso múltiple y los equipos individuales para soldados. Además de las actividades básicas de navegación, su aplicación en el campo militar incluye designaciones de destino, apoyo aéreo, municiones 'terminales' y puntos de reunión de tropas. Actualmente, con más de medio millón de receptores de GPS, el subsistema se compone de todos los usuarios de las señales de la constelación NAVSTAR quienes acceden a ellas, por medio del receptor. Dichas señales pueden utilizarse para los más diversos fines, sin embargo, es conveniente destacar que el GPS está disponible en dos formas básicas: SPS, iniciales de Standard Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Estándar), y PPS, siglas de Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso). Como sus nombres lo indican el código PPS permite un rango de precisión mucho más alto en tiempo real que el código SPS. El PPS es accesible sólo a los militares de Estados Unidos y sus aliados, salvo en situaciones especiales.

Todos los receptores obtienen la información que requieren del Subsistema Satelitario por medio del mensaje de navegación, entre otros el archivo de almanaque, que permite al receptor conocer la posición aproximada de los satélites en la bóveda celeste para lograr una rápida localización de los mismos y consecuentemente un rápido posicionamiento. Este archivo se actualiza cada vez que el receptor se enciende y capta la señal de al menos un satélite.

3.2.3.3. Tipos de GPS

Existen tres tipos de aparatos GPS: los navegadores, los topográficos y los geodésicos. Las diferencia entre ellos es básicamente la precisión con la que otorgan las coordenadas del punto por conocer.

Los GPS navegadores son receptores de alto desempeño y tienen la facultad de recibir 12 canales paralelos, presenta una adquisición de satélites increíblemente rápida y un enganche satelital seguro, incluso bajo la cubierta de árboles no muy densos. Poseen 107 datums predefinidos, así como de avanzadas funciones de orientación y el promedio de posición, la definición de coordenadas en proyección UTM y la posibilidad de definir una en Proyección Universal Transversa de Mercator, a partir de sus propios parámetros. A pesar de todas estas cualidades, los GPS navegadores sólo proporcionan información de ubicación aproximada para el usuario. No es recomendable diseñar una cartografía a partir de los datos que se obtiene utilizando estos receptores.



Fig. 3.31 GPS Garmin 12XL
Fuente: Geocentro

Los GPS topográficos constituyen herramientas poderosas de captura de elementos geográficos y proveen excelentes precisiones en cortos períodos de observación, estos aparatos son muy buenos para mantener un mejor balance entre los factores eficiencia y costo. La avanzada tecnología que utiliza (ASHTECH) ofrece un programa de fácil manejo que mejora exactitudes a nivel del centímetro para dar soporte a proyectos de Sistema de Información Geográfica.

Los GPS topográficos pueden capturar las coordenadas con diferentes tipos de precisión. Generalmente poseen 8 canales y tienen un sistema de precisión decimétrica que graba los datos GPS, para lograr las exactitudes que antes eran solo posibles a través de equipos topográficos tradicionales. El proceso de datos requiere varios minutos de colección de datos para determinar las coordenadas del punto por conocer; sin embargo, ASHTECH ha desarrollado un nuevo método para el proceso de los datos de la fase portadora mientras se está en movimiento con los satélites debidamente enganchados. Lo anterior significa que se puede llegar a niveles de exactitud decimétrica aún en movimiento, ahorrando tiempo para el trabajo de campo.

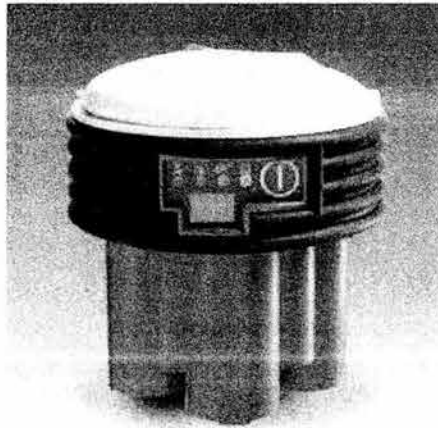
El sistema de precisión centimétrico proporciona datos de 1 a 3 cm de error con algunos minutos de ocupación sobre el punto.



*Fig. 3.32 GPS Topográfico Reliance
Fuente: Geocentro*

Los GPS topográficos realizan levantamientos a nivel centimétrico para control o deslinde de propiedades, también para trabajos para topografía. El GPS Locus mostrado a continuación

tiene todo lo necesario para obtener resultados precisos y confiables y se encuentra libre de cables.



*Fig. 3.33 GPS Topográfico Locus
Fuente: Geocentro*

Los GPS geodésicos también utiliza la tecnología de ASHTECH. Se utilizan para trabajos topográficos en tiempo real con precisiones centimétricas; entonces, puede configurarse para una variedad de aplicaciones y levantamientos, incluyendo cartas topográficas, control geodésico, deslinde o fotogrametría. Estos aparatos ofrecen mucha rapidez al usuario ya que una sola persona puede levantar mucho más puntos por día de lo que es posible utilizando instrumentos tradicionales de levantamiento, aun sobre líneas largas.

Los GPS geodésicos tienen 12 canales, ofrecen una mejor capacidad de rastreo satelital bajo condiciones adversas de visibilidad, tales como zonas de cubierta vegetal densa, cañones urbanos o entre edificios relativamente altos.



*Fig. 3.34 GPS Geodésico Z-Surveyor FX
Fuente: Geocentro*

El posicionamiento de puntos por medio del sistema GPS puede realizarse con el uso del aparato receptor. INEGI, que ha seleccionado el ITRF92 época 1988.0 como nuevo Sistema Geodésico de Referencia, ha establecido estaciones fijas de la Red Geodésica para que los usuarios se apoyen en ellas y puedan extender y densificar las posiciones geodésicas con GPS a una mayor precisión. Las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa son 14 y otorgan una precisión de 1:50,000. Ellas proporcionan el marco de referencia fundamental del país para todos los trabajos de posicionamiento geodésico.

La RGNA constituye una base segura para el levantamiento de nuevos vértices y actualmente proporciona el nivel de precisión más alto que se encuentre disponible en México.

LAS ESTACIONES FIJAS DE LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA

Nombre de la estación	Ubicación	Latitud norte (° ' ")	Longitud oeste (° ' ")	Altura en metros
COLI	Colima, Col.	19 14 56.90195	103 43 05.64633	529.2080 snmm
CULI	Culiacán, Sin.	24 47 54.79135	107 23 02.18737	102.9860 snmm
CHEM	Chetumal, Q.R.	18 29 42.99710	88 17 57.20192	9.9696 snmm
CHIZ	Chihuahua, Chih.	28 39 18.90199	106 06 43.61168	1487.4561 snmm
FMTY	Monterrey, N. L.	25 40 38.81116	100 17 07.82941	516.6754 snmm
HERM	Hermosillo, Son.	29 05 59.73965	110 56 27.34598	242.1110 snmm
INEG	Aguascalientes, Ags.	21 51 22.15594	102 17 03.12353	1903.1008 snmm
LPAZ	La Paz, B. C. S.	24 08 19.66367	110 19 09.62510	25.969 snmm
MÉRI	Mérida, Yuc.	20 58 48.16303	89 37 13.13563	21.5109 snmm
MÉXI	Mexicali, B. C.	32 37 58.76261	115 28 32.51760	12.3690 snmm
OAXA	Oaxaca, Oax.	17 04 49.64051	96 43 09.50637	1597.0459 snmm
TAMP	Tampico, Tamps.	22 16 41.95931	97 51 50.48359	37.5745 snmm
TOLU	Toluca, Méx.	19 17 24.61420	99 38 18.54849	2654.5490 snmm
VILL	Villahermosa, Tab.	17 59 45.92350	92 54 47.83608	31.7025 snmm

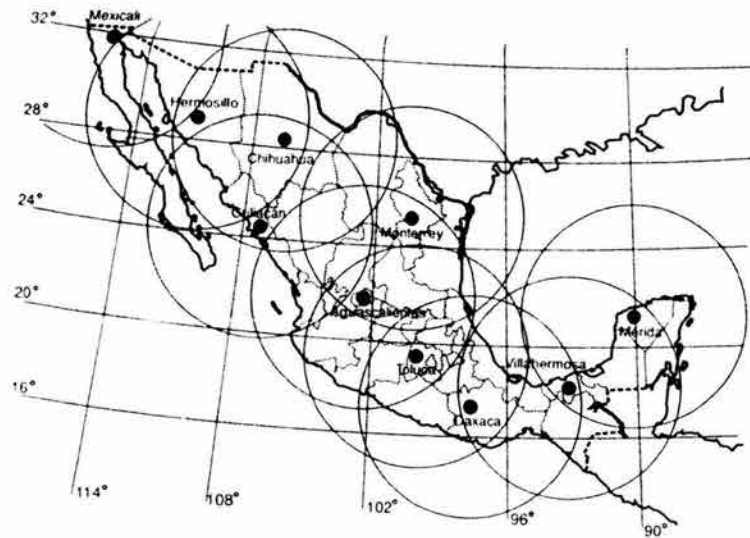


Fig. 3.1 Estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa
Fuente: Jorge Caire (2003). Fotogrametría Aérea.

Es necesario destacar que los GPS constituyen actualmente el método más utilizado para la obtención de coordenadas, de hecho, tal como se hizo referencia en el segundo capítulo, están integrados al sistema de la cámara directamente en el avión de manera que la fotografía aérea ya esté georreferenciada al momento de la toma. Sin embargo, el GPS del avión no es el único que se requiere para solidificar el control terrestre, también son necesarios aparatos situados directamente en campo que se distribuyan en el área cartografiada y que estén apoyados en la RGNA.

Conclusiones

A lo largo de este capítulo se recalcó la importancia de conocer las coordenadas de los puntos de la superficie terrestre para elaborar las cartas geográficas, se mencionaron los métodos posibles para conseguir dicho fin, así como las diversas posibilidades de precisión y tecnología.

Este paso es de suma importancia durante la elaboración de las cartas geográficas ya que por medio de él, los puntos de control fotográfico quedarán georreferenciados; es decir, estarán ubicados en la superficie terrestre con valores coordenados. Asimismo, por medio de la geodesia, se calculan las distancias y ángulos entre los puntos, para que ellos queden aún más rígidos y la precisión de la carta sea mayor.

Con los métodos actuales que llevan programas de cómputo, tales como el programa PLANIX, y con la ayuda de la tecnología del GPS este paso suele pasar un tanto desapercibido, ya que la integración de los datos de la tecnología GPS en vuelo, brinda el posicionamiento y orientación correctos a todos los sensores y cámaras dispuestas en el avión. Así se elimina la necesidad de puntos de apoyo en el terreno y posterior proceso de georreferenciado de las fotografías y se evita la pérdida de precisión. No obstante que este proceso cada vez sea más automatizado, no significa que no se lleve a cabo y es importante comprenderlo para conocer los procesos que realizan en las computadoras y más allá, poder comprobar su eficacia.

En este mismo sentido, los procedimientos de obtención de coordenadas por medio de la Astronomía de Posición están cada vez más en desuso debido a la inclusión de la tecnología GPS, la cual brinda menor esfuerzo, más simplicidad y más rapidez al obtener los datos. Sin embargo, el GPS tiene un inconveniente muy importante, que es la posible manipulación de los

datos que se obtengan ya que ellos son controlados por las bases aéreas de Estados Unidos; en cambio, la Astronomía de Posición es un proceso muy independiente y está exento de la manipulación de datos.

Antes del 2 de mayo del 2000, los GPS recurrieron a la corrección diferencial (mencionada anteriormente) para poder mejorar la precisión de sus datos; sin embargo, a partir de esa fecha los departamentos de Comercio, Agricultura y Justicia de Estados Unidos eliminaron el sistema de Disponibilidad Selectiva (DS) para mejorar la precisión alcanzada mediante los sistemas de corrección diferencial, que restaban validez a la DS. Así, a partir de las 0 h. del 2 de mayo de 2000 se mandó la orden de desactivar el error a los satélites GPS.

La DS es una degradación o retardo intencionado de las señales del GPS al receptor con el fin de perder precisión. Actualmente, con la DS desactivada se obtiene una exactitud hasta diez veces superior de lo que lo hacían hasta ahora (es por ello que en numerosos estudios se aplicaba la corrección diferencial). La DS se desactivó para fomentar la aceptación y la integración del GPS entre la población civil y pacífica así como en las aplicaciones científicas y comerciales de todo el mundo, y fomentar la inversión del sector privado y el uso de la tecnología y servicios americanos aplicados al GPS; es decir, conseguir un mayor interés por el GPS por parte de los usuarios civiles y comerciales de todo el mundo.

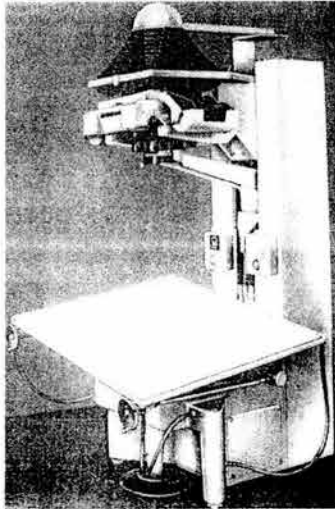
Estados Unidos no tiene intención de volver a usar la disponibilidad selectiva. Para asegurarse que los enemigos potenciales no utilizan el sistema GPS, el ejército desarrolla y pone en práctica la degradación de la señal en modo local en lugar de global.

Con la DS desactivada los GPS navegadores que utilizan la corrección diferencial no otorgarán un cambio apreciable en la precisión, podrían mejorar de 1 a 3 metros. Si se requiere el GPS para fines topográficos, se necesitarán los otros sistemas de GPS para alcanzar tal precisión.

Aún con la DS desactivada la exactitud del GPS no será tan precisa con respecto al código PPS, el cual maneja dos frecuencias que permiten cancelar errores causados por la ionosfera terrestre así como por radiaciones solares a los receptores militares. Los receptores de los usuarios civiles sufrirán todavía los errores ionosféricos; sin embargo, el Comité Ejecutivo Interdepartamental de GPS (IGEB), a partir del año 2003 estudiará la adición de una nueva frecuencia para uso civil en los satélites GPS, esto proporcionará un servicio equivalente al PPS en cuanto a precisión, esta frecuencia se pondría en funcionamiento a partir del 2005.

CAPÍTULO

4



Triangulación y Restitución Fotogramétrica

“La restitución fotogramétrica es el proceso para determinar la posición planimétrica y altimétrica de las imágenes en las fotografías estereoscópicas ”

IPGH, 1986

Introducción

La triangulación y la restitución fotogramétrica son los pasos siguientes en la elaboración de cartas geográficas. A través de los años, los fotogrametristas se abocaron a diseñar métodos para situar los puntos en fajas o redes. Estos puntos se fijan a través de una serie de mediciones que se llevan a cabo directamente en las fotografías aéreas.

El control terrestre, como se mencionó en el capítulo anterior, se localiza en las fotografías (entonces se llama control fotográfico o fotocontrol) y en ellas se realizan algunos procesos que conducen a la georreferenciación o posicionamiento con respecto a la superficie terrestre. El control terrestre eleva mucho los costos en los estudios fotogramétricos; debido a ello, en 1898, un capitán austriaco de nombre Scheimpflug⁷⁵ desarrolló una técnica para extender y complementar dicho control. Esta técnica se denomina *triangulación radial*.

El control terrestre otorga los valores coordenados a sus puntos correspondientes en las fotografías; sin embargo, a través de la triangulación radial es posible que algunos otros puntos que sean identificables también posean coordenadas, las cuales ahora serán calculadas por procedimientos matemáticos, dichos puntos serán los puntos principales de las fotografías y los puntos auxiliares.

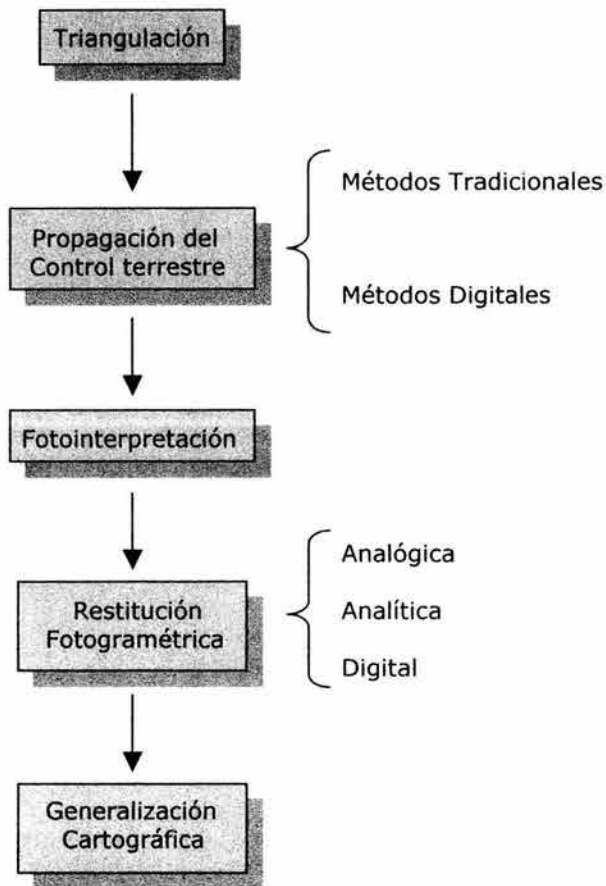
Así pues, en este cuarto capítulo se hará mención de los métodos que hacen posible la obtención de coordenadas de todos los puntos de interés en las fotografías así como su propagación por los métodos tradicionales o los más modernos que se realizan por medio de aparatos restituidores analíticos y digitales.

También se hará mención de los procesos planimétricos y altimétricos con los cuales es posible obtener la carta base original, que será la el pilar de la cartografía temática.

A continuación se presenta el esquema correspondiente al capítulo.

⁷⁵ A él se le acreditan otros procedimientos en la fotointerpretación como la realización de fotomapas a partir de fotografías aéreas.

Capítulo 4. Triangulación y Restitución Fotogramétrica



4.1. Métodos de triangulación radial

La triangulación radial, también denominada aerotriangulación ⁷⁶, se basa en el principio de la intersección; es decir, que la posición correcta de un punto se establece a partir de la intersección de dos o más líneas. La triangulación radial utiliza las características geométricas del punto nadir para que a partir de él se bisecte en una serie de puntos ubicados en la fotografía.

El punto nadir, en una fotografía, se define como la intersección del plano de la fotografía y la dirección de la plomada o la vertical del lugar. Este punto, teóricamente, debe coincidir con el punto principal de la fotografía, así como con el isocentro.

⁷⁶ Estos dos términos se mencionarán indistintamente.

El punto principal de la fotografía está definido por la intersección de las marcas fiduciales; mientras que el isocentro es el punto medio entre el punto nadir y el principal, cuando éstos discrepan.

La triangulación radial se basa en tres principios generales:

- Debido al relieve del terreno, los desplazamientos en una fotografía son radiales desde el nadir.
- Cuanto más cerca esté la imagen del punto principal, conservarán sus verdaderas posiciones ortogonales, independientemente del relieve del terreno o la inclinación de la fotografía.
- La posición de un punto está determinada correctamente donde se intersectan tres rayos procedentes de puntos verdaderos.

La importancia del desarrollo de los métodos de triangulación radial es mucha, ya que por medio de la ella se determinan las coordenadas de puntos en la fotografía y esto permite economizar dinero y tiempo; por otra parte, la triangulación radial tiene la ventaja de que cualquier punto se puede determinar; en cambio, en el campo, hay puntos inaccesibles.

La triangulación radial requiere de un procedimiento de preparación de las fotografías a fin de propagar los puntos principales y auxiliares que se elijan de cada una de ellas.

El primer paso consiste en llevar a cabo la *orientación interna* de la fotografía; es decir, cruzar las marcas fiduciales opuestas de la fotografía, a fin de obtener el punto principal de cada fotografía (fig 4.1).

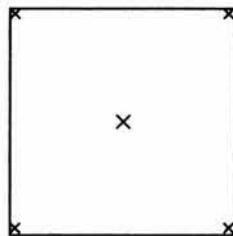


Fig. 4.1 Obtención del punto principal de las fotografías

El paso siguiente es orientar correctamente dos fotografías consecutivas, a fin de que se pueda ver estereoscópicamente el par fotográfico. Cuando la fusión ocurre, el relieve de la fotografía se puede ver con claridad. Cuando las dos fotografías se encuentran bien

posicionadas, el punto principal de una se observará y se proyectará sobre la otra. Esta proyección se trazará para transferir el punto principal de una fotografía a la otra. La figura 4.2 muestra la manera en que deben quedar las fotografías una vez transferidos los puntos principales.

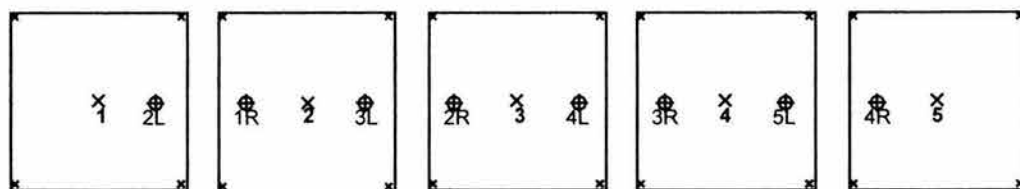


Fig. 4.2 Transferencia de los puntos principales 1, 2, 3, 4 y 5 a través de la línea fotográfica⁷⁷

A continuación, se ubican unos puntos auxiliares en cada fotografía⁷⁸, y se transfieren de la misma manera en que se transfirieron los puntos principales. Cada fotografía debe tener dos puntos auxiliares que se deben transferir. Así, las fotografías quedan como lo muestra la figura 4.3. La transferencia de los puntos principales y auxiliares es conocida como *orientación relativa*.

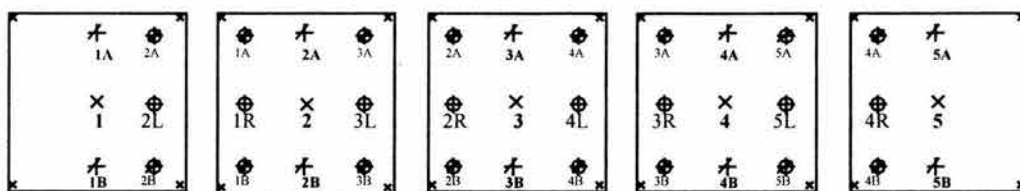


Fig. 4.3 Transferencia de los puntos principales y auxiliares a través de la línea fotográfica

A dichos puntos principales y auxiliares se les determinarán sus coordenadas planimétricas y geográficas a partir del control fotográfico más cercano que aparezca fotografiado. Este procedimiento es el que se conoce como *orientación absoluta*; sin embargo las coordenadas de los puntos no podrán conocerse hasta que se haya aplicado alguno de los métodos diversos de la triangulación radial.

⁷⁷ Los puntos 1R, 2R, 3R y 4R son consecuencia del traslado del punto principal al que pertenecen hacia la fotografía de la derecha. Los puntos 2L, 3L, 4L y 5L son consecuencia del traslado del punto principal al que pertenecen hacia la fotografía de la izquierda.

⁷⁸ Dichos puntos son rasgos sobresalientes del terreno, fácilmente identificables en las fotografías en las que aparecen.

4.1.1 Método Gráfico

El método gráfico para la triangulación radial es muy sencillo porque suprime cálculos, mediciones y operaciones complicadas, y tiene la ventaja de que si se trabaja cuidadosamente no se cometerán errores apreciables.

En la fotografía aérea se han identificado los puntos principales, los auxiliares y los puntos de control, los cuales se transfirieron con la preparación para la triangulación radial. En un papel transparente, como la mica, se trazan líneas que unen el centro de la fotografía con cada uno de los puntos identificados, en rojo se trazan las líneas hacia los puntos principales, en azul hacia los puntos auxiliares y en negro los puntos de control terrestre. Las coordenadas de estos últimos estar bien definidas y debe conocerse la distancia y el azimut entre ellos, de esta manera los puntos de control se transfieren directamente en la hoja de dibujo, que debe estar graduada (en función de la proyección elegida) y a la misma escala de las fotografías.⁷⁹

Existe la posibilidad de que un punto de control no esté bien definido; en ese caso, al menos uno de ellos debe estarlo, mientras que el otro punto puede calcularse a través de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta X ; & \Delta X &= D \operatorname{sen} Az \\ Y_2 &= Y_1 + \Delta Y ; & \Delta Y &= D \operatorname{cos} Az \end{aligned}$$

donde:

X_1 y Y_1 = Son las coordenadas del primer punto de control que debe estar bien establecido.

ΔX y ΔY = Es la diferencia entre las coordenadas de los puntos (X_1, Y_1) y (X_2, Y_2) para X y para Y, respectivamente.

D = Es la distancia en el terreno entre dos puntos de control.

Az = Es el azimut de la línea que une a dos puntos de control.

Una vez que se han trazado las líneas en las micas (una para cada fotografía), se procede a sobreponer las fotografías a fin de hallar la distancia y el azimut entre los puntos de control (en caso de que se desconozcan estos datos), así se puede saber la distancia a la que se

⁷⁹ Debido al uso que tiene la UTM en nuestro país, los ejemplos dados a continuación se aplicarán a dicha proyección; no obstante, la triangulación radial (por cualquier método) puede aplicarse en cualquier proyección.

encuentra un punto de otro y las coordenadas del punto de control desconocido. Las micras se acomodan tal como lo muestra la figura 4.4

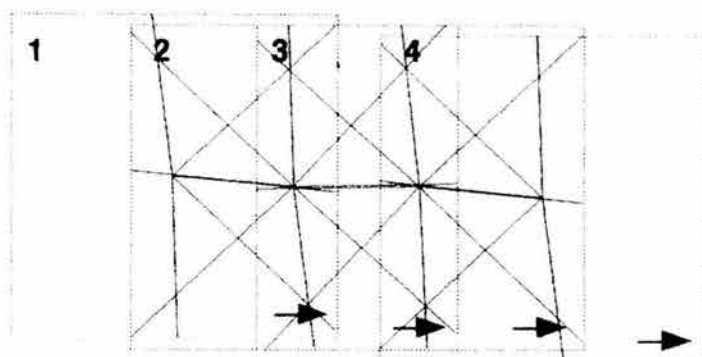


Fig. 4.4 Desarrollo del método gráfico de triangulación radial.

En la figura anterior se puede apreciar que existe una línea central horizontal (línea de vuelo) que tendrá color rojo, cuya dirección se procura seguir fielmente a lo largo de la línea fotográfica durante la sobreposición de las micras; es decir que no debe haber desviaciones bruscas con respecto al sentido de la línea.

En las micras 1 y 2 se establece una base que determinará la distancia que deben tener las micras entre sí mientras que en las micras subsecuentes debe intentarse buscar la intersección de las líneas de los puntos auxiliares, para los cuales habrá tres líneas: una vertical y dos diagonales, y así se formarán unos rombos muy característicos en color azul.⁸⁰ La intersección de las micras se realiza con base en el método de la resección.

Una vez que las micras se encuentren bien colocadas, todo el armado de micras se lleva a coincidir con la distancia de los puntos de control. Si hay una incongruencia entre las dos distancias, las micras tienen un error, que debe ser repartido entre el número de fotos para que las distancias y los azimutes coincidan. Cuando se ha logrado dicha coincidencia, los puntos principales y auxiliares se marcan con un punzón sobre el papel de dibujo, y una vez que se han pasado los puntos, se procede a dar las coordenadas definitivas para cada punto principal y transferido que se hayan elegido en las fotografías aéreas, ya que ellos se encontrarán situados dentro de un sistema coordenado. Los puntos de control ya poseen coordenadas y están localizados en la hoja de dibujo, que es nada menos que la carta que ahora contiene la localización de los puntos principales, auxiliares y de control por el método gráfico.

⁸⁰ Un punto auxiliar debe tener tres líneas en las micras centrales y sólo dos para la primera y última micras

4.1.2 Método Geométrico

El método geométrico para la triangulación radial es un poco más complejo que el método gráfico porque requiere de una elaboración cuidadosa; sin embargo, tiene la ventaja de la comprobación de la correcta colocación de los puntos.

El principio del desarrollo de este método es muy similar al método pasado. Se tienen la fotografías aéreas en donde se han identificado los puntos principales y auxiliares, los cuales se transfirieron con la preparación para la triangulación radial. En un papel transparente, como la mica, se trazan líneas que unen el centro de la fotografía con los puntos principales y auxiliares transferidos. En rojo, se trazan las líneas hacia los puntos principales, en azul, hacia los puntos auxiliares y en negro, los puntos de control terrestre.

Una vez que se han trazado las líneas en las micas (una para cada fotografía), se procede a sobreponer las micas tal como lo muestra la figura 4.4. Hasta este punto el procedimiento es idéntico al método gráfico, la primera diferencia radica en que para la realización de este método, no importa la base que determinará la distancia que deben tener las micas entre sí.

La distancia entre los puntos de control obtenida por la sobreposición de las micas no importa porque se establecerá una relación con respecto a la distancia verdadera a escala que tienen los puntos de control. Suponiendo que durante la sobreposición de las micas la distancia entre los puntos de control resultó menor a la real, entonces todos los puntos principales y auxiliares tendrán una distancia menor entre sí; sin embargo, estas distancias se tendrán que ampliar durante el desarrollo del método geométrico.

En un papel albanene, se traza la línea de distancia entre los puntos de control, que se obtuvo de la sobreposición de las micas, que se denominará $\Delta'1 \Delta'2$ (ver fig. 4.5); y perpendicular a ésta se traza una línea $1\frac{1}{2}$ ó 2 veces más grande que cruce a la línea $\Delta'1 \Delta'2$ justo por la mitad, línea que se denominará AB.

La línea $\Delta'1 \Delta'2$ guarda una relación con la línea $\Delta 1 \Delta 2$ (que es la línea que representa la distancia real a escala de los puntos de control), relación que queda manifiesta con la creación de los triángulos semejantes que unen, por un lado a A con $\Delta'1$ y $\Delta 1$ y por el otro, a A con $\Delta'2$ y $\Delta 2$; de esta forma, A, se convierte en el vértice del triángulo $A\Delta'1\Delta'2$ y también del de $A\Delta 1\Delta 2$.

Suponiendo que se quiere establecer la posición del punto 3A (que es auxiliar) para conocer sus coordenadas por el método geométrico, entonces se sigue el siguiente procedimiento siguiente:

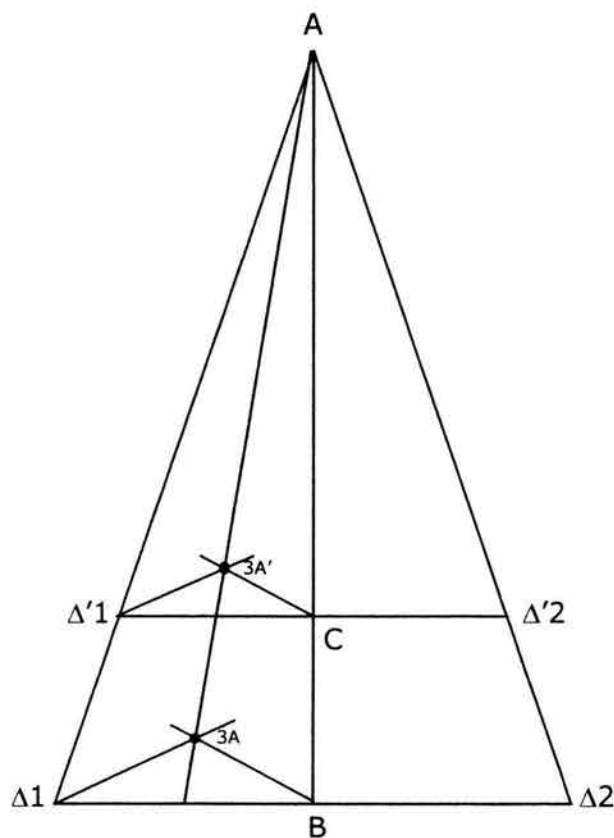


Fig. 4.5 Desarrollo del método geométrico.

Se conoce la posición relativa que tiene el punto $3A'$, así como todos los demás puntos principales y auxiliares, las cuales se fijaron desde el traslape de las micas. Después se trazan líneas que irán desde $\Delta'1$ hasta el punto $3A'$ y desde C al punto $3A'$. También se trazará una línea desde el vértice A al punto $3A'$, esta línea se prolongará hasta la línea $\Delta1 \Delta2$. A las líneas $\Delta'1 3A'$ y $C 3A'$, así les trazarán respectivamente, líneas paralelas que irán desde $\Delta1$ hasta su intersección con la línea proveniente del vértice A, y desde B hasta la línea proveniente del vértice A, de esta manera habrá un cruce de tres líneas que indicará la posición real del punto $3A$.

Este es el procedimiento que se debe seguir para cada punto principal y transferido que se tenga y cuyas coordenadas se deseen conocer.

Anteriormente se mencionó que este método tiene la ventaja de la comprobación de las coordenadas de los puntos, ello radica en que mientras se trabaje cuidadosamente, se puede trazar la línea desde el vértice hasta la base del triángulo $\Delta 1 \Delta 2$ y luego una paralela; por ejemplo, la línea $\Delta 1 3A$; entonces, la segunda paralela ($\Delta 2 3A$) debe coincidir con el primer cruce de líneas y así se comprueba que el trabajo está bien realizado y que el punto está bien localizado para dar las coordenadas definitivas en X y Y.

Falta mencionar que la línea $\Delta 1 \Delta 2$ tiene un azimut, por tratarse de puntos de control; pues bien, este azimut se debe girar hasta llegar a los 90° con el fin de trabajar todo el método de manera vertical y no inclinada ($90^\circ - Az$). Así los puntos en el triángulo quedan como se verá a continuación.

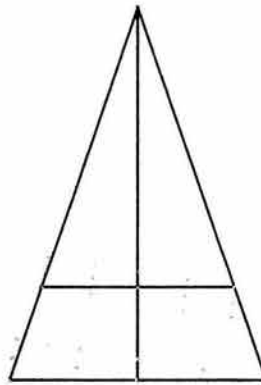


Fig. 4.6 Los puntos quedan girados con respecto a la horizontal si la línea $\Delta 1 \Delta 2$ tiene un azimut distinto de 90°

Antes de otorgar las coordenadas definitivas a los puntos, debe revertirse el ángulo que se aplicó al azimut entre los puntos de control y ellos ($\Delta 1$ y $\Delta 2$) deben coincidir perfectamente con las coordenadas que tienen. Una vez realizado lo anterior, todos los puntos se marcan en una hoja de dibujo que será la carta que contiene la localización de los puntos principales, auxiliares y de control por el método geométrico.

4.1.3 Método Analítico

El método analítico de triangulación radial requiere de más cálculos matemáticos que los otros métodos anteriores ya que emplea tres fórmulas; así pues, la elaboración de esta triangulación radial es más laboriosa, pero no por ello más compleja.

El método comienza cuando en una misma fotografía aérea se tienen dos puntos de ubicación conocida; ellos pueden ser puntos de control terrestre, cuyo azimut se conozca o bien otros dos puntos cualesquiera.

En muchas ocasiones, la determinación de las coordenadas en el terreno de los puntos principales y transferidos marcados en la fotografía no es posible, debido a que son puntos marcados geoméricamente y por lo tanto pueden localizarse en lugares inaccesibles; sin embargo, los puntos de control terrestre u otros puntos elegidos, se eligen sobre el terreno y se conocen sus coordenadas que se llevan directamente a la planimetría.

La línea auxiliar se identifica en las dos fotografías en las que se encuentre, y de cada una se trazan unas líneas que unan el punto principal con los extremos de la línea auxiliar, tal como se muestra en la figura 4.7.⁸¹

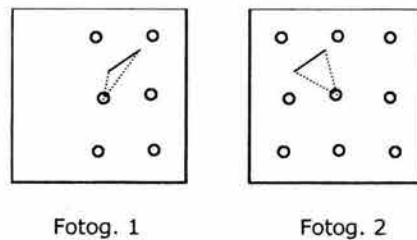


Fig. 4.7 Trazos de las fotografías correspondientes

Los ángulos que unen el punto principal con los puntos extremos de la línea auxiliar, se llevan a la planimetría en donde todas las direcciones son correctas; así pues, la planimetría quedará como sigue:

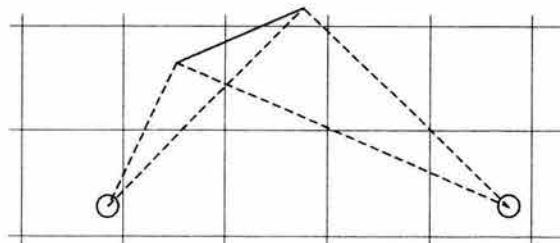


Fig. 4.8 Ubicación en la planimetría de los puntos principales 1 y 2.

⁸¹ Hay que recordar que todas las medidas angulares sobre la fotografía son verdaderas a partir del punto nadiral, el cual debe ser muy aproximado al punto principal. Las demás medidas angulares sobre la fotografía no pueden ser verdaderas debido a la deformación radial.

Los círculos son los puntos principales llevados a la planimetría los cuales se pudieron establecer mediante la intersección de las direcciones medidas a partir de los puntos extremos de la línea auxiliar a cada uno de los puntos principales en su correspondiente fotografía.

El desarrollo del método; es decir, la ubicación de los puntos auxiliares marcados en las fotografías se puede realizar midiendo ángulos que partan del punto principal de cada una de las fotografías; sin embargo, para la resolución de un triángulo hace falta una distancia, que será la existente entre los dos puntos principales determinados ya en la planimetría

A continuación se dará un ejemplo de la determinación de las coordenadas un punto auxiliar a partir de los datos obtenidos.

Se tomará como ejemplo el triángulo formado por los puntos 1, 2 y 2A.

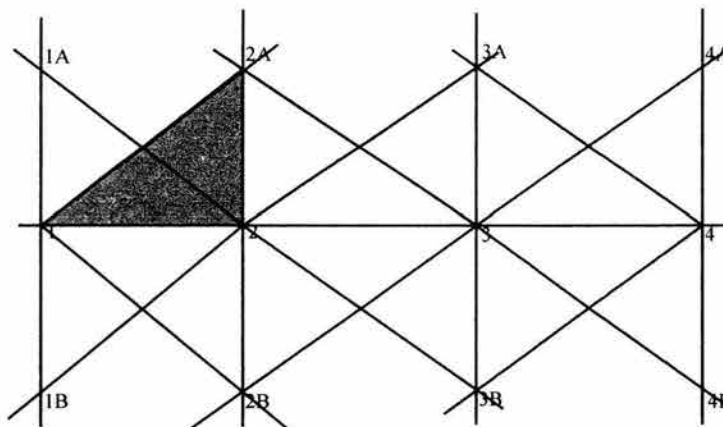


Fig. 4.9 Desarrollo del método analítico.

Los puntos 1 y 2 tienen una ubicación conocida en la planimetría y se puede conocer también su azimut. Al punto 2A se le medirán dos azimutes, el primero de ellos partirá del punto principal 1 (sobre la fotografía 1) y el segundo del punto principal 2 (sobre la fotografía 2). A dichos azimutes se les restará el azimut de la línea 1-2 y así se obtendrá un ángulo.

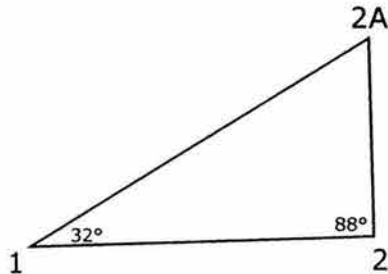
Suponiendo que los valores obtenidos del triángulo son:

Azimut de la línea 1-2	= 89°
Azimut de la línea 1-2A	= 57° (medido en la fotografía 1)
Azimut de la línea 1-2A	= 357° (medido en la fotografía 2)
Ángulo del vértice 1	= 89° - 57° = 32°

$$\begin{aligned} \text{Ángulo del vértice } 2 &= 360^\circ - 269^\circ - 3^\circ = 88^\circ \\ \text{Lado 1-2} &= 826.3534892 \text{ m (establecido por la diferencia de} \\ &\text{coordenadas de los puntos 1 y 2 sobre la planimetría)} \end{aligned}$$

La resolución del triángulo se obtiene por la ley de los senos que dice:

$$\frac{a}{\text{sen}A} = \frac{b}{\text{sen}B} = \frac{c}{\text{sen}C}$$



Si se toma como

$$\begin{aligned} A &= 32^\circ \\ B &= 60^\circ \\ b &= 826.3534892 \end{aligned}$$

Entonces $a = 505.6440967$

La distancia 2-2A vale 505.6440967 y con ella se pueden resolver todos los triángulos de la red mostrada en la figura 4.9, ya que se obtiene al menos una distancia y los ángulos se miden directamente en las fotografías (siempre y cuando se tome como partida el punto principal).

Para llegar a las coordenadas de los puntos se aplica la siguiente fórmula:

$$X' = D \text{ sen } Az + X$$

$$Y' = D \text{ cos } Az + Y$$

Donde:

D = Es la distancia en el terreno entre los dos puntos por determinar.

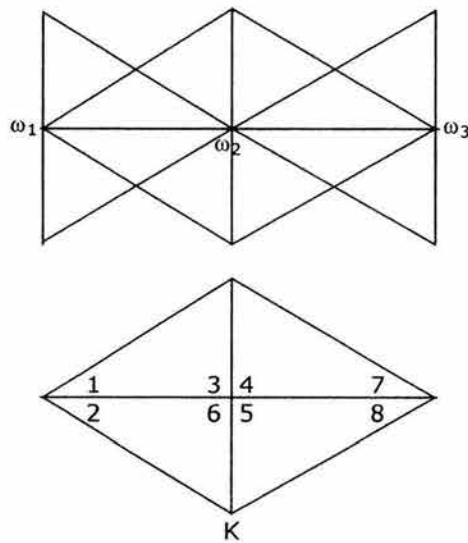
Az = Es el azimut de la línea que une a los dos puntos por determinar.

X y Y = Son las coordenadas del punto que se conoce.

Volviendo al ejemplo. Si se tiene un azimut de 89° para la línea 1-2, y las coordenadas del punto 1 son $X = 200,000$ y $Y = 2,000,000$; entonces las coordenadas del punto 2 son:

$$\begin{aligned}
 X &= 826.3534892 (\text{sen } 89^\circ) + 200,000 &= 200,826.228 \\
 Y &= 826.3534892 (\text{cos } 89^\circ) + 2,000,000 &= 2,000,014.422
 \end{aligned}$$

Existe otro método que sirve para conocer las distancias entre los puntos principales de las fotografías. Este método se denomina *método francés* y parte de los siguientes esquemas: ⁸²



De estos esquemas se desprende que:

⁸² Método tomado de Henri Bonneval. *Photogrammétrie Générale . T III. Levés topographiques par photogrammétrie aérienne.* 1972

$$\frac{\omega_1 \omega_2}{180 - (2 + 6)} = \frac{\omega_2 K}{\text{sen}2} \therefore \omega_2 K \frac{\text{sen}2 \cdot \omega_1 \omega_2}{\text{sen}(2 + 6)}$$

$$\frac{\omega_2 \omega_3}{180 - (5 + 8)} = \frac{\omega_2 K}{\text{sen}8} \therefore \omega_2 K \frac{\text{sen}8 \cdot \omega_2 \omega_3}{\text{sen}(5 + 8)}$$

$$\frac{\text{sen}2 \cdot \omega_1 \omega_2}{\text{sen}(2 + 6)} = \frac{\text{sen}8 \cdot \omega_2 \omega_3}{\text{sen}(5 + 8)}$$

$$\omega_2 \omega_3 = \frac{\text{sen}2 \cdot \omega_1 \omega_2 \cdot \text{sen}(5 + 8)}{\text{sen}(2 + 6) \cdot \text{sen}8}$$

4.2. Restitución fotogramétrica

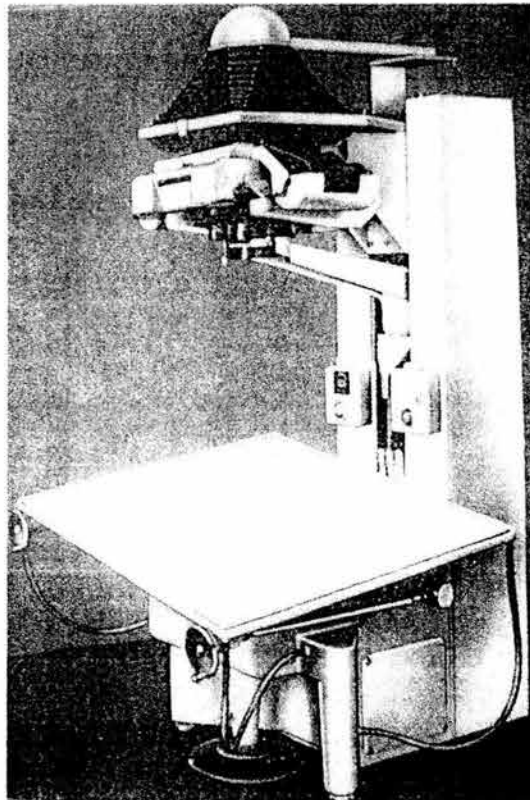
4.2.1 Rectificación fotográfica apoyada en la triangulación radial

Con el objeto de obtener las fotografías rectificadas u ortofotos, las fotografías se someten al proceso de triangulación radial cuyos métodos se mencionaron en las páginas anteriores; con el desarrollo de alguno de ellos se han obtenido las coordenadas para cada punto sobre la superficie de la Tierra.

Entonces, los puntos elegidos en las fotografías deben estar correctamente situados en un mapa, situación que las fotografías en sí mismas no ofrecen por tener distorsiones; de esta manera, el negativo con el que se tomaron dichas fotografías se somete a determinados procesos ópticos de tal manera que los puntos elegidos y los detalles de la fotografía queden situados exactamente en el plano de referencia a partir del cual se elaborará la carta.

El negativo, o incluso el fotograma se coloca en un aparato rectificador o transformador que tiene la misión de modificar ligeramente la vista de la fotografía original a fin de que los puntos coincidan con las coordenadas previamente establecidas.

El rectificador cuenta con un foco luminoso, un portaplaques, de un objetivo y de un tablero de proyección con movimiento. Cuando la fotografía contenida en el portaplaques se logra ver nítidamente en el tablero de proyección, éste se mueve a fin de que los puntos elegidos queden lo más cerca posible de las coordenadas que se establecieron durante la triangulación radial, de esta forma, se consigue la situación relativa que el avión tenía con respecto al terreno y se reducen los movimientos de deriva, balanceo y cabeceo que tuvo al momento de la toma. Para obtener la posición relativa se necesitan conocer al menos cuatro puntos correspondientes a los puntos en el terreno y llevar la proyección de la nueva fotografía a la coincidencia mencionada.



*Fig. 4.10 Diagrama del rectificador o transformador
Fuente: J. Caire Fotogrametría Aérea. Pág. 207*

El restituidor o transformador debe tener cinco movimientos:

- Variación de la distancia entre el tablero y el objetivo que produzca automáticamente una variación de distancia entre el foco y el objetivo, de tal manera que se consiga una ampliación o reducción de la fotografía, cambiando, consecuentemente, la escala de la proyección.
- Basculamiento de la mesa de proyección alrededor de un eje horizontal, que mediante una serie de mecanismos, produce movimientos del fotograma y del objetivo.
- Giro del fotograma dentro del plano y alrededor de un eje perpendicular al mismo y que pasa por su punto principal. Este movimiento produce la rotación de la imagen proyectada y su deformación resultante.
- Desplazamiento del fotograma dentro de su plano, en dirección paralela al eje de giro, lo que produce variaciones en la posición de las líneas de la imagen no paralelas al citado eje.
- Desplazamiento del fotograma dentro de su plano, en dirección perpendicular a su eje de giro, lo que produce un desplazamiento de las líneas paralelas a dicho eje.

Cuando las diapositivas se colocan en los proyectores y las luces se encienden, el modelo proyectado no será lo suficientemente claro por las diferentes inclinaciones de los fotogramas, las alturas de vuelo desiguales y la orientación impropia de los proyectores. Sin embargo, el restituidor tiene los movimientos en los ejes X, Y y Z y estos movimientos aunados a ciertos giros hacen que se reproduzcan las condiciones exactas existentes cuando se tomaron las fotografías, (a este proceso se le denomina *orientación relativa*) y cuando los rayos correspondientes se intersectan adecuadamente, pueden formar un modelo tridimensional. La *orientación absoluta* consiste en la escalación (determinación de la escala) y la nivelación del fotograma.

Existen otros rectificadores como el de la figura 4.10 que simplifican los movimientos debido a que llevan un mecanismo electrónico perspectivo, que obliga a la fotografía, al objetivo y a la mesa guardar determinadas posiciones entre sí, de esta manera, dos movimientos se realizan de manera automática.

Existen otros aparatos que sólo amplifican o reducen las imágenes; ellos son útiles cuando la fotografía es vertical o ya ha sido corregida, y sólo se necesita obtener las positivas

en diferentes escalas. Estos aparatos no son rectificadores, sólo amplificadores como el de la figura 4.11

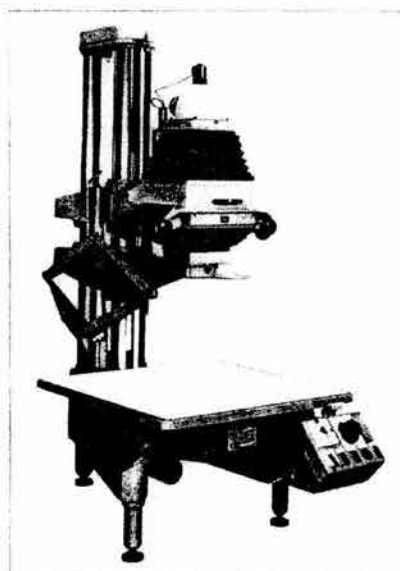


Fig. 4.11 Amplificador

Las fotografías rectificadas u ortofotos son representaciones ortogonales del terreno y se obtienen de la rectificación de las fotografías aéreas que elimina las variaciones de la escala y los desplazamientos de la imagen por relieve e inclinación; por lo tanto, los detalles representados se muestran en su posición planimétrica verdadera.

Las ortofotos combinan las ventajas de los fotogramas y de los planos o mapas ya que al igual que las fotografías, muestran los objetos detallados e imágenes reales, facilitando así su interpretación y comprensión; con respecto a los mapas y planos, muestran los ángulos, distancias y áreas reales.

4.2.2 Elaboración de mosaicos rectificados y otro tipo de mosaicos

Un mosaico es un conjunto de fotografías aéreas sobrepuestas, cuyos márgenes han sido cortados, apareados y unidos entre sí; de tal manera que se consiga una representación fotográfica continua. Los mosaicos se realizan cuando los rasgos físicos de la superficie terrestre son más importantes que las dimensiones obtenidas de un mapa o carta en los estudios geográficos.

La interpretación de los mosaicos proporciona la suficiente información para facilitar el planteamiento eficiente de las travesías en el campo en relación con los objetivos de cada disciplina. Durante la realización de los levantamientos de información en el terreno, la interpretación es continua, las fotografías y los mosaicos sirven como un mapa con mucho más detalle que cualquier carta topográfica convencional; sin embargo, la compilación de los fenómenos observados y los elementos de su interpretación, se pueden plasmar en mapas topográficos. Los mosaicos pueden tener un control geodésico o simplemente representar un conjunto pegado de fotografías.

Existen varios tipos de mosaicos entre los cuales cabe destacar:

- Mosaicos rectificadas o controlados. Proviene de las fotografías aéreas rectificadas con base en la triangulación radial. Este mosaico se recomienda para aquellos trabajos que deseen apegarse a las dimensiones de la escala.
- Mosaicos semicontrolados. Sólo se basa en los puntos de control para ubicar los detalles geográficos, pero no tiene el apoyo del resto de la triangulación radial.
- Mosaico no controlado. No se utilizan planos ni puntos de control terrestre para montar las fotografías. Se elige una fotografía central, se recorta y se pega en la base, luego se ensamblan las otras fotografías lo mejor posible y se fijan hasta completar el mosaico. Su uso debe limitarse a la representación de áreas limitadas.

Debido a los grandes desplazamientos de los puntos cerca de las orillas de las fotografías, los mejores mosaicos se obtendrán cuanto más traslape se tenga y mientras se empleen de preferencia las áreas centrales de las fotografías en vez de las orillas. Asimismo, debido al desplazamiento, las fotografías de un solo lente, suelen proporcionar un mejor mosaico que las fotografías tomadas con lentes múltiples.

Debido a las irregularidades del terreno, ningún mosaico puede considerarse tan preciso como una carta, un mapa o un plano; éste debe considerarse en todos los proyectos que impliquen la medición a escala de dimensiones lineales.

Los mosaicos fotográficos se construyen a partir de las fotografías aéreas y éstos a su vez dan lugar a la construcción de los fotoplanos, que son otro tipo de representaciones

cartográficas que contienen la imagen fotográfica con la red de paralelos y meridianos así como rótulos. Los fotoplanos son más útiles para realizar mediciones.

4.3 Interpretación fotográfica

La Fotointerpretación es una técnica en la que es necesario tener los conocimientos fundamentales científicos y técnicos del proceso fotográfico, con el objeto de realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos. También se requiere un conocimiento sustancial de los objetos que se identifican y que posteriormente se trazarán en el mapa. El estudio de la fotointerpretación comprende las partes siguientes:

- Calidad de la imagen
 - Terreno
 - Luz y atmósfera
 - Óptica fotográfica
 - Emulsión y filtro
 - Base topográfica

- Fotoidentificación
 - Análisis general de la imagen
 - Identificación de detalles
 - Estudio de formas
 - Delimitación de conjuntos
 - Clasificación para inventarios

- Fotointerpretación
 - Definición
 - Toma de fotografías
 - Aplicación de especialistas
 - Metodología
 - Automatización
 - Inventario de recursos ⁸³

El concepto *interpretación* alude a buscar el significado de algo, dar una explicación y un comentario; asimismo, a dar sentido a las cosas. Cuando se realiza una interpretación, se trata de obtener el máximo de información de los documentos con el fin hacer relaciones, inferencias y deducciones que no son muy obvias. Lo anterior se puede aplicar fácilmente a los documentos cartográficos como los mapas, cartas y planos, y también a las fotografías aéreas, ya que ellas nos proporcionan información pero gran cantidad de ella no es evidente; sin embargo, existen

⁸³ Roberto Betancourt Arce. *op. cit.* . Pág 166.

reglas para llevar a cabo una fotointerpretación, como las propuestas por Felipe Guerra Peña en su libro "Fotogeología".

Cuando se realiza una interpretación, frecuentemente se acude a otro tipo de fuentes; de esta manera, para interpretar las fotografías aéreas se puede acudir a diversas fuentes escritas y a los mapas disponibles a diversas escalas con el fin de que las inferencias, deducciones y relaciones sean lo más adecuadas dentro del ámbito cartográfico.

La interpretación fotográfica es muy necesaria en la elaboración de las cartas geográficas y los mapas, ya que con ella es posible cartografiar los rasgos más importantes de acuerdo con la temática de la carta; es decir que con ella es posible destacar los elementos de interés y generalizarlos cartográficamente para que después se representen por medio de la planimetría. Así pues, una buena fotointerpretación conduce al cartógrafo a elaborar una carta base; y por consiguiente, una buena carta temática.

4.4 Métodos planimétricos y altimétricos para la elaboración de la carta base

4.4.1 Métodos planimétricos

La planimetría consiste en copiar en la hoja de dibujo, que es de hecho el mapa, los detalles fotográficos que se han fotointerpretado. En dicho mapa se encuentran los puntos principales y auxiliares cuyas posiciones respectivas se otorgaron a través de la triangulación radial.

Para llevar a cabo una correcta planimetría, los puntos de control deben coincidir de forma casi perfecta en las fotografías y en el mapa, sólo así los rasgos fotográficos que se deseen transferir estarán bien georreferenciados.

4.4.1.1. Método de las cuadrículas proporcionales

Para desarrollar este método, que es esencialmente gráfico, se necesitará haber elegido alguna triangulación radial desarrollada con anterioridad, también se necesitarán micas, un punzón, marcadores de cera rojo y azul y una regla graduada.

Se corta una mica del tamaño de las fotografías, es decir, de 228 mm por lado y se cuadrícula como sigue: con el punzón se trazan cuatro líneas verticales y cuatro horizontales que rayen a la mica, de tal manera que la mica quede seccionada en dieciséis partes iguales tal como se muestra en la figura 4.12

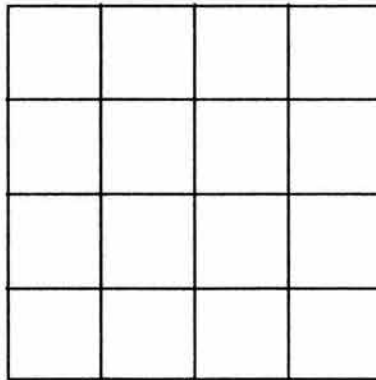


Fig. 4.12 Mica trabajada de un solo lado

Después, estas líneas se pintan con el marcador de cera rojo para que se impregne el color en la ranura dejada por el punzón, el exceso del color se remueve.

La mica se voltea, y las divisiones rojas se rayan justo por la mitad y se pintan con el marcador azul. La mica debe quedar como se muestra en la figura 4.13, donde la líneas continuas representan las marcas rojas y las líneas punteadas, corresponden al color azul.

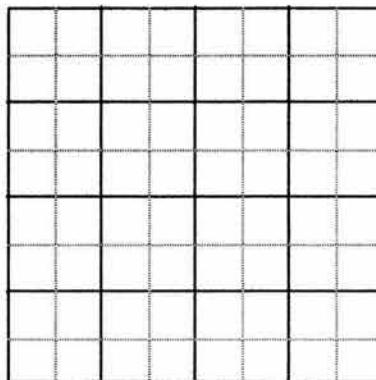


Fig.4.13 Mica con la cuadrícula completa.

Esta mica cuadrículada servirá para todas las fotografías ya que todas ellas miden lo mismo; sin embargo, para realizar la planimetría por cuadrículas proporcionales es necesario realizar más micas que variarán de tamaño con respecto a la anterior. El tamaño de estas micas dependerá de la distancia que haya entre los puntos en la triangulación radial, ya que las distancias entre los mismos puntos en las fotografías y en la triangulación radial, no son las mismas porque se han corregido.

Para conocer el tamaño de las nuevas micas se deberá hacer una regla de tres. Por ejemplo, si se desea elaborar la mica del punto dos de la triangulación radial, se debe conocer la distancia entre los puntos 1 y 3 en la fotografía y en esa misma triangulación (ver figs. 4.14 y 4.15).

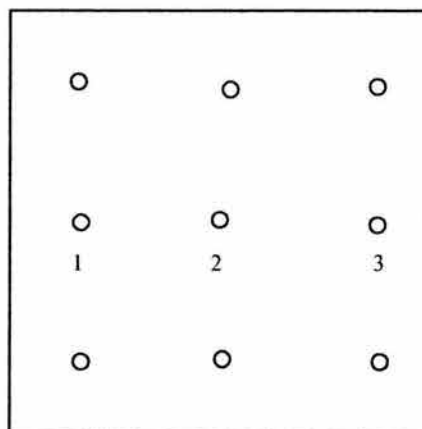


Fig. 4.14 Fotografía aérea

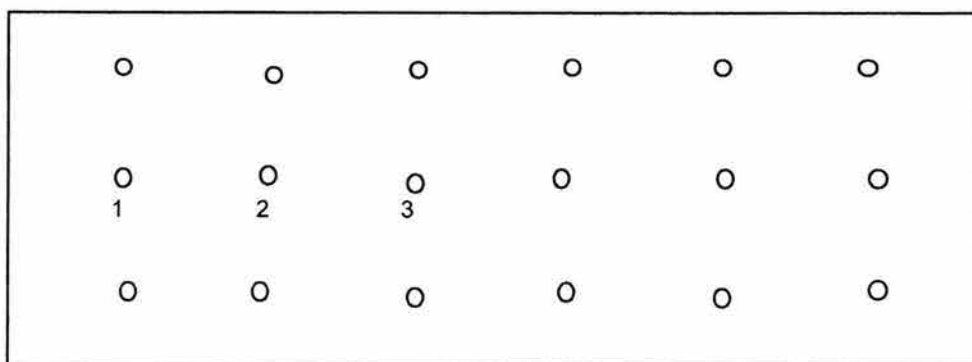


Fig. 4.15 Triangulación radial

En la fotografía aérea la distancia 1-3 es mayor que en la triangulación radial, así que se deben medir las dos distancias con la regla graduada. Suponiendo que la medición arrojó que en

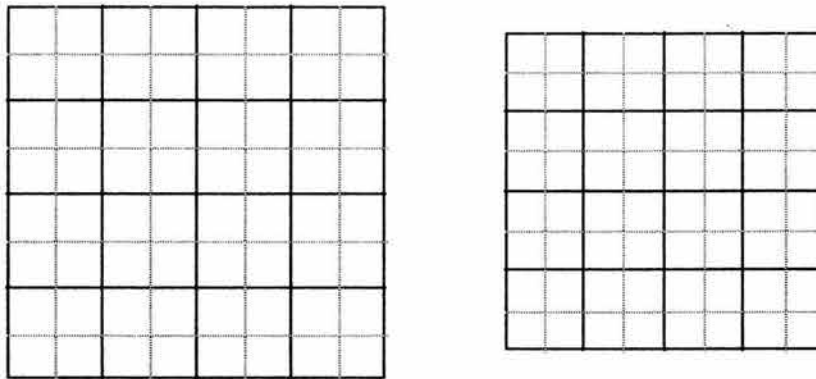
la fotografía la distancia 1-3 es de 206 mm y en la triangulación radial resultó ser de 174 mm, se realiza la siguiente regla de tres:

206 mm → 228 mm, que mide la mica de la fotografía aérea

174 mm → $x = 192.6$ mm, que debe medir la mica para estos puntos en la triangulación radial.

Cada distancia entre los puntos principales transferidos de las fotografías debe ser medida, y se deberán elaborar tantas micas como resultados diferentes se hayan obtenido de sus correspondientes reglas de tres.

Las nuevas micas se elaborarán de la misma manera que la primera mica general, de esta manera quedarán hechas las cuadrículas proporcionales. (ver fig. 4.16)



*Fig. 4.16 Micas con cuadrículas proporcionales.
La del lado izquierdo es la mica de las fotografías, y la del lado derecho
es la mica proporcional que se colocará en la triangulación radial*

Cada detalle que quede dentro de la mica sobrepuesta en las fotografías deberá ser copiado en la cuadrícula proporcional de la triangulación radial, tal como los dibujos a escala. La mica de la triangulación radial se debe colocar debajo de la triangulación radial, ya que la primera es transparente y la segunda es traslúcida, y si ambas se colocan sobre una mesa luz, se verán perfectamente las cuadrículas, a fin de copiar los detalles directamente sobre la carta.

La orientación de las cuadrículas debe realizarse como sigue:

- Se coloca el cruce central rojo de la cuadrícula sobre el punto principal de la fotografía y su correspondiente en la carta.
- Se lleva dicha línea roja a cualquier punto principal transferido de la fotografía y su homólogo en la carta.
- El otro punto principal debe quedar ligeramente al norte o al sur de la línea roja tanto en la fotografía como en la carta, así se tendrá la certeza de que la cuadrícula está bien orientada y que la planimetría podrá quedar bien realizada. (ver figuras 4.17 y 4.18)

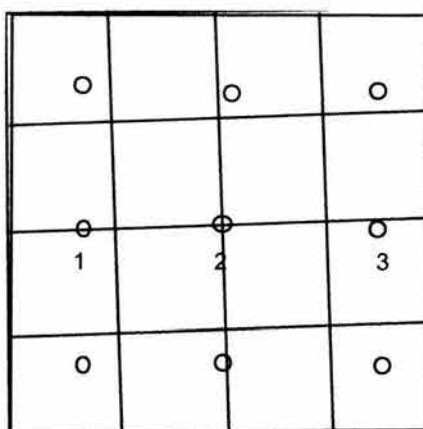


Fig. 4.17 Orientación de la mica cuadriculada en la fotografía

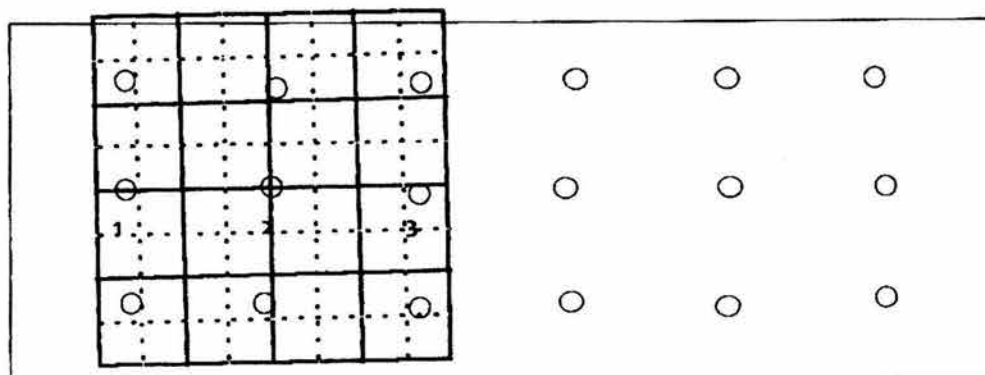


Fig. 4.18 Orientación de la cuadrícula proporcional en el mapa

Los rasgos que se pueden copiar en la carta se seleccionarán a criterio del dibujante; para el interés de esta investigación, que es la Elaboración de las Cartas Geográficas, frecuentemente se eligen las formaciones montañosas, ríos, las vías de comunicación, poblaciones, las zonas de agricultura, etc.

4.4.1.2. Planimetría con instrumentos fotogramétricos

La planimetría también se puede llevar a cabo con el apoyo de instrumentos especializados.

Características de la Cámara Clara. La cámara clara es un aparato óptico simple que permite al ojo humano ver una fotografía aérea y la hoja del mapa al mismo tiempo. El uso de este aparato permite el trazo de los rasgos fotográficos dentro de la hoja del mapa sin la necesidad del empleo de un medio traslúcido. El principio del funcionamiento de la cámara clara está mostrado en la figura 4.19.

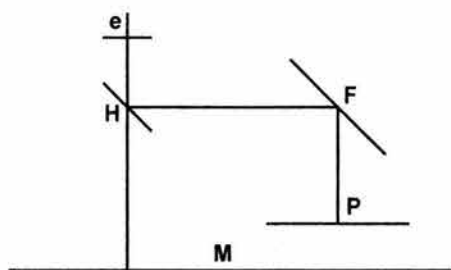


Fig. 4.19 Cámara clara
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 134

El mapa está localizado en la letra *M*, y la fotografía aérea en la letra *P*. Un espejo pequeño se localiza en *H* y un espejo largo corresponde a la letra *F*. El ojo se coloca en la letra *e*, encima de una pequeña abertura sobre un diafragma. Cuando se está mirando a través de dicha abertura, el dibujante ve el mapa a través del espejo chico. Por la reflexión en *F* y en *H*, al mismo tiempo también ve la imagen de la fotografía, la cual debe llevarse a la coincidencia con el mapa. El diafragma donde se sitúa el ojo, impide que hayan discrepancias entre la fotografía y el mapa; dichas discrepancias se pueden originar cuando el ojo se mueve hacia atrás o hacia adelante.

El dibujante del mapa ajusta la distancia del espejo grande *F* a la fotografía; de esta manera, las imágenes se copian con los puntos de control cuyas posiciones estén

correctamente ubicadas dentro del mapa. Este ajuste proporciona una correcta escala y orientación a la imagen de la fotografía con respecto al mapa. El dibujante, entonces, traza los detalles alrededor de cada punto de control que esté correctamente situado; los trazos del lápiz se marcan sobre la hoja del mapa, pero aparentemente se realizan sobre la imagen fotográfica.

Hay otros instrumentos más refinados basados en los principios de la cámara clara, como el Rectoplanógrafo (Fig. 4.20) y el Sketchmaster Vertical (Fig. 4.21). Éstos aparatos son usados en los procesos de compilación de los mapas planimétricos a partir de las fotografías verticales y cuentan con provisiones para cambiar la distancia entre el ojo y la fotografía, así como para modificar la distancia entre el ojo y el mapa; con ello permiten que los cambios de escala puedan ser realizados. Este tipo de cambios no sólo se realiza para cambiar la escala, sino también para compensar las diferentes alturas de vuelo. Otro movimiento que permiten los aparatos, es la rotación de la fotografía tanto en el eje de las "x" como en el de las "y", lo que permite que el efecto de ladeo y los desplazamientos por relieve sean eliminados en grandes extensiones, procediendo así a un mapa más satisfactorio.

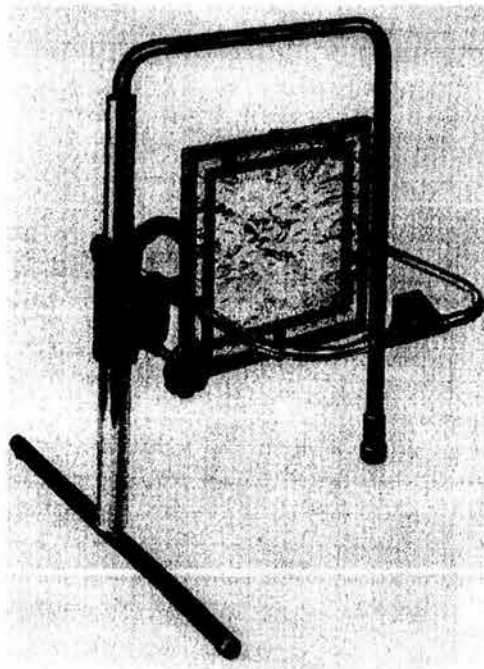


Fig. 4.20 Rectoplanógrafo
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 135

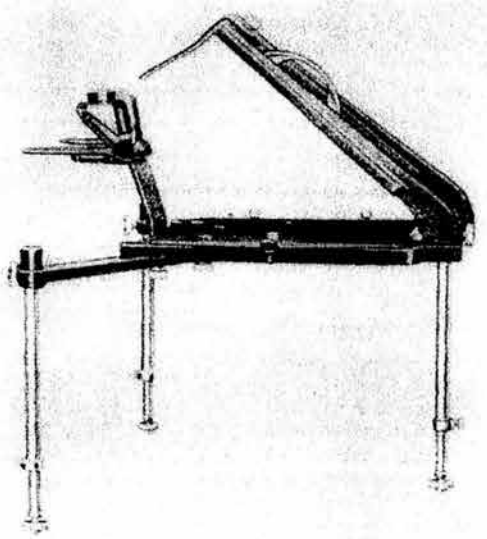


Fig. 4.21 Sketchmaster vertical
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 136

La principal desventaja de la técnica del trazo directo es la limitación de la escala de la fotografía. El uso de un proyector opaco, que proyecta la imagen de la fotografía en la hoja del mapa, permite que el dibujante cambie la escala de la imagen fotográfica a su voluntad, caso semejante al proyector mostrado en la figura 4.22.

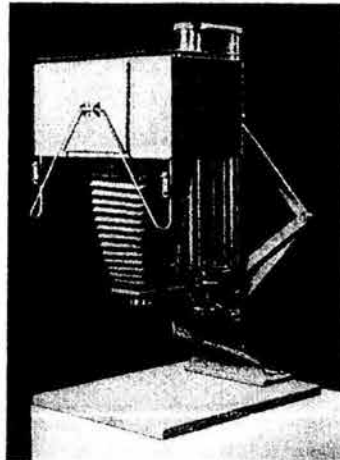


Fig. 4.22 Proyector con enfoque automático
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 137

Para usar el proyector, el mapa se orienta sobre el plano de las lentes y el aparato puede ser movido con la ayuda de una manivela manual, hasta que la imagen de los puntos de control queden situados en su lugar tan cerca como sea posible; así, se pueden trazar los detalles que circunden a los puntos de control con el fin de realizar la planimetría. Los puntos de control se

obtienen con la triangulación radial de las fotografías donde la escala varía por toda el área; sin embargo, con la adecuación de las cadenas del eslabonamiento mecánico, se obtiene un mapa con alta precisión.

Si existen grandes diferencias entre la escala de la fotografía y la escala del mapa, éstas pueden ser compaginadas en el proyector opaco. Con el enfoque automático del proyector mostrado en la figura 4.22, se puede realizar una variación del radio de la escala desde $1/3$ hasta 2 veces el tamaño. Así, un fotografía de escala promedio 1:12,000, puede ser compilada dentro de un mapa cuya escala vaya desde 1:36,000 a 1:6,000.

Rasgos planimétricos utilizando el trazador radial. Uno de los mejores métodos en la transferencia de rasgos al mapa, así como de la transferencia correcta de los puntos de control se refiere al uso de un instrumento trazador que trabaja por medio de la intersección continua. Este instrumento se muestra en la figura 4.23 y consiste en las siguientes partes: un estereoscopio de espejos para ver las fotografías en tercera dimensión; dos tablas fotográficas, en las cuales las fotos quedarán montadas; un par de brazos transparentes, que pasan por encima y por debajo de las tablas fotográficas y rotarán alrededor de sus centros; una barra paralela, la cual se mueve paralela a la base de la fotografía, y que en sus extremos está conectada a cada uno de los brazos radiales con la ayuda de alfileres empotrados dentro de una ranura; existe también una conexión especial para ligar la barra paralela a un lápiz con el cual, el dibujante trazará los rasgos.

El principio de operación del aparato es la continua intersección que se muestra en el dibujo esquemático de la figura 4.24. El par estereoscópico está situado en las tablas fotográficas que están orientadas. Se traza la línea o1o2 sobre cada una de las fotografías cuando éstas se encuentran bajo la observación estereoscópica. Las posiciones de los puntos principales de las fotografías están fijadas sobre las tablas por alfileres, los cuales pasan a través de los brazos radiales, tal como se muestra en las figuras 4.23 y 4.24. La orientación se realiza con la rotación de las fotografías alrededor de los alfileres. El mapa, que descansa debajo del trazador y que contiene la triangulación radial, es la guía para fijar la escala del trazado en sí. Como se mencionó, las partes inferiores de los brazos radiales están conectadas por la barra de paralelas, la cual puede variar en tamaño. Los alfileres al final de la barra se mueven libremente en las ranuras de la parte inferior de los brazos radiales. Las ranuras se muestran en la figura 4.25

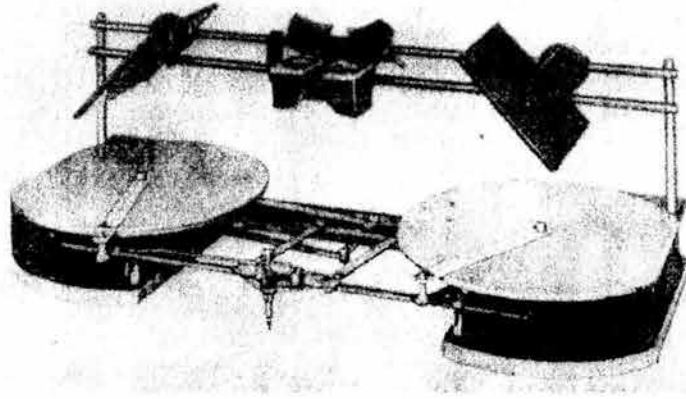


Fig. 4.23 Trazador radial planimétrico.
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 140

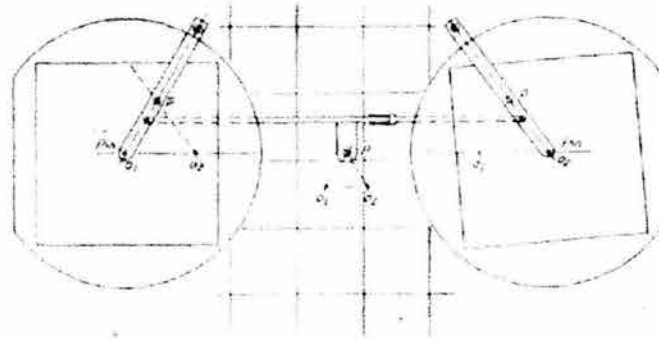


Fig. 4.24 Diagrama esquemático del trazador radial planimétrico.
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 140

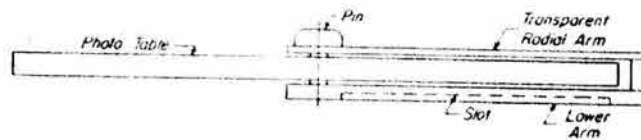


Fig. 4.25 Sección de un brazo radial del trazador radial.
Fuente: Francis MOFFIT. Photogrammetry. Pág 140

Como el operador ve las dos fotografías como una sola imagen estereoscópica, las líneas radiales grabadas sobre los brazos radiales aparecen para cruzar en el punto p ; la línea radial que se muestra está representada por la línea sólida, mientras que esa misma línea, pero en la fotografía izquierda, aparece como una línea discontinua. Si el punto p es el punto de control sobre la fotografía, el mapa es visto de manera tal que el lápiz traza directamente sobre él la posición del punto P correspondiente en la fotografía. Un segundo punto de control está localizado en la intersección de las líneas radiadas, este punto también es visto a través del

estereoscopio; nótese que los brazos radiales están siendo movidos por el movimiento del lápiz. El mapa es girado a través del punto P, y hasta llegar al punto del segundo control, trayendo el lápiz listo para marcar los puntos; sin embargo, si la escala del trazado que se está realizando no es la misma que la del mapa, el lápiz no caerá en el punto de control, y entonces la barra de paralelas deberá ser ajustada. Para ir de un punto de control a otro, la escala del trazado debe estar bien ajustada y, al mismo tiempo, el mapa debe tener una correcta orientación. Cuando haya que ir hacia un tercer punto de control, el área donde éste se encuentre debe sobreponerse y ser verificada, de tal forma que cualquier discrepancia sea eliminada por pequeña que sea la variación de la escala; así se puede proceder a marcar dicho punto en el mapa.

Cuando el mapa y la escala han sido ajustados satisfactoriamente para colocar los puntos de control, el operador puede trazar los rasgos planimétricos. Cuando el lápiz se mueve, está haciendo intersecciones aparentes de las líneas radiales en su movimiento. Con lo anterior, los rasgos son localizados en su correcta posición dentro del mapa debido a la intersección continua.

La imagen tridimensional que se ve a través del estereoscopio, está aumentada significativamente, de manera tal, que la interpretación de los rasgos planimétricos depende de la habilidad del dibujante u operador, entre más experiencia se posea, más satisfactorio será el trazado. El rango de la escala mostrado en el trazador correspondiente a la figura 4.23 está ligeramente arriba de la escala de la fotografía, aproximadamente un tercio de dicha escala.

4.4.2 Métodos altimétricos

La altimetría es una rama de la topografía y de las disciplinas afines que se encarga de la determinación de la altitud de los puntos de la superficie terrestre. La altimetría se compone de un conjunto de trabajos que suministran los elementos para conocer las alturas de puntos y la forma de la superficie terrestre en sentido vertical.

Cuando se habla de altitudes, se hace referencia a la elevación de un punto sobre la superficie del nivel medio del mar; en tanto, cuando se habla de las alturas, se hace referencia a un determinado plano del terreno a partir del cual se tomará la elevación de los puntos; así

pues, las alturas (también denominadas cotas) invariablemente dan la idea de diferencias que serán relativas; las altitudes, en cambio, son absolutas.

La determinación de altitudes para la elaboración de las cartas geográficas es un paso muy importante ya que con ellas se podrán obtener, más adelante, las curvas de nivel que contienen las cartas base.

Las diferencias de altitudes en fotogrametría se obtienen frecuentemente con aparatos de alta precisión; sin embargo, debido al costo de los mismos no siempre se pueden tener al alcance dichos aparatos. Para obtener las diferencias de altitud de las fotografías sin el empleo de aparatos, se utilizan las determinaciones métricas expeditas que se basan en la medida del paralaje en las fotografías.

4.4.2.1. Método General

El método general para la obtención de las alturas de los puntos seleccionados en las fotografías parte de la premisa siguiente:

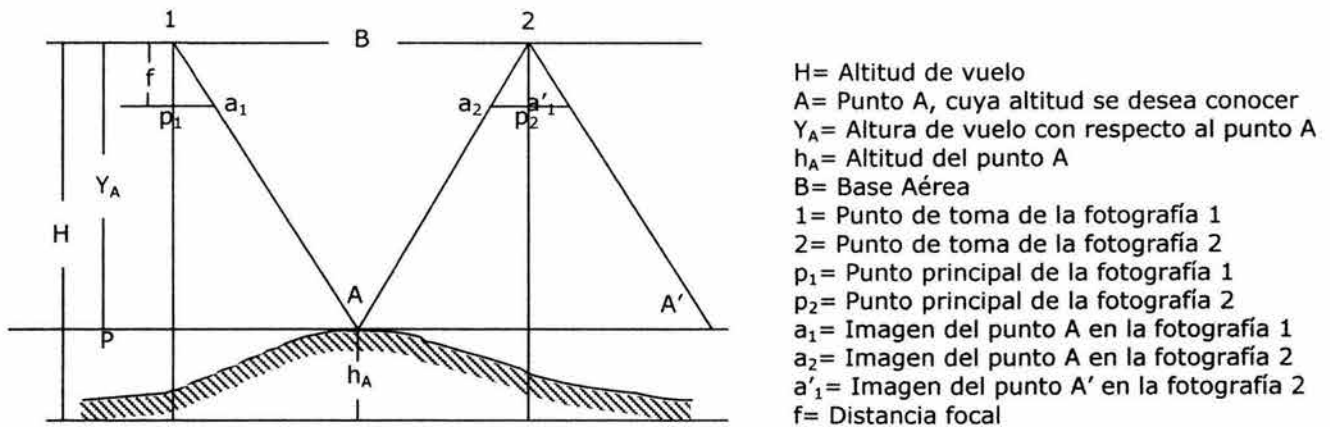


Fig. 4.26 Diagrama del método general para la obtención de las alturas de los puntos

Del esquema anterior se desprende que:

$$h_A = H - Y_A$$

$$\frac{Y_A}{f} = \frac{B}{a_2 a'_1}$$

$$Y_A = \frac{B}{a_2 a'_1} f$$

En la segunda ecuación de las mencionadas con anterioridad, se mencionó que $\frac{Y_A}{f} = \frac{B}{a_2 a'_1}$; esto se debe a que el triángulo formado por los vértices 1AP es proporcional al triángulo $1a_1p_1$ debido a que tienen un vértice en común; entonces, la distancia $\overline{P1}$ es equivalente a Y_A , y la distancia $\overline{p_11}$ es equivalente a f . Asimismo, B es proporcional la distancia $\overline{a'_1 a_2}$, ya que el triángulo 1A2 es igual al triángulo A2A'; por lo tanto, la distancia AA' es igual a B y el triángulo A2A' es proporcional al $a'_1 a_2$ por tener un vértice en común.

La distancia que hay entre a_1 y a_2 es el paralaje del punto A (son dos imágenes para un mismo punto desde perspectivas distintas) dicho paralaje se denominará Pa y la fórmula queda como sigue:

$$h_A = H - \frac{B}{Pa} f$$

El paralaje se define como el desplazamiento aparente de la posición de un objeto respecto a un punto o sistema de referencia, también es la medida a escala de la altura o profundidad de la imagen en el espacio. El paralaje Pa se determina situando las fotografías tal como lo muestra la figura 4.27. En esta figura se debe buscar que el punto principal 1 y el 2, así como sus correspondientes transferidos hacia una y otra fotografía, queden alineados en una misma línea recta, dicha línea será denominada RR'. A ella se le trazarán cuatro líneas perpendiculares; dos de ellas partirán desde los puntos principales, y las otras dos unirán la línea RR' con el punto a_1 y a_2 respectivamente. Enseguida, se tomará la distancia que existe entre las líneas de los puntos principales (distancia denominada L), y también se medirá la distancia entre las líneas de los puntos a_1 y a_2 (distancia denominada l); la diferencia entre estas dos distancias (L y l) dará como resultado el paralaje del punto A.⁸⁴

⁸⁴ Se puede afirmar que la diferencia de paralaje, para un mismo punto, es directamente proporcional a la diferencia de alturas.

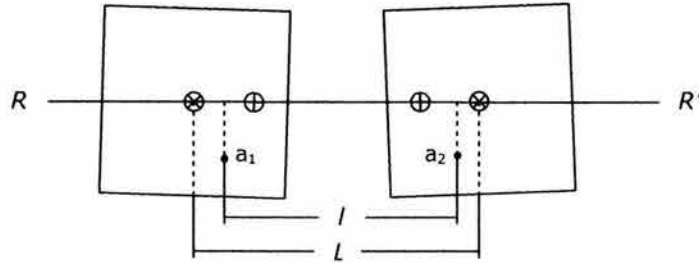


Fig. 4.27 Orientación correcta de las fotografías para determinar el paralaje del punto A

Lo anterior no es sino una diferencia de paralajes entre el punto principal y el deseado. Así, se concluye que la diferencia de paralajes (Pd) conduce a conocer la diferencia de alturas entre dos puntos denominada h . La diferencia de alturas entre dos puntos se puede calcular con el empleo de la fórmula siguiente para la cual es necesario conocer la altura de vuelo (H) y la base fotográfica (b).

La fórmula empleada para calcular la diferencia de alturas es:

$$h = \frac{PdH}{Pd + b}$$

4.4.2.2. Perfil de puntos principales

Los puntos principales de las fotografías poseen distintas altitudes y ellas se pueden calcular por medio de una fórmula derivada del siguiente esquema:

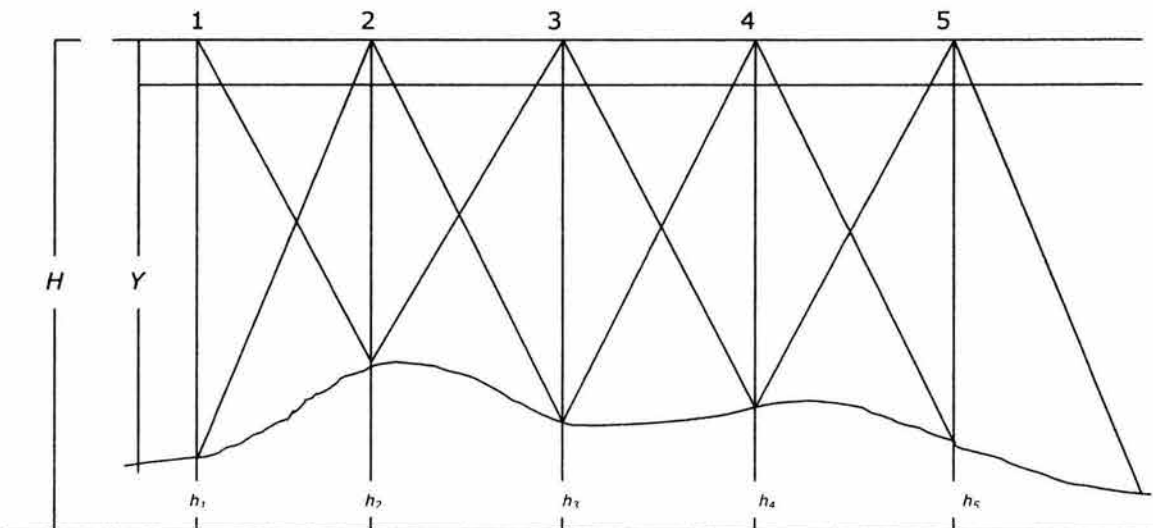


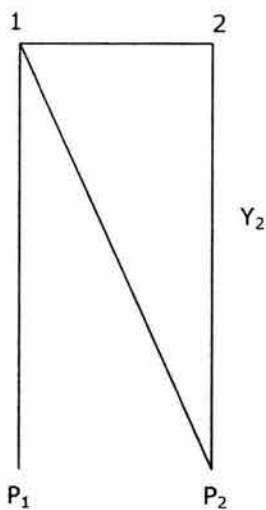
Fig. 4.28 Esquema del método del perfil de los puntos principales

En el esquema mostrado anteriormente, H representa la altitud de vuelo del avión, h (que posee un subíndice) se refiere a la altitud de cada uno de los puntos principales, Y es la altura de vuelo del avión con respecto al terreno, que varía en cada uno de los puntos principales.

Las alturas de los puntos principales se obtienen mediante la fórmula:

$$h_n = H - Y_n$$

Donde n significa cualquier punto principal que se quiera conocer. Sin embargo, en dicha fórmula Y se desconoce. Al aislar uno de los triángulos formados se puede conocer cuánto vale Y , así se tomará como ejemplo el punto principal 2.



$$\tan P_2 = \frac{12}{Y_2}$$

$$Y_2 \tan P_2 = 12$$

$$Y_2 = \frac{12}{\tan P_2}$$

$$Y_2 = 12 \cot P_2$$

$$\cot P_2 = \frac{Y_2}{12}$$

No obstante el desarrollo mostrado, Y que es la incógnita por despejar sigue siendo desconocida, por lo que se debe recurrir a la semejanza de triángulos.

El ángulo que tiene por vértice P_2 en el triángulo $1P_22$, es igual al ángulo que tiene el vértice 1 del triángulo $1P_12$, por ser alternos internos; por otro lado, Y es proporcional a la distancia focal (f); y la distancia 12, que es la base aérea, es proporcional al base fotográfica que se denotará como $p_1p'_2$

La distancia focal se conoce ya que es uno de los requisitos del plan de vuelo y la distancia entre los puntos principales en la fotografía $p_1p'_2$ se puede medir directamente en la fotografía.

En la figura 4.29 se muestran dos fotografías aéreas pero no son consecutivas sino que ambas tienen transferido el punto principal cuya altitud se desea conocer, siguiendo el ejemplo dicho punto es el 2.



Fig. 4.29 Medición de dos fotografías con un punto principal transferido en común para la obtención de la altitud.

En estas fotografías se puede medir la línea que una al punto principal al transferido y estos dos valores se promediarán para obtener un cálculo más aproximado.

4.4.2.3. Determinación de las altitudes en función de los desplazamientos por relieve

Las fotografías aéreas poseen un desplazamiento por relieve de las imágenes que representan, ello se debe a que la superficie irregular de la Tierra se representa en un plano. El esquema de la figura 4.30 ejemplifica bien lo anterior.

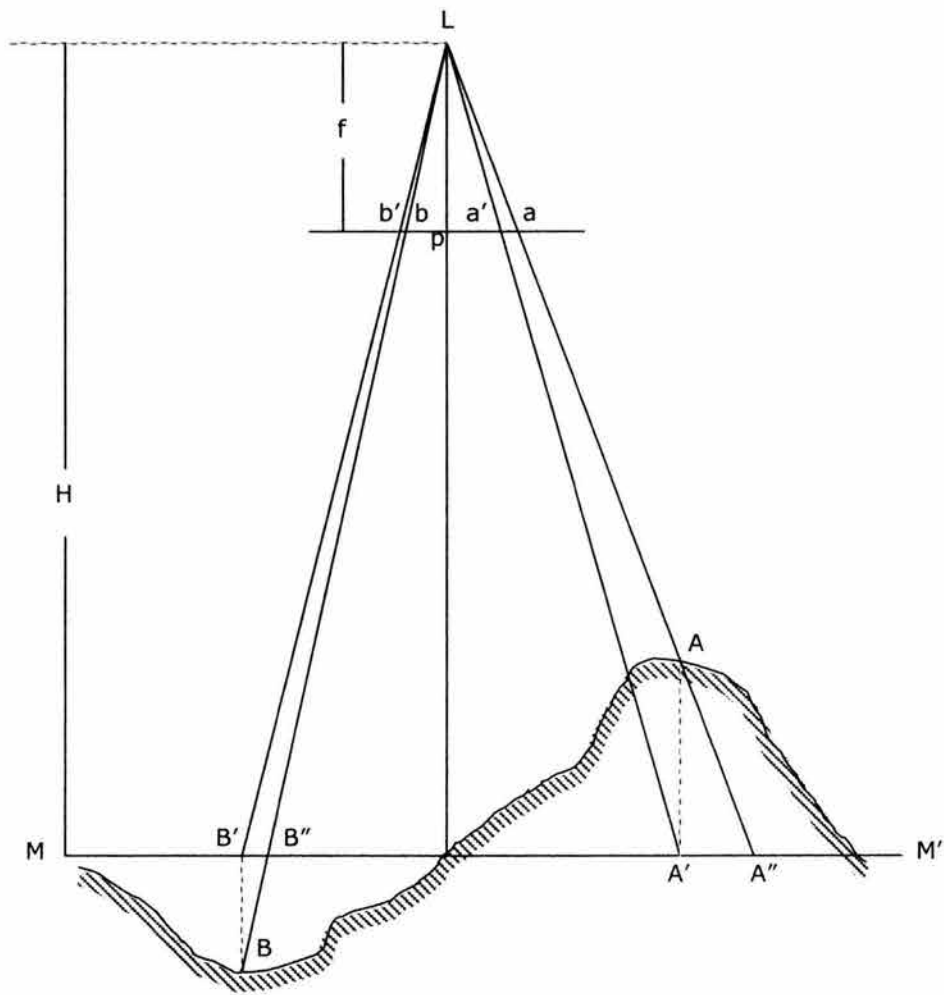


Fig. 4.30 Esquema de la determinación de la altitud de los puntos por medio del desplazamiento por relieve

A y B son los puntos cuya altitud se desea conocer y en la fotografía están representados por las letras a y b. La fotografía tiene un número infinito de escalas; sin embargo, al calcular una escala media que contiene el punto principal, se puede establecer una base o plano MM' que estará en función de la altitud del punto principal de la fotografía.

El punto A' está a la misma altitud que el punto principal V; sin embargo, en la fotografía este punto tiene representación en a' . Éste es, precisamente, el desplazamiento por relieve.

El triángulo pLa es proporcional al triángulo $A'AA''$ y para calcular la altura del punto A con respecto de A' se puede establecer la relación siguiente:

$$\overline{AA'} = \overline{A'A''} \cot \hat{A}$$

$$\cot \hat{A} = \frac{f}{pa}$$

$$\overline{AA'} = \overline{A'A''} \frac{f}{pa}$$

Para establecer la distancia $A'A''$, se debe hacer una resta:

$$A'A'' = VA'' - VA'$$

La distancia VA'' se obtiene de la medición directa, sobre la fotografía, del punto principal al punto deseado y se multiplica por la escala del plano MM' . La distancia VA' se mide en la planimetría ya que ahí todos los puntos están corregidos.

Ubicación de los puntos deseados en la planimetría. Para poder realizar la medición del punto principal al punto deseado, es necesario transferir los puntos elegidos en las fotografías a la planimetría, para ello se deberá seguir el siguiente procedimiento.

La planimetría se extiende sobre una mesa y se fija. La fotografía se orienta en la planimetría con respecto a los puntos principales tal como lo muestra la figura 4.31

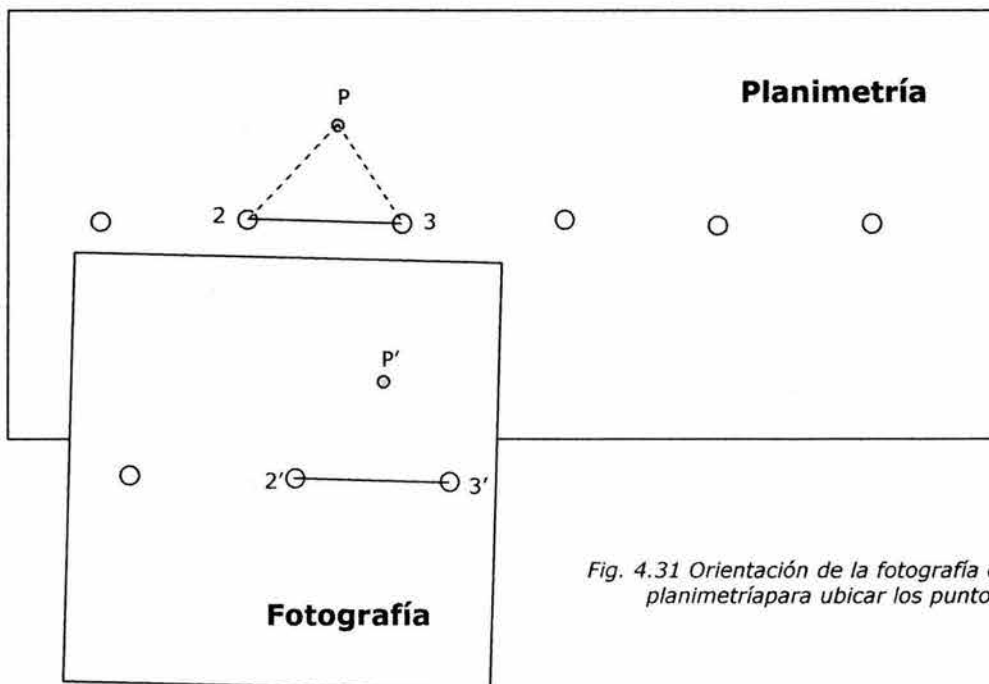


Fig. 4.31 Orientación de la fotografía con respecto a la planimetría para ubicar los puntos deseados

Los puntos principales tanto de la planimetría como de la fotografía se unen por medio de una línea auxiliar. La línea marcada 2-3 en la planimetría es la correspondiente a la 2'-3' de la fotografía. Así pues, dichas líneas serán paralelas, una vez que se consiga dicha condición la fotografía se fijará con cinta adhesiva.

En la fotografía se deberá tener muy bien identificado el punto de interés (P'). Dicho punto deberá quedar unido con los dos puntos principales entre los que se encuentre por medio de unos trazos ($2'P'$ y $3'P'$). Estas últimas líneas se trasladarán paralelas hacia la planimetría ($2P$ y $3P$), respectivamente; así, en el momento en que ellas se intersecten, quedará indicado el punto de interés sobre la planimetría (P).

Determinación del plano MM' . La determinación del plano MM' es muy parecida a la determinación de la altitud de los puntos principales. Se tienen las fotografías 1 y 3 tal como lo muestra la figura 4.32 y con estas dos fotografías se determinará el plano MM' del punto 2.

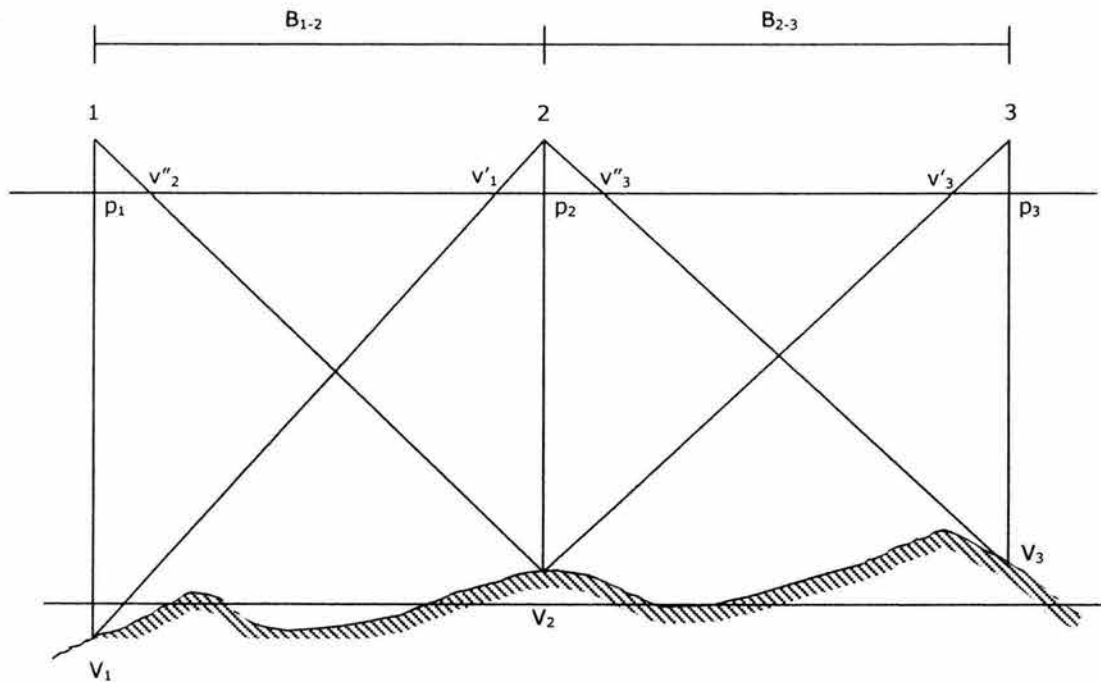


Fig. 4.32 Determinación de la escala del plano MM' que contiene al punto principal de la fotografía considerada

Para obtener la escala se miden las distancias 1-2 y 3-2, se transforman a metros y se dividen entre su base aérea correspondiente. Ambos resultados se promedian y así se obtiene la escala del plano MM' . (ver Fig. 4.30)

4.4.3 Configuración del terreno por medio de curvas de nivel

Una vez que se han obtenido las altitudes de los puntos de las fotografías, se puede proceder al trazo de curvas de nivel, las cuales constituyen una característica muy importante de las cartas geográficas.

Si en un modelo estereoscópico se tienen dos puntos de elevación conocida, es posible obtener las elevaciones aproximadas de otros puntos en dicho modelo con la ayuda de los paralajes de puntos homólogos. Lo primero que hay que hacer es obtener altitudes de algunos puntos dentro del modelo estereoscópico, para ello se toman los datos de la altitud de los puntos principales.

Las fotografías se deben orientar correctamente y se debe determinar el paralaje de los puntos principales. Cuando se conoce este paralaje se puede emplear la fórmula siguiente:

$$Pd = \frac{bh}{H - h}$$

La ecuación anterior se deriva de la fórmula mencionada en la página 208. En ella se desea obtener el paralaje diferencial Pd y se conocen todos los elementos posteriores al símbolo de igualdad, siendo h la altitud de la curva de nivel deseada.

Otro procedimiento que se puede llevar a cabo es determinar el paralaje de algunos puntos críticos del modelo estereoscópico situados cerca de los puntos principales, entonces la curva de nivel (que debe tener un valor cerrado) se puede interpolar para determinar su paso.

Las curvas de nivel son las líneas obtenidas de unir todos los puntos que se encuentran a la misma altitud sobre el nivel del mar. Así pues, una vez situado el punto donde pasa la curva de nivel, se trazará una línea que contenga la misma altitud; esta línea se deberá seguir continuamente con ayuda de la observación estereoscópica.

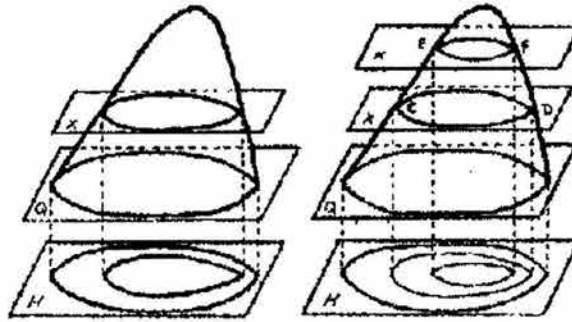


Fig. 4.33 Representación de las curvas de nivel en un plano
 Fuente: ANDARINES. Mapas / Curvas de Nivel. España
<http://www.andarines.com/orientacion/curvasde%20nivel.htm>

Cuando la línea de la curva de nivel de una determinada altitud se cierre, otra línea de la misma altitud tendrá que ser representada, así que se tendrá que interpolar de diferentes puntos.

A la distancia vertical que existe entre dos curvas se le denomina equidistancia, gracias a ésta se puede deducir que cuando las curvas de nivel se juntan, el terreno tiene mayor pendiente y cuando se separan, el terreno está menos inclinado.

Después de haber trazado las curvas de nivel en el modelo estereoscópico, éstas se deben trasladar a la planimetría de la misma manera en como se trasladaron los rasgos geográficos; es decir, con ayuda de las micas de cuadrículas proporcionales.

Una representación práctica del terreno debe permitir, al menos de manera aproximada, determinar la altitud de cualquier punto, hallar las pendientes y resaltar de modo expresivo la forma y accidentes del terreno. La configuración del terreno por curvas de nivel es muy aproximada, estas sólo son líneas de forma que ayudarán a observar los rasgos más fundamentales, pero no es un método muy preciso; sin embargo, si junto con a la proyección de estas curvas se anota la cota del plano que la determinó se obtiene una representación bastante práctica del terreno.

4.4.4 Trazo de curvas de nivel

En el apartado anterior se mencionó que el trazo de curvas de nivel se puede realizar por medio de la interpolación de las curvas entre dos puntos de altitud conocida y por medio del conocimiento del paralaje; si bien esto es cierto, también hay que destacar que éste método no es muy preciso y sólo ayuda a conocer la configuración aproximada de la superficie.

Para un trazo mucho más exacto de las curvas de nivel se utiliza el estereoscopio de espejos que posee una barra de paralajes, el cual permite la obtención aproximada de desniveles en un modelo fotogramétrico parcialmente orientado; los desniveles así calculados tienen un error medio cuadrático de ± 0.4 % de la altura de vuelo, cuando las correcciones aplicadas han sido determinadas correctamente.

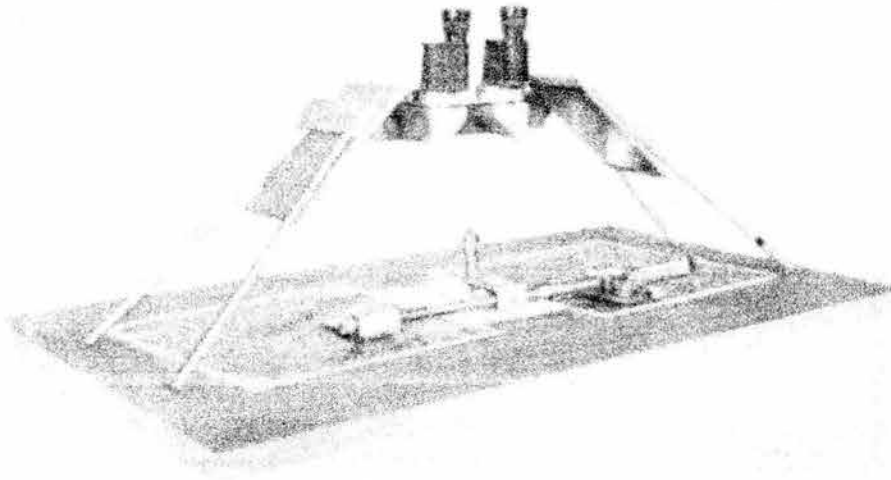


Fig. 4.34 Estereoscopio de espejos con barra de paralaje
Fuente: EJÉRCITO NACIONAL. Tercera División: Fotogrametría.
<http://www.ejercito.mil.uy/cal/sgm/foto3.htm>

Para comprender correctamente el uso del estereoscopio de espejos con barra de paralajes, es necesario comprender la teoría del punto flotante, ya que a barra de paralajes tiene grabada una marca que el observador verá a una determinada elevación con respecto al modelo estereoscópico.

4.4.4.1. Teoría del Punto Flotante

Una parte muy importante de la Fotogrametría son las medidas estereoscópicas y las técnicas de trazado para mapas y planos, y para ello se requiere del uso del punto flotante. Éste es la imagen mental estereoscópica de una pequeña marca de referencia localizada dentro del campo de la visión estereoscópica.

Los tipos de marcas flotantes de uso más generalizado son:

- Marcas idénticas , círculos, cruces, etc. (O, ×, +)
- Marcas complementarias, semicírculos, letras, etc.
- Marcas tridimensionales.

Las marcas generalmente se graban sobre piezas de material transparente como vidrio o plástico. Los cristales grabados se montan en la barra de paralajes. A fin de obtener una imagen estereoscópica con la máxima precisión es necesario que las fotografías sean examinadas bajo condiciones que permitan observar los numerosos puntos homólogos, y ello se conseguirá sólo mediante la correcta orientación de las fotografías que conforman el modelo. El observador, por su parte, debe satisfacer ciertas condiciones geométricas, fisiológicas y ópticas.

Si se observa un par estereoscópico de fotografías con una buena orientación, y sobre él se colocan unas marcas complementarias sobre puntos homólogos en las fotografías, dichas marcas se verán fusionadas en una sola marca flotante, también denominada como *punto flotante*, el cual aparentemente se encuentra formando parte de la imagen y está a una cierta altitud dentro del modelo. Si las marcas artificiales se mueven, una respecto a la otra, en dirección paralela a la línea de vuelo, se observará que la marca flotante sube o baja de altitud con respecto a la superficie terrestre.

Si ese desplazamiento es mayor, la marca aparecerá dividida en dos distintas imágenes paralelas a la base estereoscópica de las fotografías. A esta aparente separación se le llama paralaje en X.

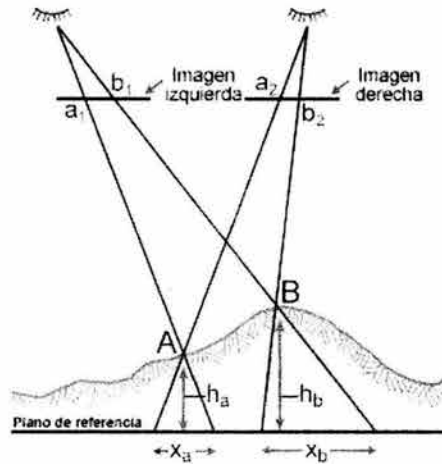


Fig. 4.35 Esquema del paralaje en X

- *A = Punto arbitrario en superficie terrestre, a una elevación baja*
- *B = Punto arbitrario en la superficie terrestre, a una elevación alta*
- *a₁, b₁ = puntos "A" y "B" sobre en la fotografía izquierda*
- *a₂, b₂ = punta "A" y "B" sobre en la fotografía derecha*
- *X_a = paralaje en X debido a la elevación del punto "A" sobre el plano de referencia.*
- *X_b = paralaje en X debido a la elevación del punto "B" sobre el plano de referencia.*
- *h_a = altura del punto "A" sobre el plano de referencia*
- *h_b = altura del punto "B" sobre el plano de referencia*

El paralaje en X se produce porque las visuales hacia el punto flotante se encuentran antes o después de la visual hacia los detalles del modelo estereoscópico.

También es posible tener un paralaje en Y, que ocurre al observar el par estereoscópico y la marca flotante aparece dividida en dos pero de manera perpendicular a la base estereoscópica. El paralaje en Y puede ser eliminado por algún movimiento correctivo de la barra de paralajes; sin embargo, el paralaje en Y también puede producirse cuando el avión se inclina, o bien por un pequeño cambio en la escala de las fotografías.

La teoría del punto flotante parte de la premisa siguiente: A un desplazamiento Δx en dirección X (paralela a la línea de vuelo) de las marcas, corresponde una diferencia de altura ΔH de la marca flotante.

Con base en este principio, se puede medir, con la barra de paralajes, las diferencias Δx que corresponden a la diferencia de paralajes, y al aplicar la formula correspondiente, se puede obtener también la diferencia de alturas.

El punto flotante se utiliza para:

- Identificar cualquier par de imágenes homólogas, de manera tal que su posición pueda ser medida o transferida.
- Determinar y eliminar los paralajes producidos en X y Y de un modelo estereoscópico.
- La marca flotante normalmente se emplea dentro de los modelos estereoscópicos en diversas formas, las cuales dependen de la construcción del instrumento:
 - Una marca real indicada, la cual se coloca en la superficie de un modelo estereoscópico, como es el caso del Kelsh Plotter.
 - Dos marcas indicadas, las cuales están en medio, entre el centro perspectivo y la superficie imaginaria del modelo estereoscópico, como es el caso del Estereoplanígrafo.
 - Dos marcas reales indicadas, las cuales son colocadas en los planos de la fotografía o cerca de ellos, como sucede con la barra de paralajes, el Autógrafo Wild y el Estereotopo Zeiss.
 - Dos marcas virtuales indicadas, colocadas en los planos de imagen del aparato visor binocular, como es el caso del Reading Plotter.

Las siguientes son algunas recomendaciones para el uso de la marca flotante cuando se hacen mediciones en las fotografías.

- El observador debe concentrar su atención en la superficie de la imagen estereoscópica, más que en la marca flotante misma.
- Si no se pueden fusionar las imágenes homólogas de un modelo, es posible que las marcas no coincidan con las imágenes homólogas. El observador puede verificar cerrando un ojo y después el otro para mirar la coincidencia de las marcas con las imágenes.

- La marca flotante tiene que ser lo más pequeña posible y tener un contraste moderado con las imágenes fotográficas. Las marcas flotantes de gran tamaño, llaman la atención del observador, por lo que se dificulta la relación visual de la marca flotante con la superficie del modelo estereoscópico.
- Ambas fotografías deben estar igualmente iluminadas, ya que esto puede constituir una fuente de error.

Una vez comprendida la importancia de la teoría del punto flotante se procede al trazo de las curvas de nivel con el estereoscopio de espejos con barra de paralaje.

Para calcular la diferencia de distancias entre pares de puntos homólogos se emplea la barra de paralaje. Ésta posee las marcas o índices que constituyen el punto flotante, y cuando éste parece tocar el terreno se toma la lectura de la escala graduada.⁸⁵

La barra de paralajes es un mecanismo capaz de medir el paralaje de un punto dentro de un modelo estereoscópico. Físicamente es un tornillo micrométrico que está dentro de una barra hueca dotada de una rosca. Posee una escala graduada y dos índices grabados sobre unos cristales. Uno de estos índices está sujeto a la barra y el otro está sujeto al tornillo, de ahí se deduce que uno de los índices permanece fijo, mientras que el otro tiene movimiento.

Para llevar a cabo las mediciones con la barra de paralajes es necesario mantener las fotografías fijas, con los puntos principales y transferidos bien orientados. También la distancia entre fotografías debe permitir la visión estereoscópica.

La barra de paralajes se coloca sobre las fotografías de forma tal que cada uno de los índices señale un punto homólogo. Es conveniente colocar la graduación de la barra en el punto medio, de tal manera que sea posible ajustar las distancias entre los índices para colocarlos en los puntos deseados. La barra de paralajes posee un tornillo que permite variar dicha distancia sin mover la graduación.

Cuando la distancia entre índices es correcta, el tornillo que mueve la graduación denominado micrométrico se gira delicadamente para lograr ver una sola marca reposando

⁸⁵ La distancia entre puntos homólogos puede medirse con una regla, pero para lograr mayor precisión se utiliza una barra de paralaje que tiene una aproximación hasta de una centésima de milímetro.

sobre la superficie terrestre, una vez logrado lo anterior, se procede a tomar la lectura. Es importante mencionar que para poder mover el tornillo micrométrico, el tornillo de ajuste de distancia entre índices debe estar cerrado.

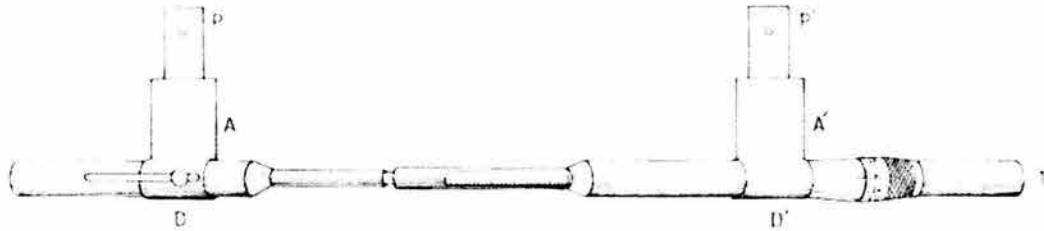


Fig. 4.36 Esquema de la barra de paralajes

La barra de paralajes mide los paralajes existentes en los puntos de un modelo estereoscópico para conocer la diferencia paraláctica y por lo tanto de altitudes. Se constituye de una varilla metálica en cuyos extremos se hayan dos armaduras A y A', en ellas se encajan dos placas de cristal P y P' sobre los que van grabados unos índices en forma de cruz, circunferencia o ambos.

La separación entre ambos índices se puede modificar con la ayuda del tornillo T, este desplazamiento se mide sobre la escala milimétrica la cual se puede apreciar hasta la centésima de milímetro, pero se puede aproximar hasta la milésima de milímetro.

En la barra de paralajes la diferencia paraláctica se comporta de manera directa con relación a la diferencia de alturas; es decir que mientras mayor es el paralaje, mayor es la altitud del punto. En cambio si la diferencia paraláctica se mide con escalímetro, la relación es inversa.

4.5. Restitución fotogramétrica analítica y digital

La restitución fotogramétrica es el proceso mediante el cual se determinan las posiciones planimétricas y altimétricas verdaderas del terreno, a partir de las imágenes que conforman los pares estereoscópicos. Para poder realizar este paso la fotogrametría se basa de métodos mecánicos, ópticos y gráficos; además de los analíticos y digitales, de los que se hará mención en los apartados siguientes.

4.5.1. Restitución fotogramétrica analítica

La restitución analítica empezó a funcionar desde el año de 1964 cuando la casa italiana Nistri presentó en el Congreso Internacional de Fotogrametría realizado en Lisboa un aparato que denominó estereocomparador. Los restituidores analíticos carecen de mesa de trabajo y de la materialización de los rayos luminosos que poseen los restituidores analógicos, vienen con una computadora personal de un tamaño mayor que las más comunes.

Los restituidores analíticos tienen en común con sus antecesores (los analógicos) el hecho de efectuar la orientación del par estereoscópico de manera relativa y absoluta utilizando los puntos de apoyo necesarios y las piezas de operación correspondientes.

Los restituidores analíticos poseen oculares regulables en los cuales se percibe el modelo estereoscópico y la marca flotante que posee tres coordenadas (X Y Z), hasta este momento todo es muy similar a los restituidores analógicos; sin embargo, las coordenadas de los puntos deseados no se obtienen con el restituidor sino con la computadora que está conectada a él. La computadora puede dibujar los detalles señalados por el operador con la marca flotante, y utiliza algunos signos convencionales como las vías de comunicación, vegetación, etc.

Las curvas de nivel también pueden ser trazadas por la computadora llevando la marca flotante a lo largo de puntos de igual altitud; no obstante, éste no es el mejor método para conseguir una configuración de las curvas de nivel con los restituidores analíticos. Lo que se debe hacer es marcar las cotas en puntos críticos del relieve y la computadora será quien realice los procesos de interpolación para dibujar por ella misma las curvas de nivel.

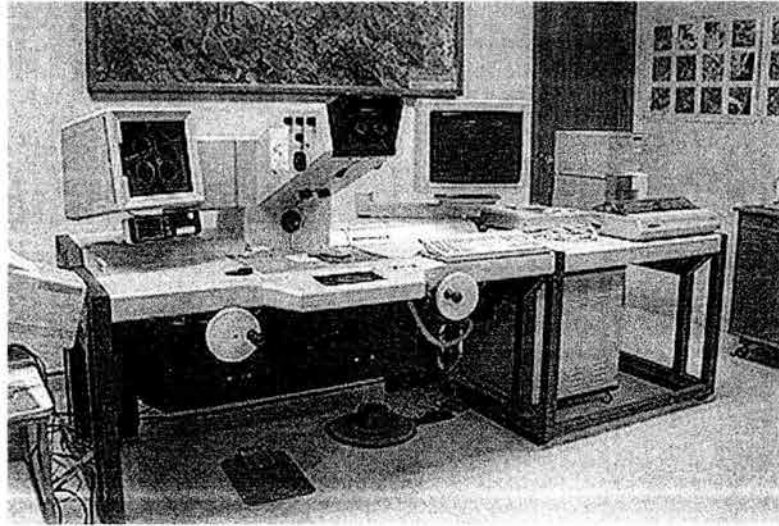


Fig. 4.37 Restituidor analítico de la casa Zeiss
<http://nivel.euitto.upm.es/E/Escuela/Patrimonio/Instrum/Restitu>

Para complementar la información anterior, a continuación se presenta un restituidor analítico de LEICA denominado Wild APT 2.

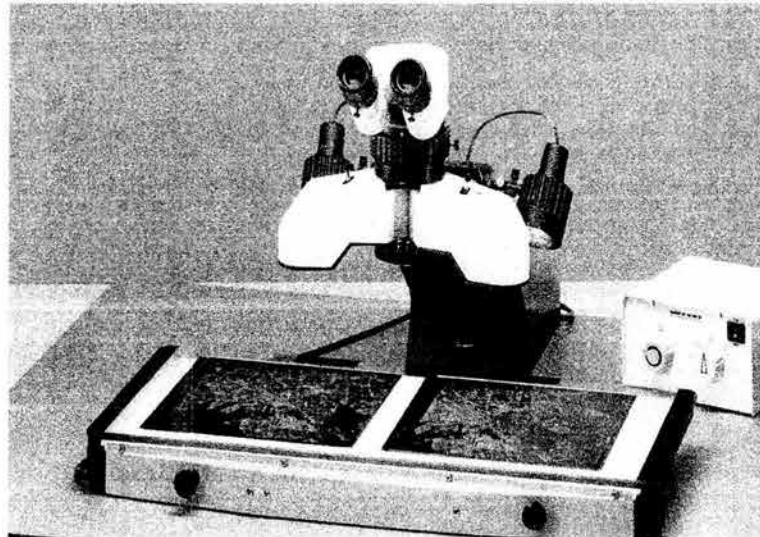


Fig. 4.38 Restituidor Wild APT2
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

Este aparato es, en sí, un sistema para la interpretación estereoscópica desarrollado por LEICA, el cual trajo consigo nuevas posibilidades en la fotointerpretación. Posee una gran resolución óptica y una elevada iluminación, la cual no altera las tonalidades de las fotografías para satisfacer las necesidades modernas de la fotointerpretación.

El WLID APT2 tiene mayor utilidad en la interpretación de las fotografías de color o falso color; sin embargo, también puede trabajar con imágenes del satélite SPOT y pares de fotografías terrestres o aéreas de formato 23 x 23 cm.

El aparato cuenta con un carro porta-fotogramas que tiene un desplazamiento horizontal y que permite el encuadre de las fotografías dentro del campo estereoscópico. Además cuenta con algunos accesorios que a continuación se enlistan ⁸⁶:

- **Iluminación diascópica.** Las transparencias contienen un mayor grado de saturación de color y mayor riqueza de detalles que las imágenes impresas en papel; por ello, el restituido WLID APT2 tiene la posibilidad de trabajar con fotogramas en diapositiva las cuales se observan por medio de la iluminación diascópica que posee el aparato. La intensidad lumínica puede regularse.

- **Micrómetro estereoscópico y sujeta-lápices.** El aparato posee una barra de paralajes para realizar los cálculos de altitudes. El micrómetro permite leer las centésimas de milímetro y va unido a un brazo soporte que, a su vez, está fijado al aparato. Para cartografiar y trazar los detalles fotográficos restituidos, el WLID APT2 tiene un mecanismo en el borde del carro porta-fotogramas que sostiene un lápiz de dibujo, el cual traza los detalles que se ven estereoscópicamente; este mecanismo se activa mediante un disparador de cable. En el modelo estereoscópico se sigue el detalle deseado con la barra de paralajes y al guiar la marca flotante, se produce la cartografía restituida de las líneas, puntos o áreas de interés.

⁸⁶ Folleto Publicitario: Leica, S.A. de C.V.

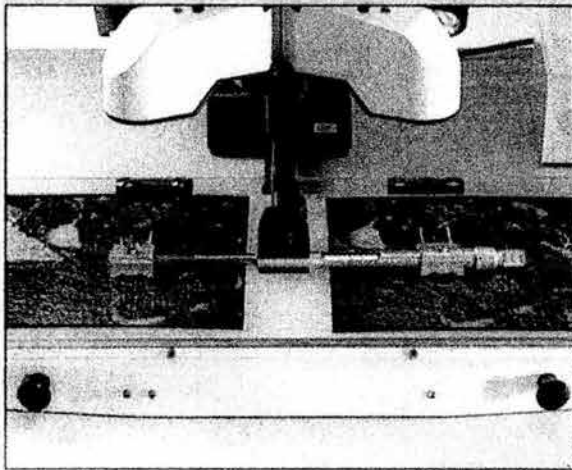


Fig. 4.39 Estereomicroscopio
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

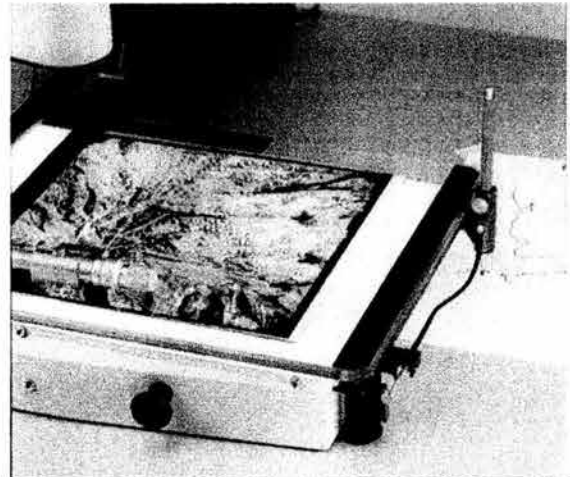


Fig. 4.40 Sujeta-lápices del Restituidor Wild-APT2
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

- **Accesorios de medición.** El WLID APT2 trae consigo unas retículas para determinar las longitudes, los desniveles del terreno y las distribuciones de frecuencias.
- **Interpretación en común.** El WLID APT2 posee un tubo de discusión que sirve para que dos personas puedan ver simultáneamente el modelo estereoscópico. Una flecha luminosa de posicionamiento discrecional facilita la orientación. Este tubo permite que dos especialistas interpreten conjuntamente, lo que asegura una mayor calidad y rapidez en la interpretación; además, los errores pueden aclararse rápidamente. Este tubo de discusión también puede ser utilizado para enseñar a los intérpretes principiantes.

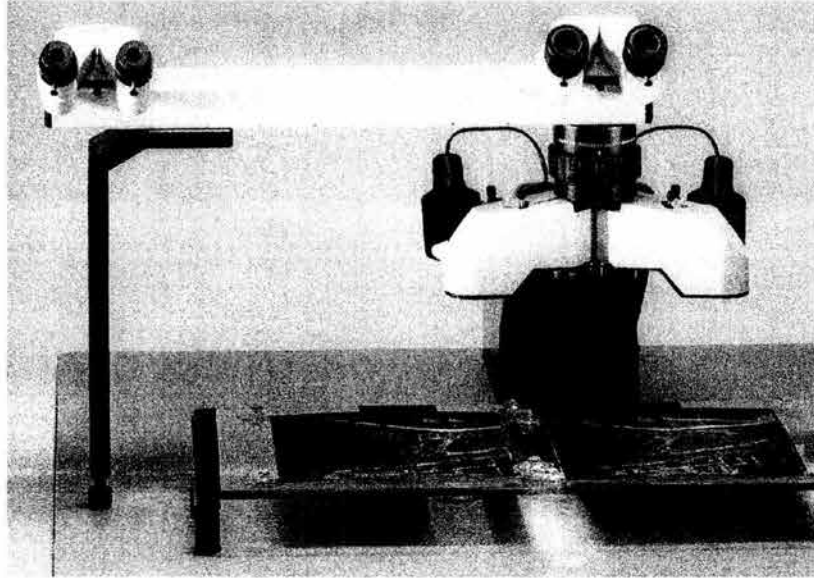


Fig. 4.41 Barra o tubo de discusión del Restituidor Wild-APT2
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

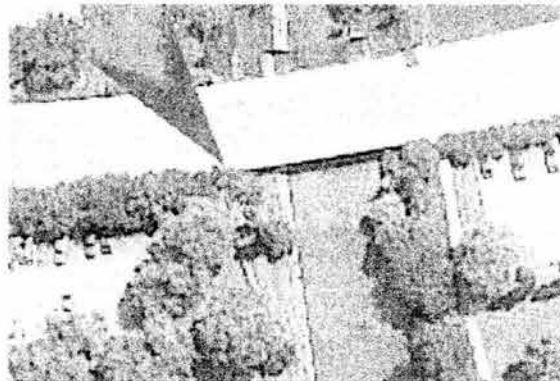


Fig. 4.42 Flecha luminosa de posicionamiento discrecional
utilizada en la barra de discusión
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

- **Proyección de modelos.** El tubo de dibujo permite la comparación directa entre una imagen de la zona cartografiada con anterioridad, y la imagen de la fotografía aérea. El tubo de dibujo se coloca en el ocular de observación derecho; este tubo desvía la mirada hacia mapas o dibujos de la misma zona interpretados a una escala aproximada o igual a la de las fotografías. Así se pueden comparar las dos interpretaciones.
- **Equipo de fotografía.** Se utiliza para una interpretación directa en el terreno y proporciona fotografías sectoriales ampliadas y obtenidas con un sistema fotográfico automático.

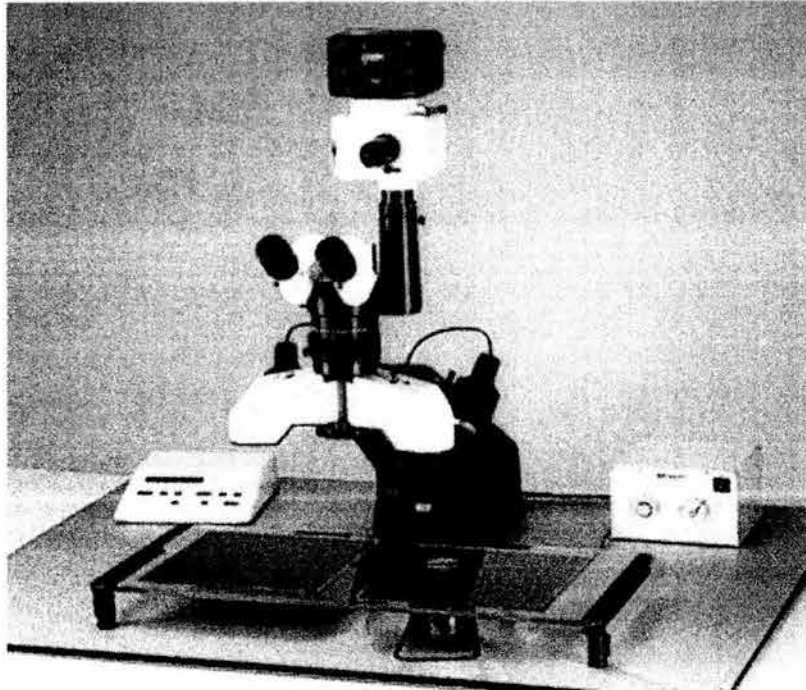


Fig. 4.43 Equipo de fotografía incluido en el Restituidor Wild-APT2
Fuente: Folleto Publicitario Leica: ATP2

- **Equipo de video.** Una cámara de video de alta resolución puede conectarse al aparato con el fin de transmitir la imagen observada. Ello es útil especialmente en convenciones, cursos o conversaciones en las que se desea demostrar el resultado de la interpretación.

4.5.2. Restitución fotogramétrica digital

El método digital para llevar a cabo la restitución fotogramétrica se basa en la conversión de las imágenes fotográficas al formato digital por medio del escáner o bien de las cámaras fotográficas digitales. Actualmente, el Instituto Cartográfico de Cataluña y otras instituciones han desarrollado la restitución y la aerotriangulación digital por medio de programas de cómputo avanzados que permiten una mayor precisión en la transferencia de puntos.

El Sistema Fotogramétrico Digital (SFD) es un "conjunto de hardware y software, cuyo objetivo es la generación de productos fotogramétricos a partir de imágenes digitales mediante técnicas manuales o automatizadas"⁸⁷. El hardware es el equipo de computo en sí, mientras

⁸⁷ Aurora Cuatrero. Fotogrametría II. http://www.unex.es/geodesia/fud/FDTema_02.pdf

que el software es el conjunto de programas e instrucciones que permiten el manejo de la computadora.



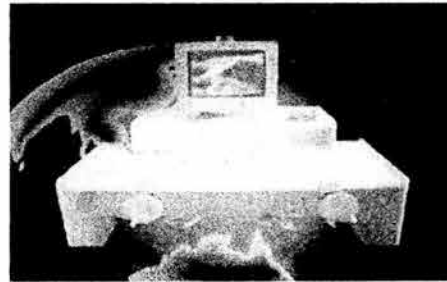
Estación de trabajo



Lentes estereoscópicas



Mouse 3D



Manivelas y pedal

Fig. 4.44 Hardware de los Sistemas Fotogramétricos Digitales (SFD)

Fuente: SISTEMAS AVANZADOS Y PROYECTOS S.A. DE C.V. <http://www.instituto-smi.com>

Según Aurora Cuatrero, en su documento Fotogrametría II, los SFD deben constar de los elementos siguientes:

- Elementos de captura o conversión de las imágenes al formato digital
- Sistema de entrada de datos en formato digital
- Unidad de proceso central con suficiente memoria RAM
- Sistema gráfico de color real con alta velocidad de transferencia
- Monitor(es) de color con alta resolución
- Arquitectura con alta velocidad de transferencia de datos
- Dispositivo de almacenamiento de datos con gran capacidad
- Sistema de medida 3D de las imágenes digitales
- Sistema de visión estereoscópica
- Impresora y trazador gráfico para la edición de resultados

La visión estereoscópica debe estar presente en este tipo de restitución fotogramétrica con los mismos principios que en la estereoscopia tradicional; es decir, cada ojo debe ver una imagen distinta. Así pues, en la fotogrametría digital existen varios sistemas para lograr una visión estereoscópica. Los más comunes son:

- División de pantalla. Es similar al estereoscopio de espejos pero la separación se realiza sobre uno de los monitores. (Fig. 4.45)

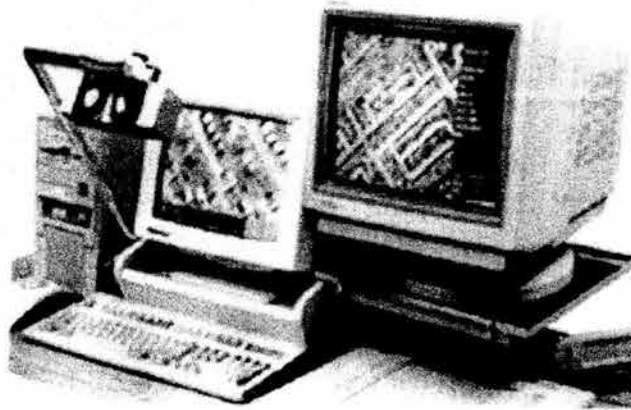


Fig. 4.45 Sistema DVD de Leica

Fuente: Aurora Cuatrero. Fotogrametría II. http://www.inec.es/guestbook/foro/FotLeica_02.pdf

- Polarización con gafas activas. La pantalla de polarización se lleva a cabo en las gafas y no en el monitor. La sincronización se realiza por medio de rayos infrarrojos
- Polarización con gafas pasivas. Las imágenes se muestran de forma alternativa y un modulador de cristal líquido del mismo tamaño que la pantalla se encuentra sincronizado con el hardware gráfico; esto proporciona la polarización diferente de las imágenes de cada ojo.

4.5.2.1. Funcionamiento

El SFD funciona como lo muestra la figura 4.46. En dicha figura se concibe que las fotografías pueden ser escaneadas o tomadas directamente con la cámara digital para obtener las fotografías digitales que se procesarán en la estación de trabajo para georreferenciarlas e integrarlas a los SIG, imprimirlas o llevarlas a los trazadores para realizar los mapas y cartas.



Fig. 4.46 Proceso de las fotografías digitales

Fuente: Aurora Cuatrero. Fotogrametría II. http://www.unex.es/geodesia/fod/FDTema_02.pdf

El proceso se inicia con la digitalización de los fotogramas a restituir mediante la utilización de un escáner de alta resolución, con capacidad de compresión JPEG de las imágenes. Este escáner no introduce ningún tipo de defecto radiométrico visible a la escala de salida de la imagen. Cuando las imágenes están escaneadas, se realiza un archivo o fichero digital de imágenes, a las cuales, posteriormente, se les aplicará la restitución digital.

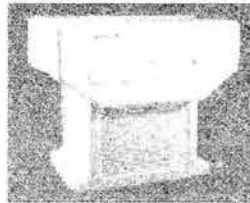


Fig. 4.47 Escáner digitalizador de fotografías

Fuente: Guillermo M. Gallo Fotogrametría Digital. Fundamentos y Justificación. LH Systems. http://www.lh-systems.com/esp/tema02/FD_02tema02.pdf

La orientación de las imágenes en la computadora, se realiza de manera automática mediante la aplicación de un software que localiza las marcas fiduciales digitalizadas, procediendo a su medida y al cálculo de la orientación.

El proceso de restitución digital inicia la transferencia digital de puntos entre fotogramas, el software utilizado permite la visualización simultánea de hasta seis imágenes en pantalla, sobre las que se superpone la distribución de los puntos. Una vez escogido el punto a transferir en una imagen, éste se transfiere mediante la correlación automática a las otras cinco imágenes, obteniendo una precisión de medio píxel. Además, un proceso posterior de refinamiento, ajusta todas las observaciones a un décimo de píxel.

Con la restitución fotogramétrica digital y otros procesos posteriores, se obtiene la ortofoto digital, que se define como aquel producto cartográfico dotado de métrica y escala, y

que se obtiene mediante la manipulación de las fotografías aéreas verticales en un entorno completamente digital.

Un artículo de reciente uso en la aerotriangulación digital es el AU3-Win, el cual, entre otras muchas tareas, permite hacer todas las marcas y la transferencia digital de puntos, inclusive en modelos de diferentes bandas y a distintas escalas, obviando así, los equipos transferidores de puntos. Las coordenadas de las fotografías o modelos obtenidas en el AU3-Win pueden exportarse o trasladarse a archivos ASCII para ser procesados externamente.

Los resultados definitivos de esta restitución digital, pueden ser leídos para realizar la orientación absoluta de las fotografías, y así, prescindir de una nueva visita a los puntos en campo.

Las diapositivas estereoscópicas, son colocadas en los restituidores estereofotogramétricos, que permiten, con base en una serie de variables y parámetros, la visualización de ellas en tres dimensiones a la vez que son incorporadas como pequeños vectores en una computadora.

4.5.2.2. Estaciones y programas fotogramétricos digitales

Una de las estaciones de trabajo más poderosas que se utilizan actualmente es el Imagestation 2002 mostrado en la figura 4.48. Este equipo está considerado como uno de los mejores en la integración del hardware con el software además de trabajar en plataformas muy familiares como Windows.



Fig. 4.48 Estación Fotogramétrica Digital Imagestation 2002

1. Monitores pancromáticos de 21 y 24 pulgadas
2. Disco duro
3. Controles para los ajustes según las preferencias del usuario
4. Emisor de rayos infrarrojos
5. Mouse controlado por las dos manos y 10 botones
6. Escritorio ergonómico
7. Lentes estereoscópicas de cristal líquido

Fuente: Z/I Imaging Corporation (2002)

Existen otras estaciones fotogramétricas digitales como las desarrolladas por Leica mostradas en la figura 4.49



Fig. 4.49 DPW600 y DPW700 de Leica Helava
Fuente: Z/I Imaging Corporation (2002)

Los programas de fotogrametría digital están desarrollados por las empresas e institutos dedicados a la investigación cartográfica. En general ellos aceptan las fotografías, imágenes aéreas y de satélite con sobreposición, ya sea provenientes de cámaras métricas o no métricas. Las fotografías se digitalizan mediante un escáner fotogramétrico de alta precisión geométrica y uniformidad radiométrica (también pueden ingresarse en negativo o diapositiva).

Una vez ingresadas las fotografías a la computadora, y con ayuda del control terrestre, se corren los parámetros que contiene el programa específico para obtener las ortoimágenes, así como los modelos digitales y mapas.

Dentro de los programas de fotogrametría digital más empleados se puede citar a: AU3-Win, VirtuoZo (Clásico y AAT + PATB), Imagis, Autometric Softplotter, DEM-Volume, Cyberland, etc.

Una mención especial merece el AU3-Win. Este programa es utilizado por algunas empresas mexicanas de fotogrametría, como son: Aerotécnica de México, S.A. e ICFA, S.C. El programa es capaz de llevar a cabo la restitución fotogramétrica digital en una computadora Pentium™ estándar, con 256 MB de memoria en RAM, y con el sistema operativo de Windows 95, 98 o NT.

Antes de aplicar el restituidor AU3-Win, las fotografías aéreas se deben escanear en formato JPEG; de esta manera, pueden acceder al programa. A las fotografías se les aplica la orientación interna que consiste en ubicar el punto principal con una precisión muy alta a partir de las marcas fiduciales; después se les aplica la orientación relativa, que es la localización apropiada de algunos puntos de una fotografía y sus correspondientes en la fotografía contigua. El programa elige los puntos que se pueden de tomar para la orientación relativa; sin embargo, el usuario puede elegir otros según su propia conveniencia ⁸⁸. En este mismo momento se elimina el paralaje de las fotografías con el auxilio de la marca flotante. El programa contiene algunos parámetros de precisión, los cuales, en el caso de no quedar satisfechos, se deben rectificar y para ello es posible ampliar la imagen en la pantalla.

Una vez concluida la orientación relativa, se procede a la orientación absoluta que es la fijación del modelo estereoscópico con coordenadas en X, Y y Z, y a la escala seleccionada.

⁸⁸ Es conveniente que el operador seleccione los puntos que desea, ya que los puntos elegidos por él siempre serán más fácilmente identificables en la fotografía adyacente, y esto ahorra mucho tiempo.

El programa tiene la capacidad para realizar trazos digitales sobre las fotografías, como los cambios de pendiente, a partir de los cuales interpolará de manera automática y muy rápida las curvas de nivel. También es posible trazar los ríos, poblaciones y muchos otros detalles que son más propios de una cartografía temática que son productos directos de la fotogrametría digital.

Es conveniente hacer mención de que el uso de este programa no requiere de la presencia de dos monitores como es el caso del Imagestation 2002. EL hardware debe incluir un dispositivo capaz de separar la imagen natural del monitor para que se pueda hacer estereoscopia por medio del uso de las gafas, las cuales están en sincronía con unos rayos infrarrojos provenientes de un emisor situado encima del monitor. Las fotografías se traslapan unas con otras y es posible ajustar la distancia entre ellas para que el operador pueda ver la tercera dimensión.



*Fig. 4.50 Restituidor Digital AU3-Win
Fuente: Folleto Publicitario CartoData S.A. de C.V. AU3-Win*

Por medio de la fotogrametría digital también es posible realizar mosaicos con una mayor precisión y con uniones mucho menos notorias.

En algunas ocasiones, un fotograma no es suficiente para obtener una ortoimagen, de esta manera, se hace imprescindible realizar un mosaico digital constituido por diversos fotogramas digitales restituidos. Un mosaico digital (y en general cualquier mosaico que requiera cierta precisión) parte de la hipótesis de que las fotografías aéreas están restituidas; es decir, están corregidas geométricamente, así que la sobreposición debe ser perfecta. Ésto se logra con mayor facilidad en los mosaicos digitales.

En general, los programas digitales contienen módulos avanzados a los que se someten las imágenes fotográficas. Así, hay módulos especiales para:

- Triangulación de imágenes de satélite
- Aerotriangulación automática
- Captura automática de modelos digitales de terreno
- Modelos de generación de ortofotos y mosaicos de imágenes

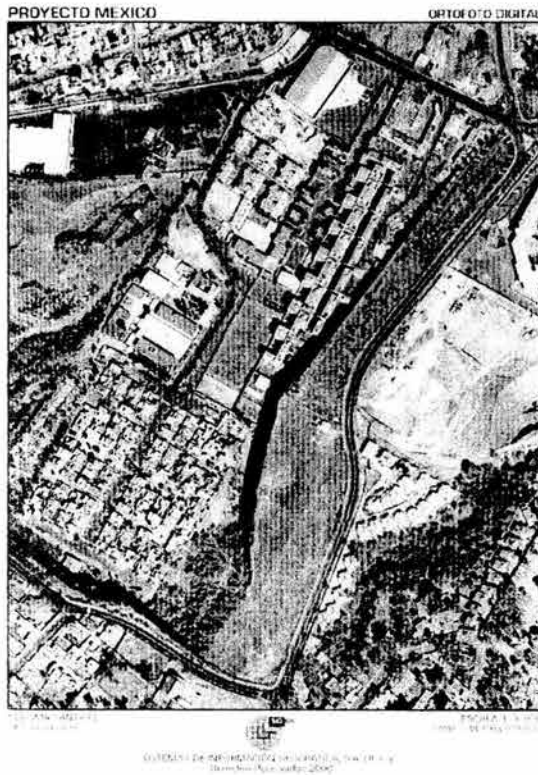


Fig. 4.51 Ortofoto digital producida por SIGSA

La fotogrametría requiere de la aerotriangulación radial para la propagación de puntos cuyos valores (en coordenadas geográficas u ortogonales) se conocerán cuando se apliquen los diversos métodos.

Cabe recalcar que la fotogrametría, al igual que muchas disciplinas científicas, ha aplicado métodos modernos como los digitales para que se obtenga una mayor precisión. Al obtener una mejor aproximación, las ciencias pueden encontrar nuevas rutas por las cuales seguir. La fotogrametría, en este caso específico puede aplicar los métodos digitales en la

aerotriangulación para que se pueda tener una mejor restitución fotogramétrica lo cual llevará a una carta más precisa en la que se representa la superficie terrestre.

Los equipos y programas de la fotogrametría digital ayudan a los operadores a obtener los diversos productos que generalmente ofrecen las compañías cartográficas como son las ortofotos, los mosaicos digitales, los modelos digitales del terreno y algunas aplicaciones más específicas que se realizan con ayuda de los SIG.

4.6. La elaboración de las cartas geográficas temáticas

Como se mencionó en las páginas anteriores, el proceso de la restitución fotogramétrica permite determinar las posiciones planimétricas y altimétricas verdaderas del terreno, a partir de las imágenes que conforman los pares estereoscópicos. Así pues, una vez que los detalles de la carta base se han trasladado a las cartas que contienen la armazón matemática, los diversos especialistas vierten sus conocimientos y elaboran las cartas geográficas temáticas.

Por lo regular, la elaboración de la cartografía temática lleva a cabo algunos otros procesos especializados, y cuyos procedimientos conciernen a otros tipos de investigación; sin embargo se describen brevemente a continuación ⁸⁹:

1. Recopilación y análisis previo de la información relacionada con el tema específico de la carta temática.
2. Inspección preliminar (primera visita a campo).
3. Interpretación de las fotografías aéreas (generalmente se relizan mosaicos que cubran áreas extensas y de los cuales se analiza el tono, la textura, la configuración del drenaje, etc.)
4. Verificación de la fotointerpretación en campo (se analizan las zonas que no fueron interpretadas o que fueron mal interpretadas).
5. Reinterpretación (se realiza una segunda interpretación con base en los conocimientos adquiridos en la segunda visita a campo).
6. Transferencia de los datos específicos a la carta base por medio de la restitución fotogramétrica.

⁸⁹ Metodología tomada del Atlas Nacional del Medio Físico Esc. 1:1,000,000 elaborado por el INEGI

Así es como se elaboran las cartas temáticas del medio físico, como las geológicas, edafológicas, uso de suelo y vegetación, forestal y dasonómica.⁹⁰

Las cartas geográficas temáticas relacionadas con aspectos sociodemográficos provienen de la recopilación y análisis de las estadísticas y los resultados también se vierten en la carta base.

Debido a que las cartas geográficas temáticas están transferidas a la carta base, contienen algunos elementos propios de ella; sin embargo, los rasgos de la cartografía básica quedarán asentados dentro de otra categoría de información en la carta. Estos rasgos se cartografiarán a detalle abierto; es decir, evitando al máximo la saturación de información.

4.7. La generalización cartográfica

Así pues, la restitución fotogramétrica hace posible cartografiar los fenómenos geográficos relacionados con los objetivos planteados en la planeación cartográfica. Esto es posible gracias a la *generalización cartográfica*.

La generalización de un documento cartográfico está asociada con el paso de la fotografía aérea restituida al mapa o carta. La generalización es la simplificación de la realidad, porque suprime una gran cantidad de detalles que no son esenciales de acuerdo con los objetivos del mapa, o bien que no son significativos en función de la escala.

La generalización convierte al mapa en una abstracción. En este capítulo se mencionó la existencia de una gran cantidad de documentos como los mosaicos controlados, los ortofotomosaicos, las ortofotos, que son documentos técnicamente correctos en donde es posible ver con una gran precisión los detalles de la Tierra, e incluso tienen la característica de poder realizar mediciones en ellos. Sin embargo, un mapa o una carta geográfica poseen el proceso de la generalización, con el que se incrementa su valor cognoscitivo así como su legibilidad; asimismo, se facilita el descubrimiento de los rasgos y las características particulares enfocados al objetivo del mapa.

⁹⁰ La carta climática no se realiza por el método anteriormente descrito. Para elaborar este tipo de cartas es necesaria la información de las estaciones meteorológicas, las cuales se ubican en la carta base y se realizan interpolaciones para obtener un mismo tipo climático de acuerdo con la clasificación utilizada.

Para algunos cartógrafos, la generalización cartográfica es un proceso subjetivo en el cual no existen leyes; sin embargo, algunos autores como Arthur Robinson (et. al) han distinguido los procesos siguientes dentro de la generalización:

- *Selección.* Se seleccionan los rasgos más importantes de acuerdo con la finalidad del mapa.
- *Simplificación.* Se determinan las características más importantes de los elementos seleccionados. Desaparece el detalle en función de la escala de la carta.
- *Clasificación.* Los símbolos se agrupan de acuerdo a su significado.
- *Simbolización.* Se eligen los símbolos que representarán cada fenómeno.
- *Inducción.* Es el proceso de la extensión de la información del mapa, más allá de elementos representados, es decir la posibilidad para realizar inferencias.

Debido a los procesos anteriormente expuestos, se deduce que la generalización cartográfica está íntimamente relacionada con los objetivos del mapa; así los cartógrafos deben elegir cuáles detalles de las imágenes de la superficie terrestre son adecuados para representar y cuáles no lo son en función del tema y de la escala de las cartas.

Conclusiones

En décadas pasadas, la fotogrametría había estado teniendo una pugna entre la utilización de los métodos tradicionales de la más alta precisión, y los métodos más modernos que son los electrónicos. Dicho conflicto acabó con el triunfo de los segundos sobre los primeros, debido a ello los restituidores analógicos se han dejado de fabricar para dar paso a los restituidores analíticos y sobre todo, a los digitales.

Los métodos más clásicos de la aerotriangulación fotogramétrica como son el gráfico, el geométrico, el analítico y otros, actualmente ya no están en uso por parte de las empresas fotogramétricas; sin embargo, persiguiendo el objetivo de conocer los principios fotogramétricos que llevan al cartógrafo a materializar una carta geográfica a partir de las fotografías aéreas, es muy conveniente conocerlos debido al gran aporte que brindan,.

Actualmente algunas empresas todavía utilizan los restituidores analógicos, los cuales, no obstante su desuso, no han desaparecido; por el contrario, son muy útiles para la elaboración de cartas geográficas a un costo bajo.

Los métodos fotogramétricos analíticos, y sobre todo los digitales, son los que ocupan las empresas dedicadas a la fotogrametría. En la práctica, estos métodos resultan ser mucho más precisos que los tradicionales y tienen la posibilidad de realizar los trabajos en un tiempo menor. Los programas no sólo son aptos para poder producir las cartas geográficas básicas, también es posible obtener algunos mapas temáticos, como los catastrales que tienen una demanda muy grande, mapas de uso de suelo, vegetación, etc., todo ello a partir de la fotogrametría aplicada.

La restitución digital tiene algunas especificaciones técnicas que permiten que los productos realizados representen la superficie terrestre de la manera más fiel posible. Los puntos de las especificaciones técnicas para la restitución digital se expondrán brevemente a continuación:

La restitución fotogramétrica digital deberá llevarse a cabo mediante la utilización de los instrumentos fotogramétricos, los cuales deberán estar programados en una computadora, con el auxilio de codificadores de alta precisión y deberá existir un software fotogramétrico digital, que considerará las fases siguientes:

- **Aerotriangulación.** Se efectuará con los instrumentos de primer orden y la información se procesará en un programa de ajuste por modelos independientes. Los resultados y residuales serán anotados antes de la compensación para asegurar la exactitud de la información.
- **Orientaciones (interior, relativa y absoluta).** Se llevan a cabo tomando como base 6 puntos de control fotogramétrico distribuidos adecuadamente para asegurar una correcta orientación. No deberán estar a menos de 1 cm de la orilla de la fotografía y estarán lo más lejos posible entre sí.

➤ Trazo fotogramétrico.

- Información altimétrica. Deberá contener las curvas de nivel maestras y ordinarias. También se debe contar con cotas fotogramétricas en cada cruce de calles, sitios relevantes del terreno o entre las curvas de nivel que se separen más de 5 cm.

- Información planimétrica. Incluirá todos los detalles identificables tales como construcciones o poblaciones, carreteras, caminos, ríos, áreas de vegetación, y todos aquellos detalles que contengan dimensiones relativamente considerables según la escala de la carta.

CAPÍTULO

5



IMAGEN
IMAGEN
IMAGEN

Edición y Reproducción Cartográfica

“Los mapas son siempre el resultado de un diseño. [...] El diseño no sólo abarca los aspectos gráficos del mapa sino todo el sistema de edición y reproducción que su publicación implica.”

Salazar Sánchez, 1982

Introducción

El último paso para conseguir la elaboración de las cartas geográficas es la edición y la reproducción. Las cartas generadas durante la aerotriangulación y la restitución fotogramétrica se editarán y se reproducirán para alcanzar el último fin de la cartografía, que consiste en que sus productos lleguen al usuario.

Los mapas, según Salazar Sánchez, "no son el resultado de los levantamientos topográficos, fotogramétricos o geodésicos, ni de la compilación de datos toponímicos o estadísticos, llevados a las planchas de impresión mediante técnicas de dibujo, grabado, rotulación y fotomecánica; los mapas son siempre el resultado de un diseño"⁹¹, cuya calidad en la publicación es decisiva.

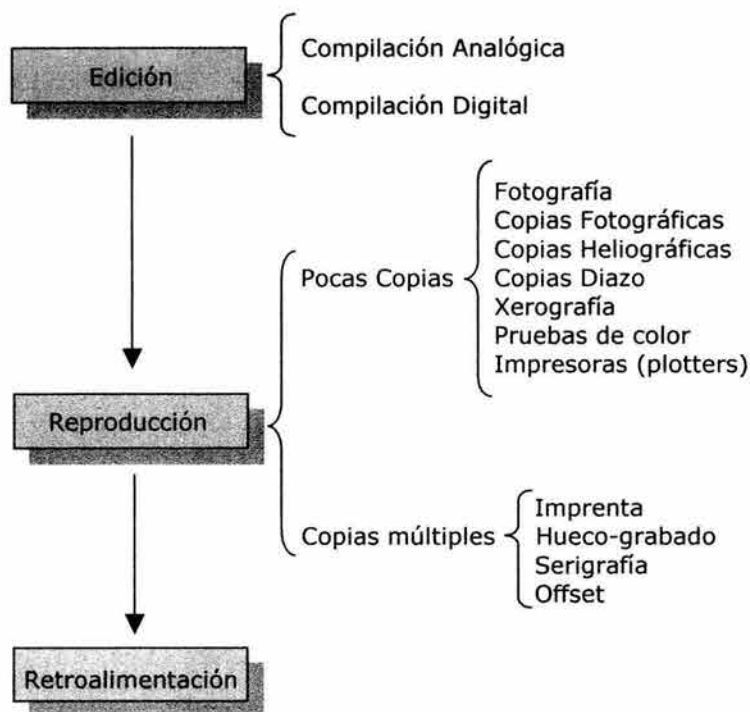
La edición cartográfica consiste en la *redacción* o *compilación* del mapa, y se refiere a la recopilación y disposición conjunta de todos los datos geográficos que se incluirán en el mapa. Se debe entender por *disposición conjunta* "la ubicación de los distintos datos en sus posiciones horizontales relativas adecuadas (planimetría) según el sistema de proyección cartográfica y la escala que el mapa utilice."⁹² La redacción cartográfica persigue el objetivo de la preparación de todos los datos básicos de referencia, la rotulación, distribución geográfica a incluir en el mapa y todos los elementos que aparecerán en él.

La reproducción cartográfica es el proceso al cual se somete el mapa para ser materializado y, de esta manera, pueda hacerse llegar a sus usuarios potenciales y lograr la retroalimentación. Para conseguir la reproducción cartográfica se hace uso de diversos métodos (los cuales no son exclusivos de la cartografía), y que se elegirán para lograr reproducir un mapa eficientemente, según las necesidades e intereses que posea; no obstante, esta eficiencia (entendida como la mejor manera de reproducir el número de copias deseadas con el costo más bajo y en el menor tiempo posible) no siempre es alcanzada debido al desconocimiento de los métodos de reproducción aplicados a los fines cartográficos.

A continuación se presenta el esquema representativo del capítulo

⁹¹ Salazar Sánchez. *Edición y Reproducción de Mapas*. Pág. ix

⁹² Arthur Robinson (*et. al.*). *Elementos de Cartografía*. Pág. 401.



5.1. Edición Cartográfica

5.1.1. *Compilación analógica de la hoja de trabajo*

Los procesos de edición, según Arthur Robinson (et. al) en "Elementos de Cartografía", terminan en una hoja de trabajo, también conocida como minuta.⁹³ La compilación de la hoja de trabajo en los diversos mapas y cartas no es siempre la misma, varía según la escala.

Los mapas o cartas base que poseen una escala grande (mayor de 1:500,000) se compilan por los métodos fotogramétricos descritos en los capítulos anteriores. La exactitud planimétrica se controla lo más cuidadosamente posible y será correcta, en tanto esté dentro de los límites de la definición de la escala y del error humano.

Los mapas de escala media (1:500,000 a 1:1,000,000) se pueden compilar de varias maneras: los datos pueden obtenerse de las cartas de escalas mayores y la información puede reducirse por métodos mecánicos, fotomecánicos o electrónicos, y también puede generalizarse

⁹³ Los mapas más complejos pueden tener varias hojas de trabajo, las cuales deben estar cuidadosamente registradas o posicionadas respecto a las demás

o eliminarse de acuerdo con el área mínima cartografiada. Estos mapas se compilan muy frecuentemente a partir de las imágenes de percepción remota.

El cartografiado a pequeña escala (menor de 1:1,000,000) se refiere a áreas extensas y los datos pueden compilarse a partir de diversas fuentes de información. Estos mapas, por lo general, pertenecen al campo de la cartografía temática; sin embargo, la compilación se realiza sobre los mapas básicos que son la estructura sobre la cual se acomoda el resto de la información.

La minuta debe considerarse como un documento de planificación esencial; si es preparado cuidadosamente será un borrador que guiará al cartógrafo a través de la edición y la reproducción de un modo uniforme; en cambio, si es concebida deficientemente, la frustración, que será consecuencia de la pérdida de precisión y claridad del documento cartográfico, no tendrá fin.

La hoja de trabajo debe ser una representación clara y exacta de todo lo que debe aparecer en el mapa terminado. Debe tener un diseño amigable que facilite la lectura del mapa y que a la vez permita que la reproducción cartográfica se facilite.

Las cartas base, tema central de la presente investigación, ya empezaron a ser compiladas en el capítulo anterior una vez concluida la planimetría y la altimetría sobre una misma hoja de trabajo; es decir que se han compilado todos los elementos de la investigación cartográfica. Para continuar la edición hay que tomar en cuenta el material o papel a utilizar, la imagen guía, la rotulación, las separaciones y el registro.

5.1.1.1. Materiales

La elección de un material apropiado es la primera consideración en la edición de un mapa. Para tal decisión hay que tomar en cuenta la *estabilidad dimensional* del papel ya que ella proporcionará la fidelidad del mapa original. Los papeles de dibujo son menos estables que las películas de dibujo como el poliéster ya que los primeros tienden más a la dilatación con los cambios de temperatura y humedad. Los papeles de dibujo son más útiles y más económicos cuando el mapa tiene una sola hoja; en cambio, cuando el mapa es de alta precisión, o se compone de varias hojas de trabajo originales el plástico trae beneficios considerables.

Otra consideración es la transparencia del papel. En una compilación el papel transparente es muy útil ya que el trazado es más fácil; sin embargo los papeles traslúcidos y opacos pueden trabajarse de manera muy adecuada con la ayuda de una mesa luz; en ellos se puede calcar, trazar y rotular de la misma manera que en un material transparente colocando alguna guía entre la mesa y el papel.

5.1.1.2. Formación de la imagen guía

Resulta ventajoso preparar la imagen del mapa sobre la hoja de trabajo a la escala planeada en la que se dará a conocer el mapa. Así, el cartógrafo podrá realizar la generalización que considere necesaria para que el mapa o la carta se comprendan de la manera más adecuada.

5.1.1.3. Rotulación

La rotulación de un mapa es muy importante ya que es un elemento necesario para que el documento establezca la comunicación con el lector. La ubicación de los rótulos sobre el mapa puede hacerse de modo bastante tosco cuando su posición no supone problema alguno; en cambio, cuando el mapa o la carta son precisos, la rotulación toma mucha importancia y deberá realizarse con mucho cuidado tomando en cuenta el tamaño de la tipografía y su espaciado.

La rotulación del mapa incluye todo el material alfanumérico. Cuanto más elaborado sea un mapa, más serán los aspectos a tomar en cuenta; sin embargo hay siete puntos básicos a considerar:

1. Estilo de la tipografía. El cartógrafo tiene que decidir entre un número bastante considerable de diseños del alfabeto. La elección del estilo de la tipografía se debe centrar en la legibilidad de los rótulos y la armonía entre ellos y el carácter del mapa.

Entre los distintos estilos se pueden mencionar los *clásicos o antiguos*, que proporcionan una atmósfera de calidad al mapa, pero carecen de una connotación geométrica; también se halla el grupo del estilo *moderno*, que se empezó a ensayar desde los años de 1800, dichas tipografías se presentan geométricas y precisas y las líneas delgadas y gruesas cobran

importancia; un tercer grupo en el estilo de la tipografía se denomina "*sans serif*" cuyo aspecto es actual, claro y limpio, además de que es muy poco convencional y su uso en cartografía va en aumento, algunas formas de este estilo se denominan góticas.

La cartografía a menudo utiliza diferentes estilos en un mismo mapa pero en ocasiones es fácil exagerar en el empleo de diversas tipografías o modalidades de una misma; como norma general, un mapa que contenga menor número de estilos tendrá mayor armonía; también se debe tener en cuenta la denominada "simpatía de los estilos de la tipografía" es decir, que no es muy conveniente mezclar los distintos grupos de estilos (por ejemplo clásicos y modernos).

2. Forma de la tipografía. Los alfabetos están formados por dos formas básicas de letras: las mayúsculas y las minúsculas. En general, en la disciplina cartográfica las letras mayúsculas se utilizan para los títulos o nombres de mayor relevancia, y los nombres menos importantes utilizan la primera letra mayúscula y las letras subsecuentes que conforman el nombre son minúsculas.

En las cartas básicas la hidrografía posee caracteres itálicos ⁹⁴ y todos los demás elementos poseen letras verticales a excepción del rumbo de las carreteras en los márgenes de las cartas que poseen caracteres inclinados. Los caracteres inclinados y los itálicos no son iguales. Los segundos asemejan una letra cursiva escrita a mano, en tanto los primeros son los mismos caracteres verticales inclinados un cierto ángulo.

Ejemplo de tipografía inclinada:	Arial	<i>Arial</i>
Ejemplo de tipografía itálica:	Book Antiqua	<i>Book Antiqua</i>

Los estilos clásicos y modernos tienen una gran diferencia entre las letras itálicas y las verticales; en tanto, en los estilos *sans serif* esta diferencia es muy poco marcada. Otra forma de la tipografía es la recalcada o negrita.

3. Tamaño de la tipografía. En cartografía el tamaño de la tipografía se puede elegir por tres razones principales. La primera selección de los tamaños se realiza para denotar jerarquías en la información, aplicada generalmente a los asentamientos humanos. También el

⁹⁴ Es una tradición colocar caracteres itálicos a la hidrografía porque sugieren movimiento de la misma manera que el agua. Algunas cartas básicas también pueden manejar la tipografía itálica para el resto de los accidentes geográficos naturales, sin embargo es posible encontrar variaciones de unas cartas a otras.

tamaño de la tipografía tiene que ver mucho con la magnitud del fenómeno representado; así pues un fenómeno de magnitud relativamente amplia (dependiendo de la escala del mapa), puede tener una tipografía grande, pero un fenómeno pequeño tendrá una tipografía reducida. Por último, el tamaño de la tipografía se puede elegir en función del contenido intelectual del mapa.

El tamaño es la altura de la tipografía sobre una página impresa; la altura se designa mediante puntos, siendo un punto aproximadamente 0.35 mm o 1/72 pulgadas. En general, el tamaño menor para que una tipografía sea legible oscila entre los 3 puntos, dependiendo del estilo; sin embargo este tamaño suele ser muy reducido por lo que se considera que entre 4 y 5 puntos es el mínimo de visibilidad para el individuo promedio. Cabe destacar que el tamaño mínimo de la tipografía de un mapa va estrechamente relacionado con su finalidad.

4. Contraste entre los rótulos y el fondo. La tipografía de un mapa generalmente es negra para que sea altamente contrastante con el mapa en sí, que para fines de rotulación constituye el fondo. En las cartas básicas generalmente se utilizan colores, y las tipografías no están exentas de ellos. Se utiliza el color azul para los rótulos correspondientes a la hidrografía y color café para los valores de las curvas de nivel, dichos colores deben ser bastante fuertes para contrastar con el fondo. No obstante, en ocasiones, este contraste variará en función del fondo sobre el cual se encuentren; por ejemplo el color azul tendrá una diferente percepción visual sobre el color sepia, que sobre el verde o el amarillo, pero en todos los casos debe ser contrastante. Cuando el fondo es bastante oscuro conviene invertir la tipografía por un color claro con el fin de conservar el contraste.

5. Método de rotulación. La rotulación de los mapas antiguos se hacía manualmente utilizando las plumas y tintas. La rotulación manual requería de muchos conocimientos caligráficos, que actualmente son lentos y costosos. Actualmente se utilizan tres métodos básicos para la rotulación de un mapa: los métodos de adhesión de la tipografía; los métodos asistidos por la computadora; y los métodos mecánicos.

El método de la adhesión de los rótulos es generalmente más rápido y requiere de poca habilidad manual. Las letras están estampadas sobre delgadas hojas de plástico, que en su parte posterior están revestidas de una capa de cera incolora.

La rotulación asistida por un sistema de cómputo es la técnica más frecuente en los mapas y las cartas, y se emplea en los documentos de mayor calidad. Este método de rotulación otorga al mapa un carácter más rígido y mecánico.

La rotulación mecánica se realiza cuando no se posee la suficiente habilidad caligráfica para rotular manualmente un mapa; de esta manera, los rótulos realizados a tinta poseen la calidad suficiente. El aspecto se asemeja a un dibujo mecánico y tienen la característica de ser bastante nítidos.

6. Ubicación de los rótulos. La colocación de un rótulo es muy importante porque está estrechamente ligada con la buena lectura del mapa. Cuando un rótulo está situado de manera adecuada, el lector identifica perfectamente el fenómeno al cual se refiere.

Las diversas empresas u organizaciones dedicadas a la elaboración de documentos cartográficos tienden a desarrollar sus propios estilos en la rotulación de mapas; dichos estilos tienden a identificar unas empresas de otras; no obstante, existen acuerdos en la ubicación de los rótulos de un mapa, los cuales se enlistan a continuación:

- 1) "Los nombres han de situarse totalmente sobre tierra o totalmente sobre agua.
- 2) La rotulación debe orientarse en general de forma armonizada con la orientación de la estructura del mapa. En los mapas a gran escala esto implica el paralelismo con los bordes superior e inferior; en los mapas a pequeña escala, significa el paralelismo con los paralelos.
- 3) El rótulo no debe curvarse a menos de que sea necesario.
- 4) La rotulación no orientada (punto anterior) no debe colocarse nunca en línea recta, sino seguir siempre una curva ligera.
- 5) Los nombres deben mantener sus letras separadas por el menor espacio posible
- 6) Cuando la continuidad de los nombres y la de los otros datos cartográficos, como líneas y tonos, entren en conflicto con la rotulación serán, los datos, y no los nombres, los que deban interrumpirse.
- 7) Los rótulos no deben quedar nunca invertidos." ⁹⁵ (sic)

⁹⁵ Arthur Robinson (*et al.*) *op cit.* Pág. 208.

Los rótulos correspondientes a los símbolos puntuales deben colocarse encima o debajo del punto en cuestión, siendo preferible la primera opción. Si existe alguna división, ya sea línea limítrofe o un río, los nombres deben colocarse completamente del lado al que pertenecen.

La rotulación para identificar hechos lineales debe colocarse siempre en largo y de forma paralela a la línea a la que hacen referencia. Si ha de colocarse un rótulo de manera casi vertical, siempre será mejor leerlo hacia arriba en el lado izquierdo del símbolo o hacia abajo en el lado derecho; ello es debido a que cuando se gire el mapa para leer el rótulo éste quedará encima del símbolo, lo que lo hace más legible, ya que existen menos descendentes que ascendentes en las letras minúsculas.

Los símbolos zonales deberán rotularse de manera que el letrero quede completamente entro de la región a la que se hace alusión. El nombre puede espaciarse a lo largo del área pero no a tal grado que parezcan letras aisladas y que desaparezcan entre los demás detalles. Deberán evitarse los rótulos curvos, y en el caso de que exista la necesidad, las sinuosidades no deberán ser marcadas.

A continuación se muestran dos figuras de la misma región. En la primera de ellas se han transgredido prácticamente todas las reglas de rotulación descritas anteriormente. En la segunda se puede apreciar la misma zona rotulada de manera adecuada.

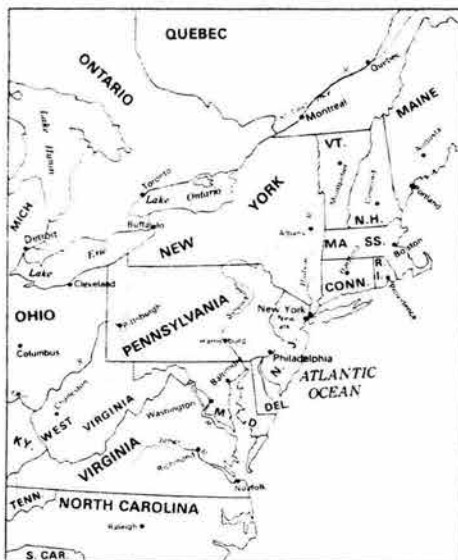


Fig. 5.1 (a) Rótulos mal colocados



Fig. 5.1 (b) Rótulos bien colocados

Fuente: Arthur Robinson (et. al) Elementos de Cartografía. Págs. 210 y 211

5.1.1.4. Separaciones

Cuando el mapa o la carta geográfica muestra cierta complejidad, que normalmente se produce cuando hay una diversidad de colores, conviene separarla. La hoja de trabajo puede disgregarse realizando una *separación de características*, una *separación de colores* o bien una *selección de colores* .

La *separación de características* consiste en la agrupación de las diferentes categorías de la información; por ejemplo, carreteras, hidrografía, poblaciones, etc. y cada grupo se registra en una hoja de trabajo particular.

La *separación de colores* radica en la agrupación un mismo color que se presente en el mapa para poderse aislar del resto de colores y poderlo plasmar en una hoja de trabajo.⁹⁶

La *selección de colores* consiste en la separación de los colores primarios sustractivos de toda la carta ⁹⁷ más el negro. Este sistema se diferencia del anterior en que utiliza sólo cuatro diferentes capas de información en tanto que la separación de colores utiliza tantas hojas de trabajo como colores contenga la carta. ⁹⁸

5.1.1.6. Registro

El registro de las hojas de trabajo sólo se puede presentar cuando existen hojas múltiples que constituyen un mismo documento cartográfico. El registro es el sistema mediante el cual las diversas capas de información pueden lograr la coincidencia después de haber sido separadas. El registro se puede llevar a cabo mediante clavijas o señales gráficas, siendo más preciso el primer método mencionado.

⁹⁶ La agrupación de un color incluye todas las tonalidades o valores que tenga ese mismo color en la carta.

⁹⁷ Los colores primarios sustractivos son el amarillo, el magenta y el cyan.

⁹⁸ La selección y la separación de colores serán tratados con más detalle en la parte correspondiente a la reproducción cartográfica.

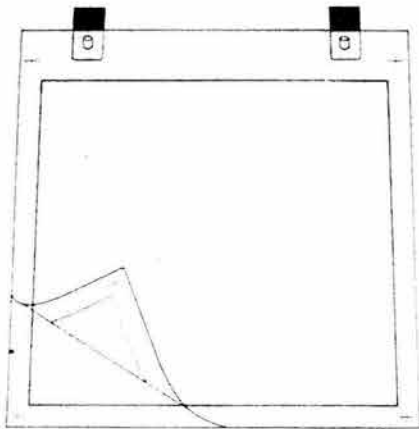


Fig. 5.2 Método de las clavijas para el registro de las múltiples hojas de trabajo que constituyen el mapa original. También se pueden apreciar algunos registros gráficos en las esquinas exteriores de las hojas de trabajo.

Fuente: Arthur Robinson (et. al.) Elementos de Cartografía. Pág.408

Antes de emplear cualquier método de registro, es necesario asegurarse de que cada hoja de trabajo particular encaje perfectamente con el resto, con lo cual se evitarán muchos problemas en la reproducción del mapa.

5.1.2 Compilación digital de la hoja de trabajo

La introducción de la tecnología electrónica ha proporcionado un método alternativo en la compilación de las hojas de trabajo de los mapas y cartas. Evidentemente, el fin de la compilación analógica y digital es el mismo; aunque la metodología sea distinta.

En la compilación digital se posee la libertad de probar diseños alternativos, mezclar los datos que provienen de fuentes diversas, cambiar la escala, la proyección y la disposición de los elementos que se desea que aparezcan en el mapa original. En los SIG se pueden manipular fácilmente estas variables a fin de obtener el mapa deseado.

La compilación de la hoja de trabajo digital está asociada a los elementos siguientes:

5.1.2.1. Bases de datos

Las bases de datos son fuentes de información que están sistematizadas. Los datos que se proporcionan pueden tener una base *locacional*, en los que se incluyen los hechos y fenómenos físicos y sociales propios de las cartas básicas (hidrografía, líneas costeras, asentamientos humanos, carreteras, etc.) o bien pueden tener una base temática, en la que se encuentran los datos específicos que traerán como consecuencia el tema del mapa específico.

Las bases de datos deben contener las características de los elementos por representar a fin de que puedan surgir los mapas temáticos. En alguno de sus campos se debe especificar si se trata de datos puntuales, lineales o polígonos, además se debe contar con la georreferenciación, es decir las coordenadas de cada elemento referido. Por lo general los SIG otorgan la posibilidad de cambiar fácilmente la proyección, la escala y otros parámetros que constituyen la cartografía básica.

5.1.2.2. Digitalización

La digitalización es el paso de la información analógica (o el mapa físico) a la información digital en formato vectorial. El formato vectorial es aquel que se rige por cantidades, magnitudes y direcciones y a cuyos trazos se les puede asociar algún tipo de información que se relaciona con las bases de datos. La digitalización se realiza por medio de un aparato especial que puede ser manual, electromecánico o bien semiautomático.

5.1.2.3. Escaneo

También es un procedimiento para lograr el paso de la información analógica a la digital, sólo que en formato ráster. El formato ráster se rige por columnas y renglones, en donde cada intersección se denomina píxel; así pues, la información analógica es descompuesta en una matriz de elementos discretos de imagen; es decir, los mencionados píxeles, los cuales tienen valores que les otorgan un determinado color, tono y brillo específico, el cual puede ser alterado o agrupado por medio de los filtros y las condiciones lógico-matemáticas que son muy utilizadas en el tratamiento de las imágenes de satélite.

La digitalización y el escaneo constituyen métodos para la elaboración de cartas y mapas que parten de algo que ya se hizo anteriormente, por lo que la precisión se tendrá que referir a la fuente original. Sólo por medio de la percepción remota, ya sea con fotografías aéreas o imágenes de satélite,⁹⁹ es posible obtener la información directamente de la superficie terrestre, para que después se rectifique, interprete y generalice, según la escala; todo ello con el fin de elaborar una nueva representación de la Tierra.

⁹⁹ La percepción remota muy frecuentemente se asocia a las imágenes de satélite; sin embargo, las fotografías aéreas también son parte de esta disciplina ya que se obtienen por medio de un sensor que percibe la energía electromagnética y la registra. Tanto las imágenes de satélite como las fotografías aéreas se pueden percibir remotamente por medio del sentido de la vista, sin estar presentes en el momento de la obtención de la información. La diferencia radica en la metodología aplicada.

5.1.2.4. Preparación de la hoja de trabajo

La hoja de trabajo realizada por computadora está bajo control del programa o sistema que se esté utilizando. El cartógrafo es, por supuesto, el responsable de la elaboración de la mayoría de las decisiones que se deben tomar; sin embargo, ellas se expresan por medio de instrucciones que se dan al programa y éste realiza las operaciones necesarias para la generalización, simplificación y clasificación de la información por medio de algoritmos; no obstante, algunas personas capacitadas pueden realizar sus propios algoritmos, en cuyo caso se responsabilizan de los resultados.

Una vez que se han dado las instrucciones al sistema, el cartógrafo puede solicitar una vista previa de la hoja de trabajo, y acomodarlo a su conveniencia y gusto propio antes reproducirlo.

5.1.2.5. Utilización de la hoja de trabajo digital

La hoja de trabajo digital tiene fines múltiples. Toda hoja de trabajo se realiza con el fin de probar la esquematización y diseño de los elementos que componen a los mapas; sin embargo, no hay mucho margen de prueba por los gastos y el tiempo empleado. Con la tecnología digital la compilación puede realizarse en un tiempo mínimo y sin costo alguno, de tal manera que existe la posibilidad de probar un número amplio de diseños antes de entrar a los procesos de reproducción.

Por otro lado la hoja de trabajo compilada electrónicamente puede constituir un mapa en sí. Ello quiere decir que no es forzoso que una hoja de trabajo se reproduzca si no es necesario y si la investigación no lo requiere, por el contrario, es posible que el mapa siempre sea leído de forma digital en la pantalla de una computadora, ya que no se desvía la finalidad de los documentos cartográficos en tanto tenga todos los elementos que se requieren en un mapa o una carta.

Los diseñadores sugieren que no se realice un mismo trabajo de manera analógica y digital (trabajo híbrido). Si se opta por editar un mapa de forma digital, todos los procesos se deben seguir en la computadora: selección de color, reproducciones en negativo o positivo, selección del formato y calidad de la imagen, etc. Todos estos procesos se conocen bajo el nombre de pre prensa digital.

La edición de la carta se inició con los procesos de compilación y redacción de los originales (en forma analógica o digital) y se continuó con la ejecución de las operaciones tendientes a dar a la(s) hoja(s) de trabajo su presentación final. La edición es la impresión de la obra original para su posterior publicación o reproducción; así pues, el trabajo cartográfico se planeó, se llevó a cabo y se materializó en un original que posteriormente se reproducirá, pero antes de ese último paso, el original impreso pasa por una inspección minuciosa, conocida como control de calidad, en la que se lee detenidamente toda la información. Después de esta revisión, la edición se cierra y ello constituye el término del ciclo puramente cartográfico, que comenzará otra vez cuando se desee lanzar una nueva edición de las cartas realizadas, y que tendrán que tomar en cuenta la retroalimentación, que es el suministro de la información más reciente y verídica, tanto de campo como de gabinete.

La retroalimentación está sujeta a las demandas del usuario, y a partir de ellas se reinicia el ciclo del trabajo cartográfico con la finalidad de mejorar la edición anterior.

El mapa recién editado debe contener, además de la información a la cual hace referencia, los elementos básicos de los mapas que son: título, escala, gradícula, meridiana, simbología y autor o responsable de la edición. Todos estos datos deben estar situados en la edición del mapa original.

5.2. Reproducción Cartográfica

La reproducción de las cartas, que es el paso siguiente, no es exclusiva de la cartografía como se mencionó con anterioridad. La reproducción de un mapa o una carta se realiza como cualquier libro o cartel, todo depende del número de copias que se requieran, de la complejidad del documento cartográfico o del sistema de impresión empleado.

5.2.1. Clasificación de los sistemas de impresión

Las cartas y los mapas se elaboran pensando en su reproducción para que dichos documentos cartográficos lleguen a manos de los usuarios. Los cartógrafos siguen la tradición de la obtención de sus representaciones del modo menos costoso, más rápido y más preciso posible. Así pues, los mapas se han reproducido por varios métodos: a mano, por métodos

mecánicos, métodos químicos, electrónicos o una mezcla de todos ellos. Asimismo, las reproducciones también pueden ser de línea, de medio tono o de tono continuo; y también pueden abarcar desde unas cuantas hasta varios miles de copias.

En este sentido, se hace necesario conocer los criterios de clasificación de los sistemas de reproducción aplicados a la cartografía, para elegir uno de ellos en función de la eficiencia que debe alcanzar un mapa al ser reproducido.

Por la calidad de la imagen, los sistemas de reproducción se dividen en:

- Reproducciones de la imagen por línea
- Reproducciones en medio tono
- Reproducciones en tono continuo

Si se toma en cuenta el número de colores de la carta geográfica, los sistemas de reproducción se dividen en:

- Monocromáticos
- Policromáticos

Considerando las placas de impresión se dividen en:

- Elaboración manual
- Elaboración química
- Elaboración fotomecánica
- Elaboración mixta

Según el nivel de la imagen con respecto a la placa de impresión:

- Imagen realzada (impresión)
- Imagen al mismo nivel (litografía)
- Imagen hundida (hueco-grabado)

Existe una gran variedad de clasificaciones de los sistemas de reproducción; sin embargo, el método más práctico es aquel que lleva al cartógrafo a lograr la eficiencia mencionada con anterioridad, y ello se elegirá en función del número de copias requeridas. En este sentido, los sistemas de impresión se clasifican en:

- Sistemas de impresión para pocas copias
- Sistemas de impresión para copias múltiples

En función a esta clasificación de los sistemas de impresión, se desarrollará la última parte del proceso en la elaboración de las cartas geográficas. Sin embargo, es necesario definir previamente la clasificación en función a la calidad de la imagen, ya que los sistemas no pueden reproducir todas las calidades de impresión.

Imagen de línea. Una imagen de línea es aquella que contiene sólo tonos negros sobre un fondo blanco, no tiene tonos grises ni degradados, sus colores son planos, en ellos la imagen solo está formada por el fuerte contraste entre el fondo y la figura.



Fig. 5.3 Imagen de línea

Un ejemplo de estos son los textos o manuscritos, logotipos y fotografías en alto contraste, diseños a tinta, etc.

Imagen de tono continuo. Las imágenes de tono continuo forman una imagen muy real por la gran variedad de tonos grises o de color, que se funden suavemente uno con otro, en ellos no se advierten puntos de tinta o color. Ejemplos de ellos son fotografías en papel fotográfico, a color o blanco y negro; pinturas al óleo; al pastel, a la acuarela, etc. De un original a tono continuo se obtienen películas tramadas o de medio tono.



Fig. 5.4 Imagen de tono continuo

Imagen de medio tono. Las imágenes de medio tono dan la ilusión de tono continuo debido a estar formados por una trama con puntos a diferente tamaño, las zonas con puntos grandes corresponden a los tonos oscuros, las de puntos pequeños a los tonos claros y las de puntos medianos corresponden a los tonos intermedios.



Fig. 5.5 Imagen de medio tono

Todos los puntos que componen este tipo de imágenes están dispuestos en una cuadrícula regular y están espaciados de modo uniforme. La mayoría de los mapas y las cartas reproducidos por el INEGI se encuentran en esta modalidad.

5.2.2. Sistemas de impresión para pocas copias

Cuando algún documento (cartográfico para este caso específico) requiere de unos cuantos ejemplares, se utiliza alguno de los sistemas de impresión para pocas copias, ya que el costo es muy adecuado en virtud de que no se requiere de la elaboración de planchas de impresión; sin embargo, estos métodos no son convenientes en caso de que el mapa requiera de muchas otras copias porque el costo unitario no disminuye con el tiraje.

Algunos de estos métodos son monocromáticos; es decir que utilizan una sola tinta, aunque se les pueden añadir algunos colores manualmente.

Los sistemas más usuales para la reproducción de copias escasas son:

- Fotografía
- Copias Fotostáticas
- Copias Heliográficas
- Copias Diazo
- Xerografía
- Pruebas de color
- Impresoras (Plotters)

La explicación de cada uno de estos métodos, que tiene lugar a continuación, mostrará algunas ventajas y limitaciones con el fin de hacer comparaciones para elegir el sistema más apropiado según los intereses y recursos del cartógrafo.

5.2.2.1. Fotografía

La fotografía es una práctica muy común en el proceso de edición ya que permite pasar fácilmente de una imagen positiva a una negativa y tiene la posibilidad de poder realizar cambios de escala. El sistema fotográfico constituye una etapa en los sistemas de edición más complejos; sin embargo, también constituye un fin por sí mismo ya que puede reproducir los documentos cartográficos para fines de circulación restringida.

Las ventajas en la utilización de este método radican en que se pueden reproducir formatos grandes, existe una gran precisión, tiene una alta resolución en tono continuo, es decir que posee tonalidades de grises, y tiene la posibilidad de reproducir en colores.

Las limitaciones consisten en: el alto costo por copia; la inversión considerable que se debe hacer en adquirir el equipo y contratar el personal capacitado; requiere de dos exposiciones, ya que en un primer paso se obtiene una imagen negativa de lectura invertida, y posteriormente el paso hacia la copia positiva; asimismo, requiere del sometimiento de los materiales sensibilizados al contacto con sustancias químicas que se deben tratar con mucha delicadeza para que no ensucien la imagen.

5.2.2.2. Copias fotostáticas

El sistema es una versión simplificada del proceso fotográfico; es decir, existe una primera exposición, un revelado del negativo, una segunda exposición y el revelado en forma positiva. Las copiadoras fotostáticas poseen una cámara sencilla diseñada para obtener una fotografía en un formato pequeño. La exposición se realiza a través del lente, el cual capta la imagen y la revela en húmedo. El secado posterior introduce algunas deformaciones.

Las ventajas son: su copiado rápido; el bajo costo por copia; el proceso semi-húmedo y la buena definición de la imagen.

Las limitaciones son: la deformación de la imagen; la escasa posibilidad de realizar formatos grandes y su doble exposición.

5.2.2.3. Copias Heliográficas

La heliografía es un sistema que requiere de un papel presensibilizado cuya emulsión es un derivado del caucho. Al igual que los sistemas anteriores, las copias heliográficas requieren de una doble exposición, pero puede reproducir en formatos grandes sin la posibilidad de reducir o amplificar.

La impresión por este método se realiza con el auxilio de una luz negra como las lámparas de arco o la luz xenón, o cualquier otras fuente que posea abundantes rayos ultravioleta, como la luz solar.

Entre sus virtudes se encuentran: la reproducción rápida y con formato grande; la nitidez y la falta de necesidad de cuarto oscuro.

La incapacidad de obtener ampliaciones o reducciones, las deformaciones debidas al proceso de secado, el color de las copias (azul) y la necesidad de un lugar ventilado son algunas de las limitaciones de este sistema.

5.2.2.4. Copias Diazo

La reproducción Diazo se basa en el mismo principio que las copias heliográficas pero utiliza el plástico sensibilizado en vez de papel. El plástico otorga una mayor estabilidad dimensional al documento.

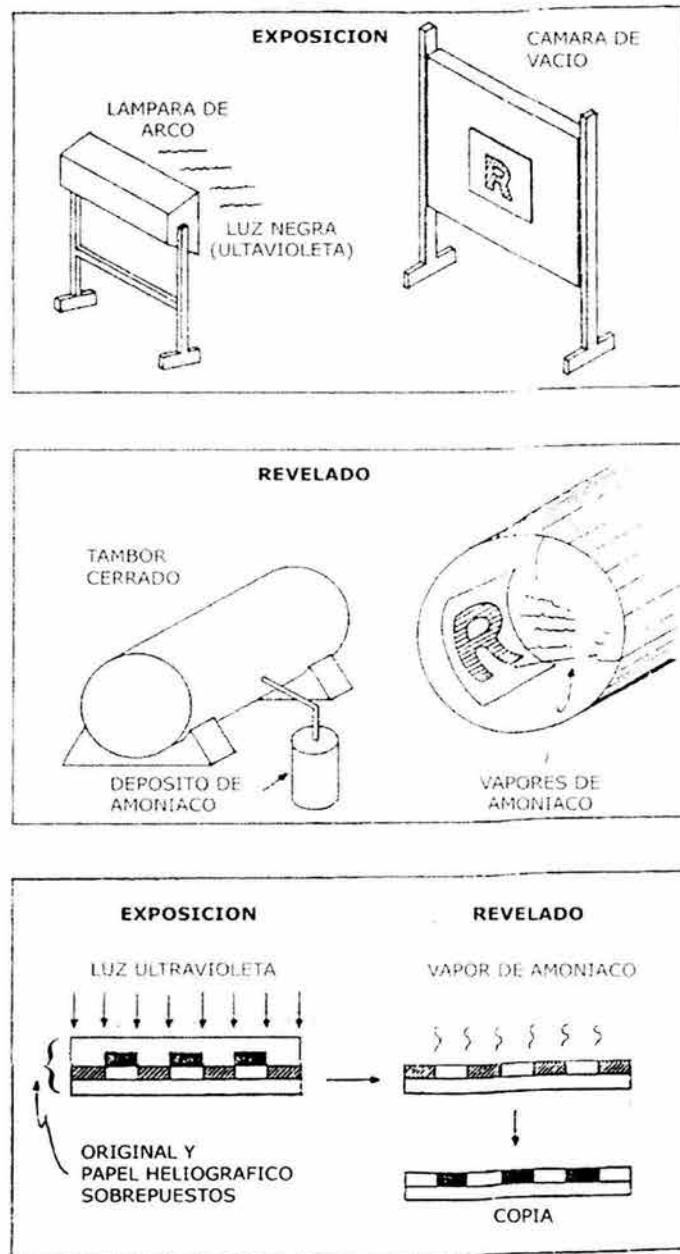


Fig. 5.6 Proceso de exposición y revelado de las copias heliográficas y diazo
Fuente: Enrique Salazar. Edición y Reproducción de Mapas. Pág. 19

La luz atraviesa las zonas del mapa que no contienen imagen y descompone a la emulsión sensible; en tanto que los trazos opacos, en donde el mapa sí tiene imagen, bloquean la luz.

En las reproducciones diazo el color ordinario es el azul (púrpura) al igual que las copias heliográficas; sin embargo, se hallan disponibles otros colores de procesado así como tonalidades variadas para el fondo.

Tanto las copias heliográficas como las diazo se pueden realizar para trabajos de línea y de medio tono, pero no de tono continuo.

5.2.2.5. Xerografía

Este sistema se basa en la impresión electrostática. Esta impresión parte de la propiedad que tienen los cuerpos no conductores de absorber las cargas electrostáticas.

“La xerografía se inicia proporcionando una carga positiva a una plancha de metal especial, que bajo la exposición del original a través de una lente, desaparece en aquellas zonas sin imagen sujetas a la luz. La superficie restante cargada positivamente constituye una imagen latente que se revela mediante un tóner de polvo negro cargado negativamente que se adhiere al área de imagen.”¹⁰⁰ Hay que tener en cuenta que las cargas eléctricas opuestas se atraen. El papel de reproducción también es cargado de manera positiva y se sitúa contra la plancha, entonces recibe la imagen del tóner por transferencia y éste es fijado mediante calor.

La xerografía puede proporcionar excelentes copias a un bajo costo debido a la ausencia de utilización de materiales químicos y sus consecuentes procesos de secado. La imagen puede copiarse en diversos tipos de papel, plástico, tela, metal o madera y es posible obtener cambios de escala debido al empleo de una lente.

El proceso xerográfico sólo puede reproducir formatos limitados y sólo puede reproducir imagen de línea. A continuación se presenta un esquema del sistema xerográfico.

¹⁰⁰ Robinson (*et. al.*). *op cit.* Pág. 448.

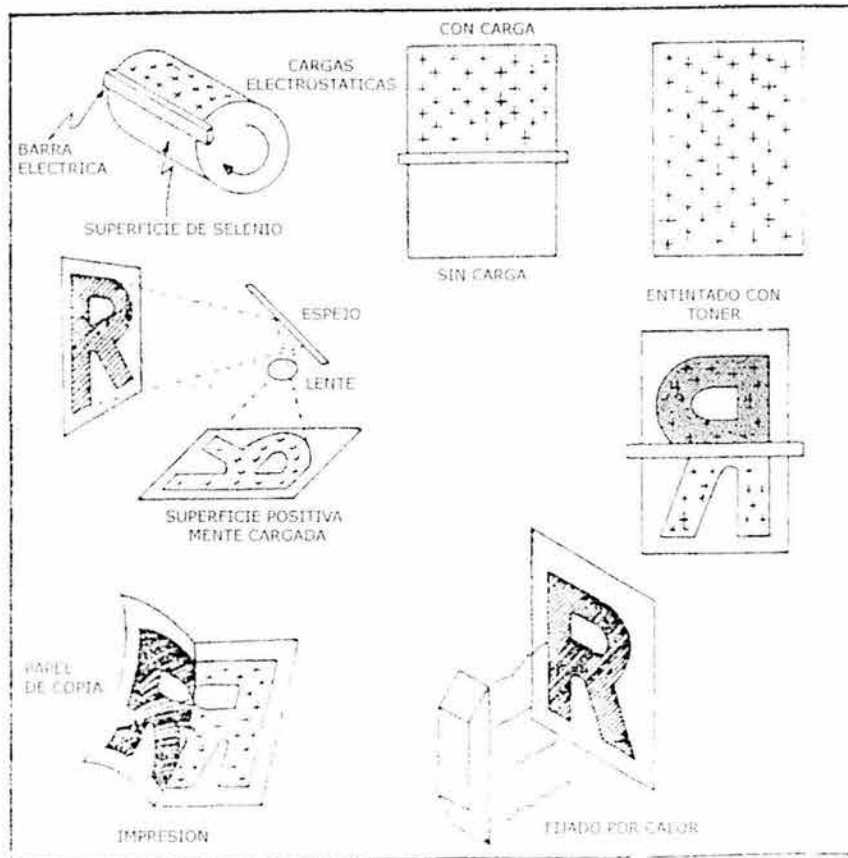


Fig. 5.7 Proceso de reproducción mediante el sistema de xerografía
Fuente: Enrique Salazar. Edición y Reproducción de Mapas. Pág. 22

La xerografía también posee la facultad de reproducir copias a color. El procedimiento es básicamente el mismo sólo que se utiliza una plancha para cada color primario sustractivos (cian, magenta y amarillo).

5.2.2.6. Pruebas de color

Además de la fotografía y de la xerografía, sistemas mediante los cuales se pueden obtener duplicados de pocas copias a color, existen otros sistemas que reciben el nombre genérico de pruebas de color.

Las pruebas de color se dividen en dos grupos: los procesos húmedos y los procesos secos, como el Chromalín, que otorga a los duplicados de la representación una uniformidad muy deseable, no presenta deformaciones y otorga la fidelidad de los colores; sin embargo el sistema es de muy alto costo.

5.2.2.7. Impresoras

Las impresoras son otro método para obtener una reproducción de un mapa cuando éste se haya en formato digital. Las impresoras operan sobre una base ráster, aunque el formato del que provengan sea vectorial. Existen dos tipos principales de impresoras:

- Impresoras de inyección de tinta. La información digitalizada en una computadora se usa para dirigir la tinta a través de diminutos canales para formar patrones alfanuméricos o de puntos a la vez que rocían la imagen sobre el papel.
- Impresoras láser. Las imágenes se crean electrostáticamente mezclando polvo de tinta seca en un tambor de metal, con el uso del rayo láser

5.2.3. Sistemas de impresión para copias múltiples

Los sistemas para reproducción masiva se caracterizan por llevar una placa de impresión, que es el elemento esencial para llevar la tinta al papel.

Los sistemas más usuales son:

- La imprenta
- El hueco-grabado
- La serigrafía
- La litografía (offset) ¹⁰¹

De ellos, la serigrafía se distingue por su adaptabilidad para la impresión en superficies no planas. Todos ellos requieren de una prensa, la cual puede ser plana, cilindro-plana, cilíndrica o rotativa; así, las tres primeras proporcionan el tiraje hoja por hoja mientras que la cuarta imprime un rollo de papel continuo que aumenta la velocidad de impresión.

¹⁰¹ Los sistemas de reproducción no son exclusivos de los mapas y cartas. La metodología de la imprenta y el huecogrado no son muy aplicables para lograr los fines cartográficos, es por ello que su desarrollo será muy breve, a diferencia de la litografía y la serigrafía, cuya metodología se adapta mejor para la reproducción de copias múltiples de mapas y cartas.

5.2.3.1. Imprenta

La imprenta se basa en el principio más obvio, que es el traslado de la tinta al papel. Las partes que desean imprimirse son realizadas (generalmente sobre una base metálica); así, el rodillo que contiene la tinta marca exclusivamente las partes realizadas o sobresalientes y se forma una imagen de lectura inversa, para que pase al papel de manera normal.

La imprenta se utiliza muy frecuentemente para la tipografía ya que los primeros trabajos fueron para los libros o textos; posteriormente se utilizó para imágenes de línea y medio tono. Consecutivamente con el avance tecnológico, electrónico, mecánico, óptico, químico, etc. la imprenta logró desarrollar sistemas autónomos como la fotocomposición, con lo que pudo competir con la litografía y el huecogrado. Aún así, el uso de este sistema de impresión con fines cartográficos es muy limitado.

5.2.3.2. Hueco-grabado

El funcionamiento es opuesto a la imprenta pues la tinta se transmite al papel por medio de huecos o alveolos.

La placa del hueco-grabado se realiza por medio de procedimientos fotoquímicos, en donde la imagen se expone y se revela sobre un metal, el cual es atacado por un ácido que, a su vez, desgasta al metal (por lo regular cobre o sus derivados) generando los huecos que deberán coincidir con la imagen deseada.

Existe un depósito de tinta la cual se deposita en los huecos del cilindro de cobre por medio de un rodillo entintador. Cuando el papel entra en contacto con el cilindro de cobre, la tinta sale de los alveolos debido a la gran presión a la que se somete.

La presión característica del hueco-grabado, hace que existan ligeros corrimientos en la imagen, es por ello que su uso para fines cartográficos no es recomendable. El hueco-grabado se utiliza muy frecuentemente para la impresión de bolsas de polietileno.

5.2.3.3. Litografía (offset)

La litografía¹⁰² ha desplazado por completo a los demás sistemas de reproducción; este sistema es el responsable de la gran mayoría de los mapas que se reproducen. El dominio se debe al bajo costo y la alta calidad que otorga ya que pueden reproducirse colores y líneas finas con una gran fidelidad, además que el sistema resulta ser muy conveniente para la reproducción de mapas de grandes magnitudes.

El offset se basa en el principio de que la grasa y el agua no se mezclan. Así, existe un rodillo alimentador de agua, otro que posee tinta y un cilindro recubierto de hule que recibe la imagen y la traslada al papel.



Fig. 5.8 Esquema de la reproducción por medio de la litografía
Fuente: Arthur Robinson (et. al)Elementos de Cartografía. Pág. 465

La litografía puede realizarse en un solo color o en colores múltiples. Por comodidad se considerarán estas dos facetas de manera separada.

Litografía de color único. La reproducción de los mapas a un solo color (generalmente negro) se realiza en varias etapas, dependiendo del formato en que se encuentre el registro: digital o analógico.

En el caso de que se disponga de un original digital (producto de la edición cartográfica), la exposición de la plancha se puede realizar directamente con las instrucciones adecuadas que

¹⁰² En el argot profesional es conocida como offset, de ahí su uso indistinto en esta investigación.

se proporcionan a la máquina. Así pues, se obtiene un original negativo que se elabora a la escala de la impresión deseada.

Si por el contrario se posee un original analógico positivo (también como resultado de la edición cartográfica), se debe transformar a negativo antes de la impresión. La conversión al negativo más novedosa se realiza por medio de un escáner electrónico que convierte el formato analógico al digital y entonces se procede como se describió en el párrafo anterior. El método más convencional es por medio de la fotografía, con la cual se obtiene una imagen negativa del original; no obstante, no se permite que el negativo tenga áreas grises como ocurre normalmente, ya que el offset no reproduce en tono continuo; en caso de que existan áreas grises deberán transformarse al formato de medio tono.

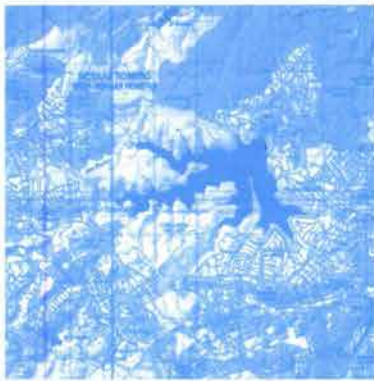
Litografía en color múltiple. La impresión en color no difiere mucho de la impresión en blanco y negro; excepto por la diversidad de tintas que se aplican en este proceso. Cada tinta requiere de una plancha de impresión independiente, lo que eleva los costos de la reproducción.

Básicamente existen dos sistemas de impresión a color en offset. El primero de ellos es el llamado *selección de color* que es empleado para la reproducción de fotografías e imágenes basándose en que la combinación de los colores primarios sustractivos (amarillo, cian y magenta), más el negro, pueden otorgar cualquier tonalidad posible. Si se posee un original analógico se debe separar por medio de filtros especiales o un escáner electrónico. Las planchas de impresión son medias tintas de cantidades variables para cada color primario sustractivo que al situarse cada una en su lugar y con la cantidad correspondiente, recrean la gama total de colores. Aparte se imprime la tinta en color negro, ya que la combinación de los tres colores primarios sustractivos no otorga un negro verdadero.



Fig. 5.9 Colores primarios sustractivos, más el negro

A continuación se indica por medio de figuras el procedimiento de la selección de color.



Tinta CYAN



Tinta MAGENTA



Tinta AMARILLA



Tinta NEGRA

Fig. 5.10 Proceso de la selección de color.

En las anteriores figuras se pueden apreciar (del lado izquierdo) las tres tintas de color que se requieren en la impresión por offset a ellas se les añade por último la tinta negra, y la totalidad de puntos impresos deberá quedar como lo muestra la figura 5.11.



Fig. 5.11 Carta con la impresión de las cuatro tintas del offset.

Del lado derecho de la figura 5.10 se muestra la concentración de puntos que deberán imprimirse del color de la tinta; por ejemplo, los puntos del color cyan tienen una presencia más marcada en las presas, pero se deben combinar con unos puntos de color magenta para reproducir el color azul fielmente; en cambio, la presencia de tinta amarilla es casi nula en las presas, pero es la más marcada en las áreas urbanas, y es por ello que existen muchos puntos concentrados en la tinta amarilla en dichas zonas.

La aproximación fina de puntos en color cyan y amarillo proporciona la sensación visual del color verde; los puntos en color cyan y en magenta recrean el color azul; por último, los puntos amarillos y magentas evocan el color rojo. Ello se puede apreciar de mejor manera con el cubo de color que se muestra a continuación:

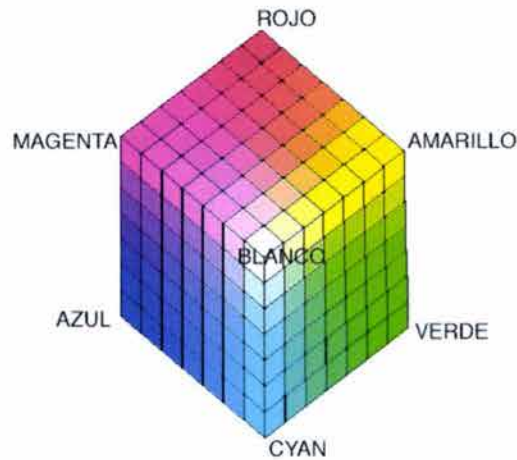


Fig. 5.12 El cubo de color

El color rojo, el azul y el verde son los tres colores primarios aditivos y a partir de ellos se pueden tener los colores más oscuros hasta llegar al negro.

El segundo sistema de impresión es el denominado *separación de color*, que es el que se utiliza para la reproducción de mapas de línea. Los mapas de línea requieren de mayor precisión al momento del registro, lo cual es muy difícil de lograr. El método consiste en separar cada uno de los colores contenidos en la carta de modo que cada uno de ellos se imprima con una tinta mezclada con anterioridad basada en la combinación de las cuatro tintas. Existe un amplio repertorio de colores para esta impresión los cuales tienen números descriptivos que los identifican del resto, este sistema de colores para la impresión se denomina PANTONE® Matching System. Los colores PANTONE son más de 500 y hoy día son el patrón para la industria de la impresión. El empleo del sistema de la *separación de color* se recomienda para aquellas cartas en las que existan más de una docena de colores por utilizar.

En general las cartas geográficas básicas que edita el INEGI presentan cinco colores: en amarillo se encuentran resaltadas las zonas urbanas; en azul se presentan todos los rasgos hidrográficos y sus nombres, la cuadrícula UTM (tanto en el dátum NAD 27 como en el ITRF92), y los valores de la cuadrícula al margen de la carta; en verde las zonas de vegetación; en sepia las curvas de nivel (tanto maestras como ordinarias) y sus valores correspondientes; y en negro se describen las vías de comunicación terrestres, líneas de conducción, puntos geodésicos, rasgos culturales y la gran mayoría de la tipografía (sólo se exceptúa la tipografía correspondiente a los rasgos hidrográficos que poseen color azul). El negro además se utiliza

para señalar la gradícula y sus valores al margen de la carta, los propios márgenes, título y escala de la carta.¹⁰³

A continuación se muestra una serie de figuras correspondientes a un mismo fragmento de una carta geográfica hipotética. Las cinco primeras imágenes corresponden a la separación de cada uno de los colores que se encuentran presentes y la última imagen corresponde a la carta geográfica final.

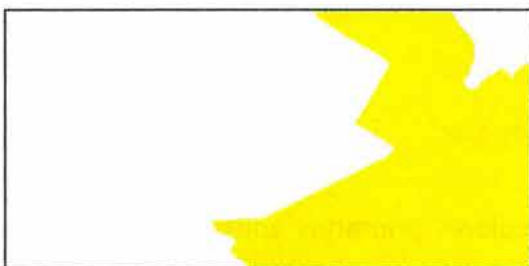


Fig. 5.13 (a) Separación del color amarillo

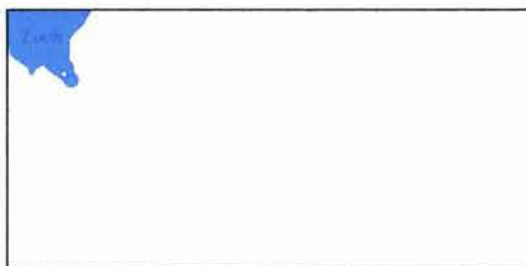


Fig. 5.13 (b) Separación del color azul y sus tonalidades

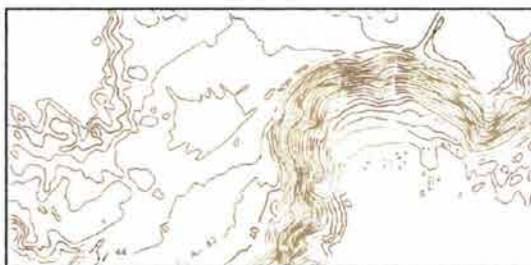


Fig. 5.13 (c) Separación del color sepia



Fig. 5.13 (d) Separación del color verde



Fig. 5.13 (e) Separación del color negro



Fig. 5.13 (f) Carta final

¹⁰³ Las cartas más recientes poseen tonos en color gris (color que se aplica con la tinta negra) y corresponden al modelo digital de elevación empleado para la representación sombreada del relieve.

De regreso al mecanismo de la litografía, una vez revelada la plancha, se procede a situarla sobre la prensa. La plancha se divide en áreas con imagen y áreas sin imagen, las áreas con imagen se impregnan de tinta, mientras que las áreas sin imagen contienen agua (de ahí la importancia de no manejar tonos continuos en litografía). La plancha debe tener lectura normal, porque una vez impregnada de tinta y agua, se transfiere a otro cilindro denominado *mantilla* que es de caucho suave y es el encargado de llevar la imagen al papel, que debe ser suave y absorbente.

Las prensas más antiguas limitaban la impresión a una sola tinta en cada tiraje; sin embargo, las más modernas pueden proporcionar dos, cuatro o seis tintas organizadas para imprimir todos los colores en una sola pasada. Estas máquinas son las más recomendables para las cartas multicolores.

5.2.3.4. Serigrafía

La serigrafía se refiere al sistema de impresión, derivado de la antigua técnica de estarcido, que utiliza como matriz un marco con una malla abierta en ciertas zonas, que es la imagen a imprimir, y cerradas en otras. Este sistema es mucho menos utilizado que la litografía para los fines cartográficos.

Para realizar la reproducción de una carta por medio de la serigrafía se debe realizar la *separación de colores* (si se trata de una carta multicolor) y a cada uno de los colores aislados se les dibuja una silueta; es decir que independientemente del color que vayan a tener, cada color separado se trazará en negro en imagen de línea.

Las mallas características de la serigrafía se montan en un bastidor y se tensan. A ellas se les aplica una emulsión la cual se dejará impregnar en la malla para que luego se coloque encima del dibujo de línea en negro. Las figuras siguientes muestran el proceso mediante el cual la imagen de línea en silueta se plasma sobre la malla emulsionada con el auxilio de una luz amarilla especial. Este procedimiento es conocido como *fotograbado*.

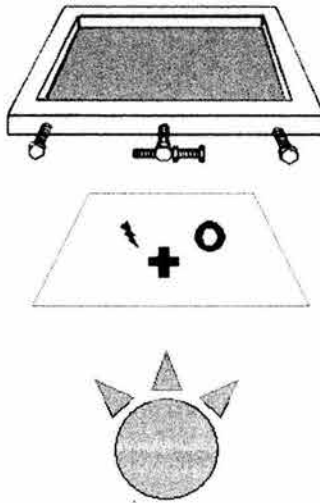


Fig. 5.14 Fijación de la imagen deseada en la malla de serigrafía

El fotograbado es un proceso fotoquímico que ofrece una óptima definición de la imagen. Este es el sistema de mayor precisión, rapidez y el de más amplia utilización pues permite reproducir líneas finas, tramados, textos, fondos etc. con un equipamiento básico de: emulsión, sistema de contacto y equipo de exposición.

La luz amarilla fija la emulsión sobre la maya; sin embargo, las zonas donde se encuentra la imagen de línea impiden el paso de los rayos luminosos, de tal manera que cuando la maya se lava a presión, la emulsión no fijada se despegue de la malla, y el bastidor queda como se muestra a continuación:

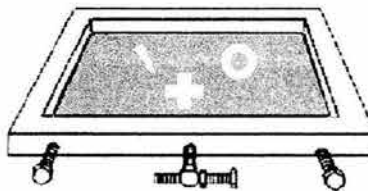


Fig. 5.15 Bastidor listo para la impresión

Las zonas azules (donde se encuentra la emulsión fijada) impedirán, en un futuro, el paso de la tinta ya que son zonas cerradas, mientras que las zonas blancas son zonas abiertas para la impresión de la tinta o pintura que puede ser de cualquier color como se muestra a continuación.

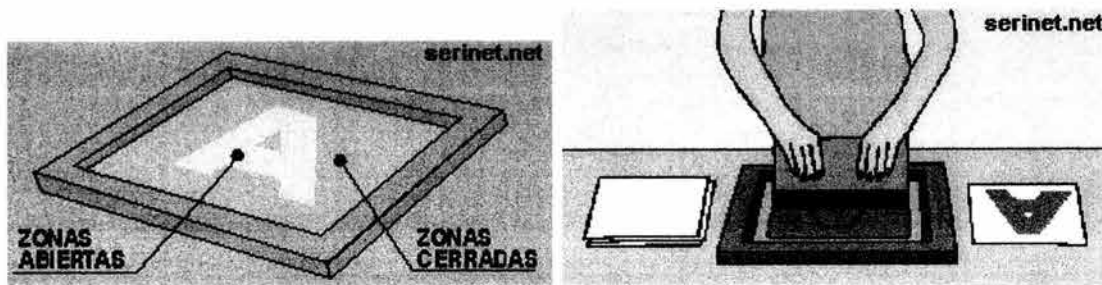


Fig. 5.16 Impresión por el sistema de serigrafía

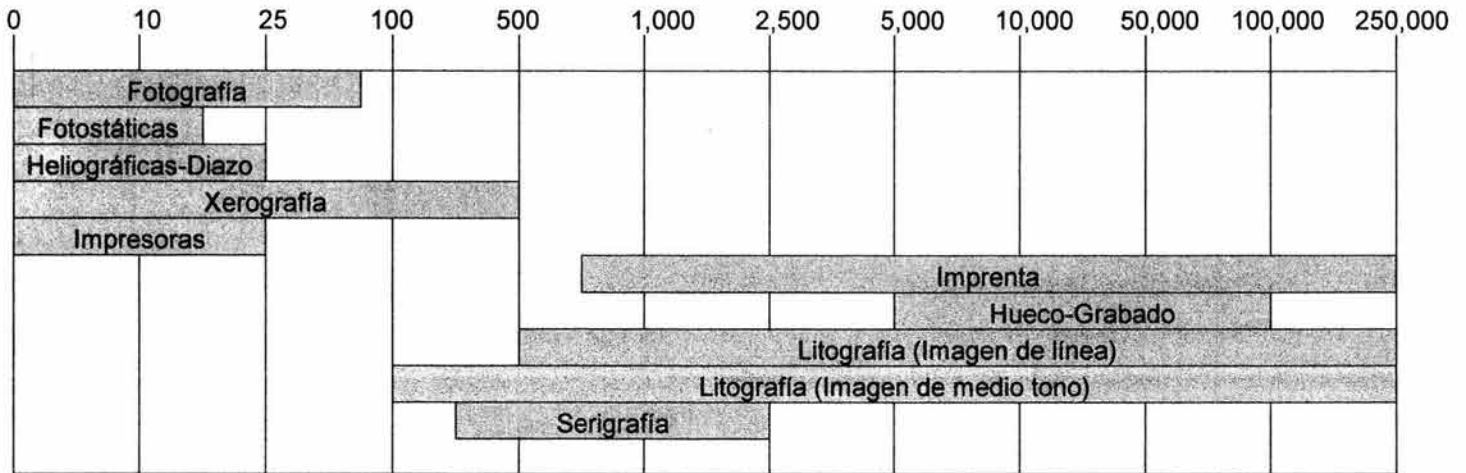
La tinta, que posee cierta densidad, es arrastrada y presionada por una espátula de goma llamada racleta, atravesando la malla y depositándose sobre el papel de impresión.

Cuando la carta es monocromática, la hoja se imprime y se deja secar; en cambio, si se trata de una carta policromática se deja en el mismo lugar y los distintos bastidores (uno para cada tinta diferente) tendrán que pasarse sobre el papel haciendo que los registros coincidan. En general, en serigrafía es muy difícil lograr una coincidencia perfecta de los registros, aunque un aparato denominado popularmente "pulpo", es capaz de contener diversos bastidores en sus brazos, los cuales rotan para que el bastidor se pueda colocar sobre el papel, este aparato brinda una excelente ayuda para el fin de la coincidencia de registros.

La serigrafía no es de ninguna manera un proceso burdo o rudimentario, actualmente existen varios tipos de bastidores (de madera, de metal y auto-tensantes) que hacen posible la tensión de la malla; también de ellas (las mallas) existen diversos tipos como las sintéticas y las metálicas, las cuales tienen distintos grosores en sus hilos y aberturas entre ellos para lograr una mayor resolución de la tipografía y los detalles finos.

El diagrama* que se presenta a continuación muestra los sistemas de reproducción tratados en esta investigación en relación con el tiraje recomendado para cada uno de ellos en función de los costos.

Número de ejemplares



* Tomado de Enrique Salazar Sánchez. *Edición y Reproducción de Mapas*. Pág. 40.

Conclusiones

La edición y la reproducción cartográfica se realizan con la finalidad de materializar las investigaciones que se llevaron a cabo y darlas a conocer al público en general, y muy particularmente a todas las personas interesadas o relacionadas con la geografía, la cartografía y las disciplinas afines.

La edición y reproducción de las cartas geográficas es eminentemente práctica; sin embargo, el estudio teórico otorga una buena base para el conocimiento, comprensión y aplicación de las técnicas diversas.

La edición cartográfica es un trabajo que está en manos directas del cartógrafo; no obstante debe ser auxiliado por diseñadores que ayuden a comunicar de mejor manera las investigaciones, y que faculten al mapa para una mejor lectura. La reproducción cartográfica, por su parte, no es un trabajo que dependa directamente del cartógrafo, ella es realizada por los impresores y por especialistas en óptica, mecánica, química y otras disciplinas.

Los temas tratados a lo largo del capítulo son muy específicos y pueden causar confusión al geógrafo; sin embargo, son de su interés puesto que tienen mucha aplicación en la vida práctica.

La edición y la reproducción de las cartas son los últimos pasos en la elaboración de las cartas geográficas y los mapas. En este momento resulta muy conveniente destacar que dichos procesos deben ser realizados de manera muy cuidadosa, ya que de lo contrario pueden ocasionar que el mapa pierda la precisión y la claridad que se había venido buscando durante la toma de fotografías, la obtención del control terrestre, la aerotriangulación y restitución fotogramétrica.

Actualmente, México tiene una gran capacidad de producción de mapas y cartas geográficas; incluso es superior a la de países con gran tradición cartográfica, ya que estos temas se han convertido en una práctica profesional, continua y con una metodología precisa; es por ello que los resultados han sido muy satisfactorios y han provocado una mayor demanda por parte del usuario.

Es el usuario es quien evalúa la edición de las cartas y los mapas, quien promueve o no su elaboración y quien, indirectamente, conduce a una revisión más profunda de los aspectos teóricos de la cartografía; en síntesis, el usuario es quien retroalimenta a la cartografía.

C ONCLUSIONES GENERALES

En la presente tesis se han expuesto de manera muy puntual cada una de las etapas para la confección de cualquier carta geográfica. En ellas se proporcionaron diversas alternativas que llevarán al geógrafo a obtener una carta geográfica confiable según la finalidad perseguida y los recursos disponibles. Así pues, están expuestos los métodos clásicos o tradicionales que otorgan los principios fundamentales en los que se basan las técnicas más modernas apoyadas en la tecnología digital, y que también se encuentran discutidas.

De manera resumida, cabe destacar que las etapas para la elaboración de una carta empiezan con la planeación cartográfica, en donde se selecciona el área por cartografiar, se establecen los objetivos, el presupuesto, la escala y la proyección del documento; posteriormente se realiza un levantamiento fotográfico, ya sea en imágenes de fotografía aérea (o de satélite, en su caso)¹⁰⁴; por otra parte, se hace necesario un levantamiento terrestre para que las imágenes obtenidas se puedan georreferenciar y algunos puntos de ellas queden fijados de tal manera que los demás detalles de interés cartográfico queden bien situados en los procesos posteriores de la aerotriangulación y la restitución fotogramétrica; por último las cartas entran a los procesos de edición y reproducción en los cuales los detalles seleccionados y correctamente ubicados pasarán por diversos procesos técnicos a fin de materializar la carta.

Cuando la carta está finalizada se analiza a fin de validar la información plasmada; asimismo se verifica el cumplimiento de los objetivos señalados desde un principio y se programa la difusión y la distribución de los documentos para que lleguen al usuario, quien se encarga de retroalimentar a la cartografía realizada, de esta manera se puede mejorar en una edición posterior.

¹⁰⁴ En la presente investigación sólo se trataron las cartas realizadas por métodos fotogramétricos en virtud de que las fotografías aéreas otorgan representaciones de mayor escala, que son más deseables para las cartas geográficas; en cambio, los mapas resultantes de las imágenes de satélite tienden a tener representaciones con escalas más chicas; no obstante, existen imágenes de satélite con una mayor resolución espacial que pueden alcanzar escalas hasta de 1:10,000. Las imágenes de satélite también tienen procesos de rectificación englobados bajo el concepto corrección geométrica que modifican la perspectiva de la representación; sin embargo dichos procesos son automatizados.

Los documentos cartográficos elaborados siempre deben comprender los cinco enfoques que la Cartografía tiene por naturaleza, y que Robinson (et. al.) señala en el libro "Elementos de Cartografía": ¹⁰⁵

- Enfoque geométrico. La finalidad de la creación de un modelo cartográfico contempla de manera primordial su uso métrico y de análisis; es decir, lo que se espera de una carta geográfica es la posibilidad de realizar mediciones sobre ella, (la precisión de dichas mediciones estará de acuerdo con la escala) muy semejantes a lo que se obtendría si se estuvieran realizando directamente sobre el terreno. Por lo tanto, el énfasis de este enfoque se refiere a la exactitud métrica.
- Enfoque tecnológico. En este punto de vista se pretende ubicar a la carta geográfica como un documento capaz de almacenar una gran cantidad de información ordenada espacialmente. En este enfoque se pretende mejorar la eficacia de los mapas y para ello es necesario atender a las innovaciones técnicas que otorgan fluidez en la elaboración de las cartas, siendo prioritario el aumento en el volumen de documentos, y la velocidad de producción y al mismo tiempo la disminución en costos. En esta investigación se ha visto como las técnicas manuales se sustituyeron por las tecnologías óptico-mecánicas, y éstas a su vez con las por los métodos electrónicos que han revolucionado la confección de mapas; y todo ello sucedió para alcanzar la finalidad de mejorar la eficacia de los mapas.
- Enfoque de presentación. Los cartógrafos, una vez auxiliados con tecnología avanzada, en ocasiones cometen la equivocación de aplicarla con todas sus posibilidades afectando la legibilidad del documento. En este enfoque se pretende situar al documento cartográfico como la parte medular de un trabajo de investigación; sin embargo no es posible cartografiar con todo detalle los resultados, habrá que generalizarlos y representarlos mediante símbolos. El enfoque de presentación, en este sentido, limita a la tecnología.
- Enfoque artístico. Consiste en emplear adecuadamente las cualidades visuales de los mapas; es decir que los colores, entramados, líneas, rótulos, etc. sean capaces de evocar las impresiones y sensaciones adecuadas. Con este enfoque -el cual no posee reglas fijas o razones verbales o numéricas- los mapas adquieren vitalidad; la característica principal

¹⁰⁵ Robinson (et. al) op cit. Págs. 11-16.

del enfoque es la expresión creativa, la inspiración e incluso la intuición, que serán mucho mejores entre más experiencia creativa se posea.

- Enfoque de comunicación. Los documentos cartográficos están planeados para expresar gráficamente los hechos y fenómenos que ocurren en la superficie. Así pues, este enfoque se centra en el cartógrafo logre la comunicación con el usuario de un manera eficaz, a pesar de las grandes transformaciones que sufre la información desde el medio ambiente geográfico (imagen real) hasta la expresión de dicha realidad por medio de símbolos (imagen del mapa). La comunicación entre el cartógrafo y el usuario (que se establece por medio del mapa) no depende únicamente de la habilidad del primero; también se sujeta a la experiencia, habilidad e interés del usuario.

En la investigación presentada, se hizo hincapié en la importancia de los datos de la cartografía básica. En épocas recientes, con la inclusión de los SIG, los mapas temáticos han tenido mucho auge; sin embargo, Robinson (et. al.) advierte que los datos de la cartografía básica otorgan a toda representación un marco de información geográfica. La cartografía temática representa los detalles de algún aspecto geográfico, pero ellos deben representarse sobre una base sólida que les otorgue el aspecto científico.

La elaboración de cartas geográficas es un proceso relativamente largo, y los mejores resultados se obtienen con la práctica; no obstante, el bagaje teórico es muy necesario para que se adquiriera una buena comprensión de los procesos implicados, y por consiguiente la realización de una carta geográfica en el ámbito práctico tendrá más éxito. El riesgo de la profundización en el aspecto teórico es la confusión, inclusive la hostilidad que puede causar al geógrafo el conocimiento de otras ramas científicas, que en un primer momento pareciera que se alejan de la disciplina geográfica.

Es necesario destacar que la Geografía es una ciencia multidisciplinaria, que en la búsqueda de sus finalidades comienza a interiorizarse en otros campos de la ciencia. La cartografía es una disciplina auxiliar de la geografía cuya finalidad es la representación de la Tierra por medio de algún documento cartográfico (mapas, cartas o planos); así pues, la cartografía se ayuda de la Topografía, la Geodesia, la Astronomía y la Fotogrametría, que a su vez se relaciona con la Aeronáutica y la Fotografía; por otro lado, la Cartografía se apoya en el Diseño Gráfico con el fin de lograr la mejor manera de comunicar los datos representados que son eminentemente gráficos.

La abundancia de información presentada en esta tesis u otras fuentes, no deben truncar el interés del geógrafo por conocer los temas diversos; antes bien, se deberá distinguir la información que sea útil, relacionarla y orientarla hacia sus finalidades ya que la Geografía es una ciencia de síntesis, entendiendo dicho concepto como la conjunción de cada una de las partes para consolidar un todo.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY AND REMOTE SENSING. (1986). *Contracting for mapping services. (Part II)*. USA: The American Congress on Surveying and Mapping.

AROCHA REYES. (1978). *Fundamentos de Cartografía*. Caracas.

BETANCOURT ARCE, Roberto. (1985). *Topografía General*. México: CECSA.

BONNEVAL, Herni. (1972). *Photogrammétrie Générale. T3: Levés Topographiques par Photogrammétrie Aérienne*. Francia: Editions Eyrolles.

BRINKER, Russell C. y WOLF, Paul R. (1982). *Topografía Moderna*. México: Harla

CAIRE LOMELÍ, Jorge. (2002). *Cartografía Básica*. México: Facultad de Filosofía y Letras

————— (1977). *Fotogrametría I. Fotogrametría Terrestre*. México: Edit. Rodríguez.

————— (2003). *Fotogrametría Aérea*. México: Edit. Rodríguez.

————— (1974). "La Geodesia en el Mundo y en México" En: *Anuario de Geografía No. XIV*. México: Facultad de Filosofía y Letras

————— (1977). *La Proyección Cartográfica para la República Mexicana*. México: UNAM.

CAIRE VEGA Luis Gabriel. (1981). *Obtención del Control Terrestre para la Elaboración de Cartas Geográficas*. Tesis de Lic. México: UNAM.

CARL-OLOF, Ternryd (1982). *Topografía y Fotogrametría en la Práctica Moderna*. México: CECSA.

- CÁZARES HERNÁNDEZ, Laura (et. al.) (1997). *Técnicas Actuales de Investigación Documental*. México: Trillas-UAM.
- COMPAÑÍA MEXICANA AEROFOTO, (S.A.N.D.). *Factibilidad de vuelos en la República Mexicana*. México.
- CÓRDOBA RENDÓN, Griselda. (1977). *Control Primario para la Elaboración de Cartas Geográficas*. Tesis de Lic. México: UNAM.
- CORRAL MEDRANO, Luis; ESTRADA E., José y ECHAVERRI Pérez, Jaime. (1994). *Primer Curso de Fotogrametría*. México: COFAA-IPN.
- CHIMAL MONROY, Sergio Gregorio. (1998). *La Cartografía en México: Pasado, Presente y Futuro*. Tesis de Lic. México: UNAM.
- ECKERT, G. M. (1961). *Cartografía*. México: UTHEA
- ERRAZURIZ K., Ana y GONZÁLEZ L., José Ignacio. (1992). *Proyecciones Cartográficas. Manejo y Uso*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- GALARZA, Joaquín. (1990). *Amatl Amoxtlí. El papel el libro. Los códices mesoamericanos. Guía para la introducción al estudio del material pictográfico indígena*. México: TAVA.
- GARCÍA MÁRQUEZ, Fernando. (1994). *Curso Básico de Topografía, Planimetría, Agrimensura y Altimetría*. México: Ed. Árbol.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Edelmira. (1975). *Estudios de Planeación y Uso del Catastro Urbano*. Tesis de Doctorado. México: UNAM.
- HERNÁNDEZ NAVARRO, Antonio. (2000). *Proyecciones Cartográficas Conformes*. Revista Cartográfica No. 70. México: IPGH.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (1981) *Atlas Nacional del Medio Físico Esc. 1:1,000,000*. México: INEGI

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA. (1966). *Manual de Levantamientos Geodésicos*. Washington: IPGH.

————— (1986). *Glosario de Términos Cartográficos y Fotogramétricos*. México: Internacional.

JOLY, F. (1979). *La Cartografía*. Barcelona: Ariel.

MARTÍN LÓPEZ, José. (1999). *Cartografía*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.

MEDINA PERALTA, Manuel. (1974). *Elementos de Astronomía de Posición*. México: LIMUSA.

————— (1974). *Introducción a la Geodesia Geométrica y Técnicas de Operaciones de Campo*. México: LIMUSA.

MEHL, Harold y MIES, Erich. (1997). *Aplicación de la teledetección de los Sistemas de Información geográfica en la gestión de recursos naturales. Parte 1: Fundamentos Teóricos y Prácticos*. Zschortau, Ale.: DSE

MERLÁN CHÁVEZ, Bernabé. (1995). *El Proceso de Generación de Cartografía Ejidal Elaborada por INEGI en Función del PROCEDE*. Tesis de Lic. México: UNAM.

MOFFIT, Francis H. (1964). *Photogrammetry*. Pennsylvania, EUA.: International Textbook Company.

MONTES DE OCA, Miguel. (1969). *Topografía*. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería. S.A.

MORALES MARTÍNEZ, Lidia. (2001). *La escala como elemento del mapa*. Tesis de Lic. México: UNAM.

PALOMINO CABAÑAS, Hilario. (1999). *Una visión de Geodesia con GPS desde la Geografía*. Tesis de Lic. México: UNAM

PLATA RODRÍGUEZ, Eduardo. (1987). *Fundamentos de Cartografía en los Recursos Naturales*. Colombia: Universidad de Santo Tomás (USTA)

RAISZ, Erwin. (1985). *Cartografía General*. Barcelona: Omega.

ROBINSON, Arthur, (et. al.) (1987). *Elementos de Cartografía*. Barcelona: Omega.

SALAZAR SÁNCHEZ, Enrique. (1982). *Edición y Reproducción de Mapas*. México: UNAM

SALITCHEV, Konstantin A. (1979). *Cartografía*. La Habana: Pueblo y Educación.

SÁNCHEZ TORRES, Dolores. (1980). *Cartografía de la Isla Isabel*. Tesis de Lic. México: UNAM.

SCHMIDT, Milton O. Y RAYNER William Horace. (1983). *Fundamentos de Topografía*. México. CECSA.

SCHWIDEFSKY, K. (1960). *Fotogrametría Terrestre y Aérea*. Barcelona: Labor.

SIFUENTES R., Francisco Javier y Vásquez A., Ricardo. (1997). *Introducción a la Fotogrametría*. México: Trillas.

TRABULSE, Elías. (1994). *Historia de la Ciencia en México*. México: Fondo de Cultura Económica.

VALDÉS DOMÉNECH, Francisco. (1989). *Prácticas de Topografía, Cartografía y Fotogrametría*. Barcelona: Biblioteca del Topógrafo.

- Diario Oficial. (Viernes 29 de Marzo de 1985)
- Diario Oficial. (Lunes 1º de Abril de 1985)

Fuentes electrónicas

AEROTERRA, S.A. (2000). *Aerofotogrametría y Sensores de Vuelo*. Argentina.

<http://www.aeroterra.com/HTMs/RelAereos.htm>

ANDARINES. (2002). *Mapas / Curvas de Nivel*. España

<http://www.andarines.com/orientacion/curvasde%20nivel.htm>

Apéndice B. Proyecciones Cartográficas para el programa ERDAS Imagine.

http://support.erdas.com/documentation/files/spanish_field_guide/B_proyecciones_cartograficas.pdf

AUTOMETRIC, INC. (2002). EUA. <http://www.autometric.com>

CARTODATA S.A. DE C.V. (2002). México.

<http://www.cartodata.com/productos/au3/especificaciones.php?phpsesid=3bff6fac57e0382eb04dae274aa7922h>

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. (2001). *Estereoscopia*.

<http://www.ciar.cgiar.org/dtmradar/estereoscopia-parafaje.htm>

CUARTERO SAEZ, Aurora. (2001). *Sistemas Fotogramétricos Digitales*. España, Universidad de Extremadura. http://www.unex.es/geodesia/fod/FDTema_03.pdf

EJÉRCITO NACIONAL. (2002). *Tercera División: Fotogrametría*. Uruguay.

<http://www.ejercito.mil.uy/cal/sgm/foto3.htm>

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. España.

<http://nivel.euitto.upm.es/E/Escuela/Patrimonio/Instrum/Restitu>

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES. (2001). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

<http://ambiental.utp.edu.co>

GALLO, Guillermo M. (2001) *Fotogrametría Digital. Fundamentos y Justificación*. LH Systems.
http://www.lh-systems.com/espanol/pdfs/FD_Intro.pdf

————— (2001). *Sistemas de Cámara Aérea LH Systems de Última Generación*. LH Systems.
<http://www.lh-systems.com/espanol/pdfs/RC30.pdf>

GENERALITAT VALENCIANA. (2003). *Glosario de Términos Cartográficos*. España.
<http://www.gva.es/icv/GLOSARIO.HTM>

GEOVIRTUAL S.L. (2003). España <http://www.geovirtual.es/edit/favert.html>

INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE CATALUÑA. (1999). *La Producción de Ortofotos Digitales en el ICC*. España. http://www.icc.es/bienni9900/cartografia/orto_dig.pdf

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. (2002). *Fotogrametría*. España.
<http://www.mifom.es/ign/fotogrametria/inicial.html>

INSTITUTO DE INFORMACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO DE JALISCO. (2001). México.
<http://itl.jalisco.gob.mx/Definiciones/difinfoaerea.html>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. (2003). *Bases para la cartografía. Las cartas geográficas o mapas*. México
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/marcotop/bases/bases.cfm?c=235>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (2001). *La Cartografía Nacional. Una Breve Retrospectiva*. México.
<http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/bvinegi/infogeo/geo1w.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (2004). *Fotografía Aérea*. México.
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/fotoaer/fotoaerea.cfm?c=204&e=28>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (1998). *Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos*. México
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/infogeodesia/ntg1998.PDF>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (2003). *Solicitud para Realizar Levantamientos Aéreos de Información Geográfica por parte de Personas Físicas o Morales, Nacionales o Extranjeras*. México.
<http://inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/transp/la01dof.asp?c=452>

LINTEK, S.A. (2002). *Restitución Fotogramétrica Digital 2D y 3D*. Argentina.
http://www.grupoclave.com/Aplicaciones/geo-restit_es.htm

LÓPEZ CHÁVEZ, María Guadalupe (1999). *Normas Técnicas para levantamientos Aerofotográficos*. INEGI, México.
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/proyecto/fotoaerea/menu.cfm?c=238>

MALLORCAWEB. (2002). *El Plano*. España.
http://www.mallorcaweb.net/adom/qua_es_orient1.html#curvas%20de%20nivel

MERRICK & COMPANY. (2002). *Aerotriangulación Completamente Analítica (FAAT)*. EUA.
<http://www.merrick.com/servicios/gis/espanol/faat.asp>

RED ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN NACIONAL. (2000). *Fotogrametría Aérea y de Objetos Cercanos*. España. <http://www.rediris.es/list/info/fotogrametria.html>

SERVICIO AEROFOTOGRAMÉTRICO. FUERZA AÉREA DE CHILE. (2003). *Fotogrametría*. Chile.
http://www.saf.cl/interior/educacion/educacion/fotoaerea_05.htm

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA S.A. (2003). *GPS*. México.
<http://www.geocentro.com>

SISTEMAS AVANZADOS Y PROYECTOS S.A. DE C.V. (2002) México.
<http://www.virtuozo.com.mx>

Z/I Imaging Corporation (2002). *Imagestation 2002*. EUA.

<http://www.ziimagind.com/productPages/pdfs/Imagestation2002.pdf>

Folletos Publicitarios

- Leica, S.A. de C.V. Porfirio Díaz Pte. México D.F. Año 1996.
- Leica, S.A. de C.V. Porfirio Díaz Pte. México D.F. Año 1997.
- CartoData S.A. de C.V. AU3-Win

Achaflanar. Acomodo de mosaicos en fotogrametría. El biselado de las orillas o márgenes traslapados de las fotografías antes de montarlas para formar un mosaico a fin de que el apareamiento de las orillas de las fotografías sean menos perceptibles. Cuando se biselan las orillas de las fotografías traslapadas, las sombras y los contrapuntos pronunciados se eliminan.

Aerotriangulación. Procedimiento para la extensión del control horizontal y/o vertical por medio del cual las mediciones de los ángulos y/o distancias en las fotografías traslapadas se relacionan con una solución espacial empleando los principios de perspectiva de las fotografías.

Ajuste. Proceso diseñado para minimizar anomalías en cantidades medidas o calculadas por el empleo de correcciones derivadas para compensar errores fortuitos o accidentales.

Altitud. Distancia medida verticalmente desde un punto a la superficie de nivel de referencia que constituye el origen de las altitudes de los mapas topográficos.

Ángulo de campo de la imagen. Ángulo bajo el cual se ven nítidas las imágenes en cada distancia focal.

Ángulo horario. Distancia angular entre el meridiano del lugar y el círculo horario que pasa por el objeto celeste. Se mide en el plano del ecuador celeste.

Año sideral. Tiempo que le toma a la Tierra en dar una vuelta completa alrededor del Sol, respecto a las estrellas fijas. Su duración es de 365.25636 días.

Año trópico. Tiempo que transcurre entre los dos equinoccios o bien el tiempo que le toma al sol pasar (en su movimiento aparente) dos veces consecutivas por el primer punto de Aries. Su duración es de 365.24219 días.

Apoyo terrestre. Puntos ubicados en el terreno por su posición geográfica (latitud, longitud y altitud), que a su vez han localizado sobre el material aerofotográfico con miras a aportar un marco de control para la elaboración de algún tipo de mapa base.

Azimut. Distancia angular medida hacia el Este, desde el Norte geográfico, hasta el punto definido por la intersección con el horizonte del círculo vertical que pasa por un objeto celeste.

Banqueo o Balanceo. Es el ángulo formado por el eje transversal del avión y la vertical del lugar.

Base. En geodesia, una medida muy precisa, tomada desde el terreno, que sirve para las operaciones de triangulación.

Base fotográfica. Distancia entre los puntos principales de dos tomas sucesivas en una serie de fotografías aéreas verticales.

Cabeceo o Inclinación del avión. Es el ángulo de inclinación del eje longitudinal del avión y la línea de vuelo (horizontal).

Cámara de horizonte. Cámaras pequeñas con el eje óptico vertical y con un prisma que fotografía el horizonte para obtener los datos de inclinación. Este aparato auxiliar toma cuatro fotografías perpendiculares entre sí y en sincronía con cada exposición de la cámara aérea.

Carta base. El mapa o la carta matriz que se emplea para ser reproducida tantas veces como temas por representar.

Cartografía. Ciencia técnica y arte que tiene por objeto la realización de mapas, y comprende el conjunto de estudios y técnicas que intervienen en su establecimiento.

Cartografía Automatizada. Proceso de elaboración de cartografía mediante software informático de edición.

Catastro. Registro de propiedad territorial, rústica o urbana, acompañado de la documentación cartográfica que identifica, describe y evalúa las propiedades inmobiliarias.

Centro de la fotografía. El indicado por la intersección de dos líneas normales trazadas a partir de imágenes de las marcas fiduciales de la cámara.

Cobertura. Superficie de un área representada en fotografías aéreas, fotomosaicos o mapas.

Colores primarios. Cada uno de los tres tonos, que cuando se mezclan en las proporciones adecuadas, pueden producir cualquier color. Los aditivos primarios (o luces) son el azul, el verde y el rojo; los sustractivos primarios (o pigmentos) son el cian, el magenta y el amarillo.

Compilación cartográfica. Reunión de los datos obtenidos en la práctica de la cartografía o bien de extractos de otras cartas, para formar una nueva que cumpla con ciertos requisitos.

Cono. Es el soporte del objetivo de las cámaras aéreas y posee en su interior las marcas fiduciales. Su coeficiente de dilatación es muy bajo a fin de mantener rígidos los componentes de la cámara que tienen alguna relación con él.

Control fotogramétrico. El control ubicado por algún tipo de método geométrico, también se le denomina "control auxiliar", "complementario" o "secundario".

Coordenadas geográficas. Cada uno de los tres elementos que sirven para la determinar la posición sobre la superficie de la Tierra: latitud, longitud y altitud.

Copia de contacto. Impresión que se obtiene exponiendo un material sensible en contacto directo con un negativo en positivo transparente. La imagen en este tipo de copias tiene las mismas medidas que la imagen del positivo o negativo.

Copiadora de contacto. Aparato que provee la iluminación y el medio para sostener y mantener el negativo en contacto con el material sensible durante la exposición.

Copiadora rectificadora. Instrumento de proyección óptica utilizado en proyectos de rectificación o enderezamiento de fotografías.

Corrección por semidiámetro. Corrección que se hace a los astros como la Luna o el Sol cuando no es posible dirigir la visual al centro del diámetro de dicho astro.

Corrección geométrica. Ajuste de la geometría de una imagen digital para su escalado, rotación, y corrección de otras distorsiones espaciales. También se puede considerar como la eliminación de los errores geométricos de una imagen, de tal manera que esté de acuerdo con un determinado sistema de coordenadas. Esto implica la creación de una nueva imagen digital por remuestreo de la imagen original.

Cota. Cifra que representa la altitud de un punto con respecto a la superficie de nivel de referencia.

Cuadrícula. Sistema de Referencia basado en una malla cuadrada, que se utiliza reglamentariamente en la cartografía oficial de un país.

Curva de nivel. Línea imaginaria sobre el terreno que une a todos los puntos que están a la misma elevación, sobre o debajo de una referencia específica.

Datum: Punto Fundamental del terreno, determinado por observación astronómica, con el que se enlazan los extremos de la base del primer triángulo de una cadena de triangulación y que sirve de origen a todas las coordenadas geográficas de la red.

Declinación astronómica. Distancia angular en la esfera celeste que se mide desde el ecuador celeste, a lo largo del círculo horario definido por el objeto celeste. Es positiva al Norte y negativa al Sur.

Declinación magnética. Distancia angular (en la República Mexicana hacia el Este) entre el norte verdadero y el norte magnético.

Deformación. En el sentido de las proyecciones cartográficas, es la que se observa al representar la esfera terrestre sobre un plano. Una de ellas es la deformación o variación que sufre la escala a lo largo de los paralelos y meridianos y que puede llegar en algunos casos a valores muy grandes.

Deriva. Es la desviación angular del eje longitudinal del avión y la línea de vuelo.

Desplazamiento por relieve. La diferencia en la posición de un punto sobre o debajo del plano de posición de ese punto, referido a la perspectiva de una fotografía aérea.

Diafragma. Elemento físico de un sistema óptico que sirve para regular la cantidad de luz que pasa a través del sistema.

Disponibilidad Selectiva: Degradación introducida deliberadamente por el Sector de Control de GPS, controlada a través del Plan Federal de Radionavegación de E.U.A., para reducir la precisión en los posicionamientos con GPS. La degradación se produce al introducir modificaciones en la información contenida en el mensaje de Navegación correspondiente al estado de los osciladores atómicos de los satélites, parámetros orbitales de la constelación e incremento en el ruido de la fase.

Distancia focal. Es la distancia perpendicular que va desde el nodo posterior de la lente de la cámara hasta el plano focal, cuando está enfocada al infinito. Las longitudes más usuales son: 88 mm en las cámaras súper gran angulares; 152 mm en las cámaras gran angulares y 310 mm para las cámaras normales.

Distancia zenital. Distancia angular de un cuerpo celeste, medida desde el zenit.

Distorsión (de las lentes). Aberración que afecta la posición de la imagen fuera del eje y se debe a que los objetos situados a distancias angulares distintas del eje sufren diferentes magnificaciones.

Ecuación del tiempo. Diferencia entre los ángulos horarios del sol verdadero y el Sol medio o ficticio. Diferencia entre el tiempo solar aparente y el tiempo solar medio.

Ecuador celeste. Proyección del ecuador de la Tierra en la bóveda celeste.

Efemérides. Conjunto de parámetros que describen las órbitas de los satélites, recalculados, con sus variaciones, sobre las órbitas predeterminadas y programadas en los sistemas de navegación de los satélites.

Eje fiducial. Línea que une dos marcas fiduciales en una fotografía aérea.

Eje óptico. Línea recta imaginaria que pasa a través de los centros de curvatura de las superficies de la lente.

Elipsoide de referencia. Superficie formada por la revolución de una elipse alrededor de su eje menor y usado como dato de comparación en levantamientos geodésicos del globo terrestre. Es la figura matemática que más se aproxima al Geoide, siendo sencilla de definir matemáticamente.

Emulsión. Una suspensión de sales de plata sensibles a la luz o ftopolímeros, en un medio coloidal que se utiliza para revestir las películas fotográficas.

Escala. Es la relación que existe entre las distancias tomadas en el mapa (o papel) y las correspondientes medidas en el terreno. Su propósito principal es permitir la representación de áreas grandes en documentos manejables.

Estatoscopio. Aparato que posee un barómetro que indica las diferencias de presión atmosférica en las distintas alturas. Con este aparato, el piloto puede guiarse para mantener constante la altitud del avión.

Estereoplanógrafo. Instrumento empleado para la restitución fotogramétrica. Generalmente se utiliza para la construcción de mapas fotogramétricos, a partir de pares fotográficos estereoscópicos aéreos o terrestres. También se utiliza para la elaboración de aerotriangulaciones.

Estereoscopia. Es la disciplina que trata de los efectos tridimensionales, mediante métodos con los cuales se pueden obtener tales efectos.

Estereoscopio. Instrumento compuesto por dos lentes montadas a una distancia equivalente a la de los ojos, utilizado para obtener la visión en tres dimensiones del terreno, a partir de un par de fotografías de la misma zona, tomadas desde dos ángulos distintos con zona de superposición.

Exposímetro. Es un regulador que ajusta de manera automática el tiempo de exposición, la sensibilidad de la película y el filtro.

Factor de escala. Es el factor por el cual el valor numérico de una distancia obtenida a partir de un mapa debe multiplicarse para obtener la distancia efectiva o real.

Fotografía aérea. Instantánea de la superficie terrestre o de cualquier otro cuerpo tomada verticalmente o con un ángulo determinado desde un avión u otro vehículo espacial.

Fotogrametría. Conjunto de métodos y operaciones que permiten la confección de mapas topográficos y planos a partir de fotos aéreas o terrestres. Se propone resolver los elementos geométricos y sus magnitudes, como: coordenadas, distancias, ángulos, áreas, volúmenes y la posición en el espacio de los elementos de estudio por medio de las fotografías tomadas para este fin.

Fotogrametría aérea. También denominada aerofotogrametría, utiliza fotografías aéreas. La cobertura fotográfica de un territorio se realiza mediante tomas verticales, utilizando una escala que varía con la altura de vuelo y la distancia focal de la cámara.

Fotogrametría analítica. Se diferencia de la fotogrametría analógica en que el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría.

Fotogrametría analógica. Determinación precisa de un objeto en el espacio, a partir de la utilización directa de fotografías aéreas formando modelos estereoscópicos, reconstruyendo el modelo espacial con sistemas de ópticos o mecánicos.

Fotogrametría digital. Fotogrametría que utiliza como datos de entrada, las fotografías aéreas previamente transformadas a formato digital, reconstruyendo asimismo el modelo espacial de forma numérica y digital. En este caso, los conceptos de tratamiento de imágenes digitales usados en teledetección cobran gran importancia.

Fotoidentificación. La detección, identificación y acción de marcar las estaciones o puntos trigonométricos en fotografías aéreas. La identificación y localización absoluta es necesaria si la información se va a emplear como apoyo en la compilación o restitución fotogramétrica.

Fotoíndice. Índice montado con fotografías aéreas individuales en sus debidas posiciones relativas y reproducido fotográficamente en conjunto a escala reducida.

Fotointerpretación. Técnica cuyo fin principal es hacer un análisis crítico de elementos que se presentan en las fotografías aéreas. Requiere un conocimiento sustancial de los objetos que se identifican.

Fotomapa. Un mapa sustituto o suplementario que consta totalmente, o en parte, de una imagen fotográfica aérea del terreno. Puede ser o no rectificado.

Fotómetros. Se utilizan para el control de las fotografías; miden con precisión la luz reflejada del suelo, con lo cual se determina el brillo máximo y mínimo del objeto. -el terreno se observa mediante un telescopio. Uno de los más utilizados es el SEI (Salford Electrical Instrument).

Generalización cartográfica. Comprende la selección de los detalles que deberán conservarse, la esquematización de los trazos y la armonía general del mapa.

Geodesia. Ciencia que tiene por objeto el estudio y la determinación de la forma, dimensiones y campo de la gravedad de la Tierra y de los cuerpos celestes cercanos a ella. Los trabajos geodésicos son necesarios para la realización de un mapa topográfico. Permite obtener datos para fijar con exactitud los puntos de control de la triangulación y la nivelación.

Geoide. Es la superficie de nivel, equipotencial en el campo de la gravedad, que adopta la forma de esferoide irregular tridimensional. Debido a que depende de la distribución de masas en el interior de la Tierra, es imposible de representar matemáticamente; para ello se utiliza el elipsoide de referencia que más se le aproxime. Es coincidente con la superficie del agua en reposo de los océanos, extendida virtualmente por debajo de los continentes, de manera que la dirección de las líneas de plomada crucen perpendicularmente esta superficie en todos sus puntos.

Giroscopio. Permite mantener fija la cámara dentro de ciertos límites. Tienen la funcionalidad de minimizar algunos problemas propios a las tomas aéreas; las cámaras actuales tienen hasta trece giroscopios. El uso de este instrumento es recomendable cuando hay condiciones atmosféricas inestables.

GPS. Global Positioning System, sistema de posicionamiento con satélites, que desde sus orígenes en 1973 ha supuesto una revolución frente a las técnicas utilizadas en Geodesia Clásica. Permite conocer la posición del observador con precisiones similares a las de los métodos clásicos, mediante el post-procesado de datos. La idea básica del sistema es la medida de distancias entre el receptor y al menos cuatro satélites de la constelación NAVSTAR, de manera que la primera operación es conocer la posición del satélite en una época determinada por medio de los parámetros orbitales radiodifundidos en el Mensaje de Navegación.

Gradícula. Red de paralelos y meridianos en una carta o mapa.

Gran Angular. Se llama así a cualquier lente o conjunto de lentes que tengan un campo angular de 75° a 100° , lo cual es mayor que en la fotografía convencional.

Greenwich. Observatorio astronómico al SE de Londres por el que pasa el meridiano de 0° ó de origen de medición de las longitudes E ó W de todo el mundo.

Helioscopio. Aditamento que se coloca en el ocular de los teodolitos que reduce los rayos solares permitiendo ver al Sol de manera directa.

Huso horario. Porción de la superficie terrestre limitada por dos meridianos separados por 15 grados de longitud. La Tierra está dividida en 24 husos horarios.

Imagen. Reproducción de un objeto o escena original tomada a través de una lente.

Imagen Digital. Caracterización discreta de una escena formada por elementos multivaluados llamados píxeles, como tal puede estar formada por un conjunto de bandas, en cuyo caso se conoce como imagen digital multiespectral.

Imagen estereoscópica. Es la impresión mental de un objeto de tres dimensiones que resulta en la visión estereoscópica.

Imagen de línea. Aquella que contiene solamente tonos negros sobre un fondo blanco, no tiene tonos grises ni degradados, sus colores son planos, y la imagen solo está formada por el fuerte contraste entre el fondo y la figura.

Imagen de medio tono. Dan la ilusión de tono continuo debido a estar formados por una trama con puntos a diferente tamaño, las zonas con puntos grandes corresponden a los tonos oscuros, las de puntos pequeños a los tonos claros.

Imagen de tono continuo. Aquellas que forman una imagen muy real por la gran variedad de tonos grises o de color, que se funden suavemente uno en otro, en ellos no se advierten puntos de tinta o color.

Inclinación. Es el ángulo medido entre el eje óptico de la cámara con la vertical o con el horizonte, en las fotografías aéreas o terrestres respectivamente.

Información marginal. Las anotaciones impresas en los márgenes de mosaicos, cartas y, en particular, mapas. Puede incluir la proyección de construcción, diafragma, de declinación, información sobre hojas adyacentes así como las claves y símbolos usados.

Intervalómetro. Componente de las cámaras aéreas que realiza el intervalo entre disparos de manera automática.

Latitud. Distancia angular medida al Norte o Sur desde el ecuador, a lo largo de algún meridiano.

Lente. Pieza de vidrio con superficies curvas y pulimentadas. Cuando las lentes se combinan en un instrumento óptico, forman la imagen y cambia la dirección de los rayos de luz.

Leyenda. Explicación de los símbolos, sombreado y colores usados en un mapa.

Línea radial. Aquella trazada del centro de la fotografía a cualquier punto sobre ella.

Longitud. Distancia angular medida en el plano del ecuador, al Este o al Oeste del meridiano de Greenwich.

Luz. Agente físico que hace visibles los objetos. Constituye la porción visible de la extensión del espectro que va desde la radiación gama de alta frecuencia hasta ondas de radio de frecuencia corta. Se transmite en línea recta mientras se encuentre en un medio con índice de refracción homogéneo. Si el índice de refracción es heterogéneo la luz puede reflejarse o refractarse. Su velocidad está calculada en 300,000 km/seg.

Mapa. Es la representación total o parcial de la superficie terrestre, en el que se considera la curvatura de ella, una escala bien establecida y una orientación definida para poder contemplar los rasgos del paisaje geográfico.

Mapa temático. Documento que proporciona información de un solo tema o grupo de temas.

Mapa topográfico. Documento que presenta las posiciones horizontales y verticales de los fenómenos representados.

Marcas fiduciales o de colimación. Son aquellas marcas indicadoras que están rígidamente conectadas a la lente de la cámara a través del cuerpo de la misma; sus imágenes se obtienen en los márgenes de cada fotografía. Las marcas fiduciales se ajustan de manera

tal, que la intersección de las líneas trazadas entre dos marcas opuestas señalan el punto principal de la fotografía.

Marco. Lugar donde se materializa el plano focal y contiene la información marginal de la fotografía.

Mensaje de Navegación. Información sobre cada satélite de la constelación NAVSTAR, su duración es de 12 min 30 segundos. Los datos aparecen estructurados en 25 grupos, cada uno de los cuales consta de 5 celdas, en las cuales la información que se adjunta consiste básicamente en el estado del reloj en la escala de tiempo GPS, efemérides radiodifundidas, modelos de la ionosfera para usuarios monofrecuencia y almanaque.

Meridiano. Círculo máximo de la Tierra o de la esfera celeste que pasa por los polos. Queda definido por la intersección del plano del meridiano con la esfera, todos los puntos que pertenezcan al mismo meridiano vienen caracterizados por tener la misma hora local.

Meridiano de Greenwich. Meridiano origen que pasa por el Observatorio Real de Greenwich, e indica los 0 grados de longitud a partir de los cuales se mide la longitud de todos los meridianos.

Modelo digital del terreno. Es la representación cuantitativa en formato digital de la superficie terrestre, contiene información acerca de la posición (x,y) y la altitud (z) de los elementos de la superficie. La denominación MDT es la genérica para todos los modelos digitales, incluyendo los DEM, en los cuales la coordenada z se refiere siempre a la elevación sobre el terreno, y a los demás tipos de modelos en los que la z puede ser cualquier variable (profundidad de suelo, número de habitantes, etc.)

Mosaico diapositivo base. Montaje de pedazos de película sobre una cuadrícula o proyección, que se emplea como base para la reproducción de copias que posteriormente se usarán para la restitución o compilación.

Nadir. Punto de la esfera celeste que es diametralmente opuesto al Zenit.

Navegador GPS. Receptor GPS de baja precisión que permite obtener posicionamientos absolutos en tiempo real de manera rápida. La precisión a esperar puede variar desde los 50 m, hasta tener una incertidumbre superior a los 100 metros en el caso de estar la Disponibilidad Selectiva activada.

NAVSTAR, constelación. Constelación de satélites de Navegación, Cronometría y Distanciometría, formada por un total de 22 satélites operativos y otros de reserva. Se caracteriza por la altitud media de las órbitas de 20,200 km, plano orbital con una inclinación de 55 grados y un periodo orbital de 12 horas sidéreas.

Nivel del mar. Es el punto de valor cero que es la referencia más común de las mediciones altimétricas sobre la superficie terrestre.

Norte Geográfico. Es el señalado por la meridiana geográfica.

Norte magnético. Es el indicado por el Polo Norte magnético. Los polos magnéticos no son extremos de un diámetro terrestre y cambian constantemente de posición según una serie de leyes físicas.

Objetivo. Conjunto de lentes con superficies pulimentadas capaces de desviar los rayos luminosos. Generalmente son utilizados en cámaras fotográficas, telescopios y microscopios.

Obturador. Dispositivo localizado entre los elementos de la lente de una cámara con el objeto de interceptar el paso de la luz. Por lo general está constituido de hojas finas de metal que se abren, cierran o giran al efectuarse la exposición.

Ortofoto. Imagen fotográfica del terreno con el mismo valor cartográfico que un plano, que ha sido sometida a un proceso de rectificación diferencial que permite realizar la puesta en escala y nivelación de las unidades geométricas que lo componen.

Ortofotomapa. Fotomapa confeccionado mediante el montaje o ensablaje de ortofotografías. Puede comprender un tratamiento cartográfico especial, realce de los bordes de las fotografías, separación de colores o una combinación de éstos.

Ortofotomosaico. Montaje de ortofotografías que forman un mosaico a escala uniforme.

Ortoscopía. Observación de una fotografía en condiciones correctas de distancia e inclinación para que los ángulos con los que se observa la imagen sean equivalentes a los de visión directa.

Paralaje. Es el desplazamiento aparente de la posición de un objeto respecto a un punto o sistema de referencia, motivado por el cambio de punto de observación.

Paralelos. Círculos de la esfera terrestre menores y paralelos al ecuador, que sirven para determinar la latitud de cualquier punto de la superficie terrestre. Los valores de los paralelos van de 0-90° al Norte o al Sur.

Película. En fotografía, se le llama así a una base de gelatina o celuloide sobre la cual se depositan compuestos de plata y otras soluciones sensibles a la radiación electromagnética. La sensibilidad del espectro depende del tipo de solución que se utilice; por ejemplo, pancromática, infrarrojo, blanco y negro, etc.

Periscopio solar. Son dos cámaras que simultáneamente fotografían el terreno y el Sol. Una vez conocidas las coordenadas de puntos del terreno y la hora solar verdadera, se puede calcular la inclinación de la cámara al momento de la toma.

Píxel. Unidad mínima o elemental percibida en una imagen digital, sobre la que se registra la radiación procedente del área del campo de visión instantáneo (IFOV). También se denomina así a la unidad mínima de información que se puede identificar en una imagen Raster.

Planimetría. Parte de la Topografía que enseña a representar una porción de la Tierra en una superficie plana.

Plano focal. Es el plano en el cual se localiza y define la posición del foco. Existen varios planos focales para las lentes; ellos dependen de la distancia del objeto enfocado.

Plantilla. Es un auxiliar en material transparente, por lo general usado para localizar, delimitar o planimetrar un área o comparar imágenes fotográficas con patrones definidos y preparados gráfica o analíticamente.

Plano. 1) Representación geométrica de una superficie plana (terreno, ciudad, etc) y en general, todo mapa de escala muy grande (1:5,000 o mayores). 2) Superficie que corta a la esfera terrestre.

Precisión. Grado conocido en que una medida se acerca a un valor dado: exactitud; normalmente se refiere al cálculo.

Preparación de las fotografías. Aplicada en aerofotografías, consiste en la localización y transferencia de puntos auxiliares. Ocasionalmente, incluye el trazo de los marcos de fotointerpretación que circunscriben el área útil por trabajar.

Proyección. Sistema o modelo matemático utilizado para la representación cartográfica de la Tierra. El sistema de proyección es la correspondencia matemática puntual, continua y biunívoca entre los puntos de un elipsoide de referencia y los puntos de un plano.

Proyección Universal Transversa de Mercator. Proyección cilíndrica conforme en la que el cilindro es tangente al elipsoide a lo largo de un meridiano tomado como origen, y el eje del cilindro está sobre el Ecuador. Esta proyección divide a la Tierra en 60 husos de 6 grados sexagesimales de longitud cada uno, numerados a partir del antemeridiano de Greenwich.

Pseudoscopia. Estereoscopia invertida. Es la impresión en tres dimensiones del relieve que está inverso al que realmente existe. Los efectos pseudoscópicos en las fotografías aéreas invierten el paisaje y los puntos cercanos a los ojos aparecen como los más lejanos.

Puntos de Apoyo. Puntos en el terreno levantados por topografía que sirven de base para la orientación absoluta en la restitución fotogramétrica, y para efectuar un tratamiento geométrico o georreferenciación de los datos en teledetección.

Punto principal de la fotografía. Centro geométrico de una fotografía y localizado por la intersección de las líneas trazadas desde las marcas fiduciales o de colimación opuestas.

Punto vernal. También llamado primer punto de Aries, se refiere a un punto imaginario donde se intersecan el ecuador celeste y la eclíptica. Cuando el sol pasa por dicho punto, su declinación cambia de negativa a positiva.

Radar. Sistema activo de microondas que emite una haz energético sobre la superficie terrestre para luego recoger su reflexión sobre ella.

Raster. Conjunto de datos distribuidos en celdas y estructurados en filas y columnas. El valor de cada celda representa el atributo del elemento.

Rectificación. Conjunto de técnicas destinadas a eliminar errores en los datos, debe utilizarse para corregir distorsiones en las fotografías aéreas, imágenes de satélite o errores en mapas analógicos y obtener una nueva imagen corregida y ajustada a escala.

Rectificación multietapa. Técnica que emplea equipo estándar para rectificar fotografías oblicuas por medio de una serie de proyecciones para lograr la transformación proyectiva deseada.

Rectificación óptica. Procedimiento en el cual se proyecta una imagen de la fotografía aérea inclinada sobre un plano de referencia horizontal para eliminar los desplazamientos de las

imágenes ocasionados por el ladeo de la cámara fotogramétrica en el momento de la toma.

Rectificador. Tipo de instrumento especialmente concebido para eliminar la inclinación del negativo aéreo. Hay dos tipos básicos: aquellos en los cuales el eje óptico del objetivo del rectificador es la referencia común o dirección base del aparato, y aquellos en los cuales la línea entre el punto principal del negativo y el objetivo del rectificador es la referencia común.

Red Geodésica. Conjunto de puntos denominados vértices, materializados físicamente sobre el terreno, entre los cuales se han realizado observaciones geodésicas, con el fin de determinar su precisión tanto en términos absolutos como relativos. Una red Geodésica es la estructura que sostiene a toda la cartografía de un territorio.

Reflexión. Fenómeno físico que ocurre cuando una onda choca con una superficie que la devuelve total o parcialmente. La onda emitida puede ser luminosa, acústica, calórica o electromagnética.

Refracción. Fenómeno físico que consiste en hacer cambiar la dirección de la luz que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferente densidad.

Registros de toma. Se constituye de una serie de instrumentos que miden varios parámetros del vuelo fotográfico como son: reloj, nivel, altímetro, etc.

Resección. Método para obtener el posicionamiento que consiste en la observación angular desde la estación hacia tres puntos de coordenadas conocidas.

Restitución fotogramétrica. Proceso para determinar las posiciones planimétrica y altimétrica verdadera de las imágenes que aparecen en las fotografías estereoscópicas.

Selección de color. Proceso de preparar una separación de dibujo, para cada color primario sustractivo requerido en la reproducción de mapas o cartas.

Separación de características. Proceso de preparar un dibujo, grabado o negativo por separado, por selección de tipos de datos en la preparación de una carta o mapa.

Separación de color. Proceso de preparar una separación de dibujo, grabado o negativo para cada color requerido en la producción de imprimir mapas o cartas.

Signo. Indicación geográfica, numérica o alfabética que describe a un fenómeno y sirve para facilitar su designación sugiriendo el área que ocupa.

Símbolos. Lenguaje visual de los mapas.

Sistema de Información Geográfica. Es el conjunto formado por Hardware, Software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.

Sketchmaster. Tipo de instrumento que se basa en el principio de la cámara clara que permite superponer una imagen virtual rectificadora de una fotografía sobre el manuscrito de un mapa. Este instrumento se conoce por el nombre de rectificador gráfico para fotografías aéreas.

Sketchmaster oblicuo. Se utiliza para fotografías aéreas oblicuas.

Tangencia. Líneas o superficies que mantienen contacto sin cortarse entre sí.

Teledetección. Técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la Tierra, a través del análisis de los datos adquiridos por un sensor o dispositivo situado a cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas por la superficie terrestre.

Tiempo sideral. Medida del tiempo basada en el movimiento diurno del punto vernal. Está dado por la razón de rotación terrestre respecto a las estrellas.

Tiempo solar medio. Medida del tiempo basada en el movimiento del Sol medio o ficticio; supone un movimiento de rotación terrestre uniforme.

Topografía. 1) Disciplina encargada de la descripción y delineación de la superficie terrestre. Expresa sus resultados por medio de dibujos y fotografías que son utilizadas en la confección de mapas, cartas y planos. 2) Término genérico para designar todos los accidentes del relieve.

Tránsito de los astros. Paso de un objeto celeste por un meridiano. Paso de un cuerpo frente a otro de mayor diámetro aparente. El tránsito superior sucede con el paso de un objeto celeste por el meridiano en el que se encuentra el observador; el tránsito inferior sucede cuando el objeto celeste pasa por el meridiano diametralmente opuesto al observador.

Triangulación. Conjunto de operaciones que tienen por objeto fijar sobre la superficie que se quiere cartografiar, la posición de los puntos claves que forman una red de coordenadas geográficas en un mapa.

Triangulación radial. Método de aerotriangulación, gráfica o analítica, en el que se usan las direcciones centro radial o centro radial aproximado, de cada fotografía sobrepuesta, para la extensión del control horizontal mediante la intersección sucesiva y la resección de estas líneas de dirección.

Triangulación radial analítica. Triangulación radial efectuada por computaciones rutinarias.

Triangulación radial directa. Triangulación radial gráfica que se efectúa mediante la delineación de direcciones desde los centros radiales sucesivos, directamente sobre la hoja transparente de trazado, en lugar de utilizar el método de triangulación por plantillas.

Triangulación radial gráfica. Triangulación radial llevada a cabo por otro método que no sea analítico. Se supone que la triangulación radial se efectúa usando los puntos principales como centros radiales, a menos que el término definitivo lo designe de otro modo.

Trilateración. Triangulación observada basada en la medida de los lados de los triángulos en lugar de los ángulos para determinar la posición.

Zenit. Punto de la esfera celeste que se encuentra exactamente por encima del observador.

A continuación se agregan algunos documentos que fueron referidos durante el desarrollo de la investigación.

La primera parte del Anexo se constituye de la "SOLICITUD PARA REALIZAR LEVANTAMIENTOS AÉREOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA POR PARTE DE PERSONAS FÍSICAS O MORALES, NACIONALES O EXTRANJERAS", (referida en el Capítulo 2, páginas 83 y 84). El llenado de esta forma es obligatorio y se debe entregar en las oficinas del Departamento de Geografía del INEGI.

La segunda parte del anexo la conforma una serie de diagramas que representan a la República Mexicana (referidos en el Capítulo 2, página 87) los cuales fueron resultado de algunos estudios de factibilidad de vuelos con fines fotogramétricos. Esta serie fue desarrollada por la Compañía Mexicana Aerofoto y fue citada por J. Caire en su libro Fotogrametría Aérea. Los mapas manejan tres variables: **las condiciones favorables** para la toma de fotografías aéreas; **los intentos**, que se refieren a las zonas donde existen algunas posibilidades de efectuar las tomas (sin embargo, no están garantizadas las circunstancias ideales) y **las condiciones no favorables** donde seguramente no habrá posibilidad de obtener tomas aerofotográficas. Estos estudios están estrechamente relacionados con la nubosidad, es por ello que en los meses más secos es más factible poder realizar las tomas de fotografías aéreas.

Cabe recalcar que en dichos diagramas se presentan estudios de factibilidad; es decir que existen ciertas condiciones meteorológicas con las cuales se pudieran llegar a realizar los vuelos; sin embargo, no son definitivos dado que el estado del tiempo no se puede pronosticar con esta facilidad. Los vuelos aerofotográficos no se deberán realizar en caso de que exista mal tiempo, neblina, calina o grandes quemas agrícolas que afecten la visibilidad del área por fotografiar más allá de los límites establecidos



DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA

SOLICITUD PARA REALIZAR LEVANTAMIENTOS AÉREOS DE INFORMACIÓN

GEOGRÁFICA POR PARTE DE PERSONAS FÍSICAS O MORALES,

NACIONALES Y EXTRANJERAS

LA01

México, D. F., _____ de _____ 200__

Antes de llenar esta forma, lea las consideraciones generales al reverso.

Por este conducto solicito me (nos) autorice realizar un levantamiento aéreo de información geográfica en el Territorio Nacional, para cuyos efectos le proporciono los siguientes datos:

1 DATOS GENERALES

*1. Nombre o razón social _____

2. Domicilio _____

3. Tel. _____ 4. Fax _____

*5. Gerente o apoderado legal (anexe acreditación) _____

*6. Contrato u orden de trabajo No. _____ 6.1 de fecha _____

*7. En su caso, empresa subcontratante _____
7.1 No. de contrato _____ de fecha _____

*8. Nombre y domicilio de la persona radicada en México que avale la obligación de entregar las copias al INEGI de los trabajos resultantes cuando así se requiera (solo en caso de extranjeros)

2 TIPO DE LEVANTAMIENTO social _____

- 1. Fotográfico de reconocimiento _____ ()
- 2. Fotogramétrico _____ ()
- 3. Magnetometría _____ ()
- 4. Imagen de video _____ ()
- 5. Geodésico _____ ()
- 6. Barredor (especificar) _____ ()
- 7. Otros _____ ()

3 DESCRIPCIÓN Y OBJETO DE LOS TRABAJOS POR REALIZAR

1. Uso previsto de la información levantada _____

*2. Beneficiario de los trabajos _____

3. Material que se entregará al beneficiario (describalo y enumérela por producto)

(si falta espacio anexe hojas)

4. Si es fotografía indique total aproximado de fotos _____

***4 ZONA DE CUBRIMIENTO**

Indique nombre del lugar (estado y / o municipio), descripción del área por cubrir, y coordenadas geográficas (anexe croquis en cartografía adecuada)

4.1. Cuantificación total del cubrimiento _____ Km²

5 AERONAVE QUE UTILIZARÁN

AERONAVE (S)	A	B	C	D	E
1. Marca / modelo	_____	_____	_____	_____	_____
2. Matrícula	_____	_____	_____	_____	_____
*3. Certificado de aeronave-gabilidad número (s)	_____	_____	_____	_____	_____
4. Vigencia del certificado (s)	_____	_____	_____	_____	_____

5. En caso de ser más de una indique los datos correspondientes en los espacios señalados con: B. C. D. E.

6 EQUIPO CON EL QUE REALIZARÁ LA CAPTURA DE LA INFORMACIÓN

A Si es cámara (s) aerofotogramétrica o de reconocimiento indique los datos siguientes

	A	B	C	D	E
1. Marca.					
2. Marca.					
3. Tipo / Modelo	_____	_____	_____	_____	_____
4. Formato	_____	_____	_____	_____	_____
5. Distancia focal	_____	_____	_____	_____	_____
*6. No. de serie	_____	_____	_____	_____	_____
7. Número (s) del certificado de calibración	_____	_____	_____	_____	_____
8. Fecha del certificado	_____	_____	_____	_____	_____
Tipo de película	_____	_____	_____	_____	_____

B Si es otro equipo como: magnetómetros, barreadores, espectrofotómetros, etc., indique las características y registros correspondientes:

(anexe documentación del equipo)

7 PROGRAMA DE EJECUCIÓN

1. Periodo solicitado del _____ al _____
 2. Aeropuerto a utilizar (nacional) _____
 3. Aeropuerto (s) alterno (s) solo en caso de emergencia (nacional) _____
 4. Fecha de iniciación del vuelo _____
 5. Integrantes de la tripulación (nombre, nacionalidad y función que desempeñarán) producto) _____
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

CONSIDERACIONES GENERALES

- Este formato LA01 es de libre reproducción
- Debe llenarse a máquina o a mano con letra de molde
- Debe presentarse en original y copia para el acuse de recibo
- Se deben respetar las áreas destinadas para uso exclusivo del INEGI
- Sólo se reciben las solicitudes debidamente requisitadas
- La firma del solicitante, debe ser autógrafa en cada solicitud
- Las solicitudes, constancias, identificaciones oficiales y demás documentos que se presenten con alteraciones raspaduras o enmendaduras, no tendrán validez alguna
- Debe presentarse en la oficina de atención al público de la Dirección General de Geografía, Departamento de Permisos y Normatividad, sito en Patriotismo 711, 8o. piso, Col. San Juan Mixcoac, Del. Benito Juárez, C.P. 03730, México, D.F., o en Av. Héroe de Nacozari Sur 2301, puerta 7 Mezzanine, Col. Jardines de Parque, CP 20270, Aguascalientes, Ags. de las 9:00 a las 15:00 horas, de lunes a viernes. Del interior de la República a través del servicio de mensajería.

Trámite al que corresponde el formato: Solicitud para realizar levantamientos aéreos de información geográfica por parte de personas físicas o morales nacionales y extranjeras.

Número de Registro Federal de Trámites y Servicios INEGI-00-003

Fecha de autorización de la forma por parte de la Oficialía Mayor: 15/06/2001

Fecha de autorización de la forma por parte de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria: 13/06/2001

Fundamento jurídico administrativo: Artículos 12, 33 de la Ley de Información Estadística y Geográfica; 48, 49, 50 de su Reglamento; 99, 100 fracción II, inciso f), y 102 fracción I del Reglamento Interior de esta Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Documentos anexos

- Las personas propuestas para suscribir diversos trámites, las que firman la solicitud y las que físicamente se presentan a requerir la autorización, deben presentar identificación oficial vigente con nombre completo, fotografía y firma en documento original y una copia de esta, a fin de hacer el cotejo de firmas, devolviendo en ese acto el original correspondiente.
- Los documentos y testimonios deben presentarse en original y copia certificada ante fedatario público y copia simple para su cotejo.

Para persona moral: Acta constitutiva de la empresa

Para persona física: Cédula de identificación oficial como credencial del IFE, Pasaporte o Cédula Profesional

Extranjeros: Los extranjeros deberán presentar la documentación que compruebe su legal estancia en el país y con la debida autorización para dedicarse a las actividades que pretenda realizar según las disposiciones de la Ley General de Población y la normatividad de la materia.

Tiempo de respuesta: 15 días hábiles

Números telefónicos para quejas:

Contraloría Interna del INEGI	Sistema de atención telefónica a la ciudadanía de la SECODAM:
En Aguascalientes, Ags. 01 (4) 978 88 60	SACTEL en el D.F. 54 80 20 00
En la Ciudad de México 52 78 10 00	En el interior de la República 01 800 00 148 00
En el interior de la República 01 800 490 2000	Clave internacional 1-888 594 33 72

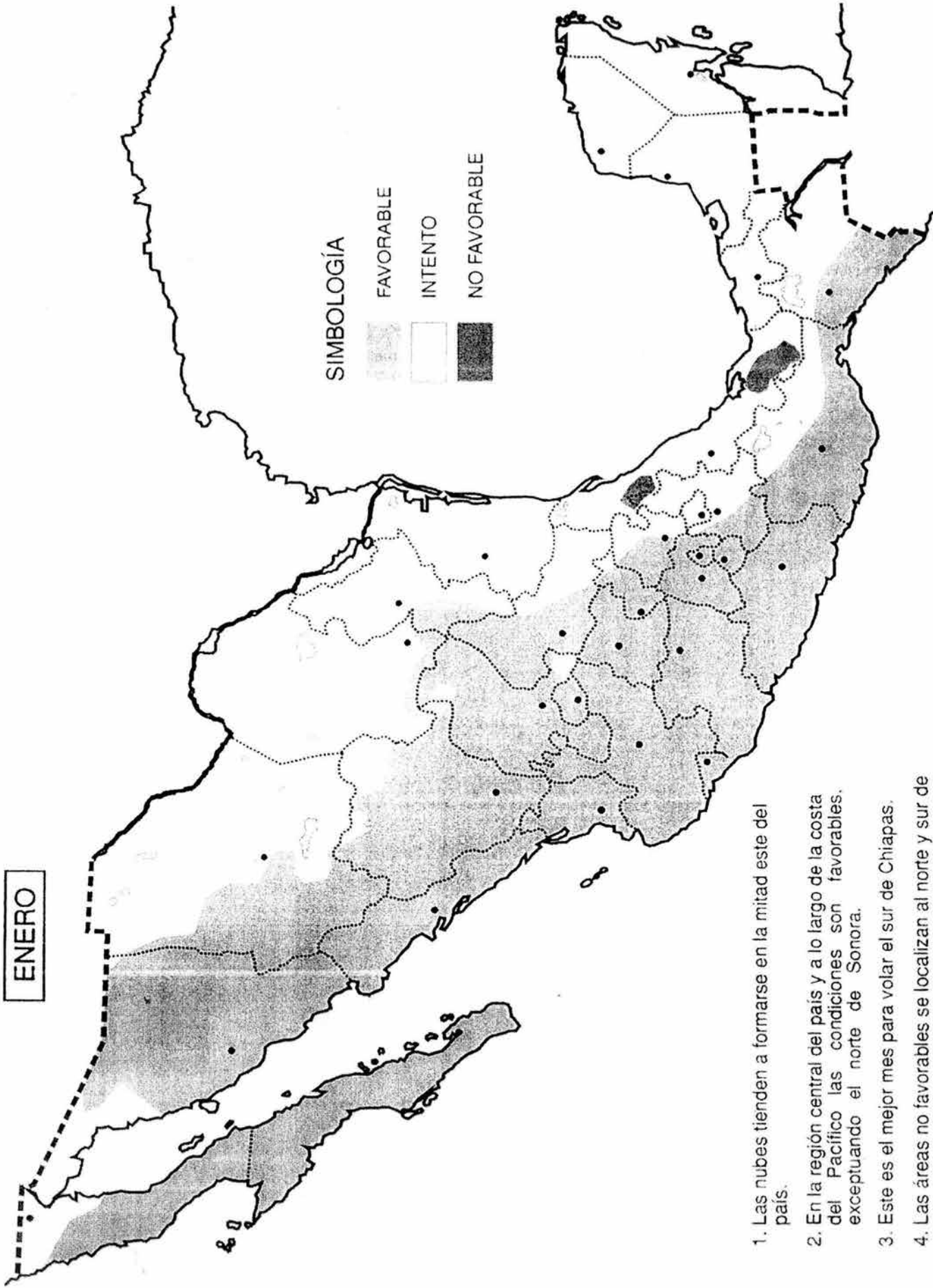
Número telefónico del responsable del trámite para solicitar autorizaciones en México, D.F. 55 63 05 86

Para uso exclusivo del INEGI

Identificación del interesado:

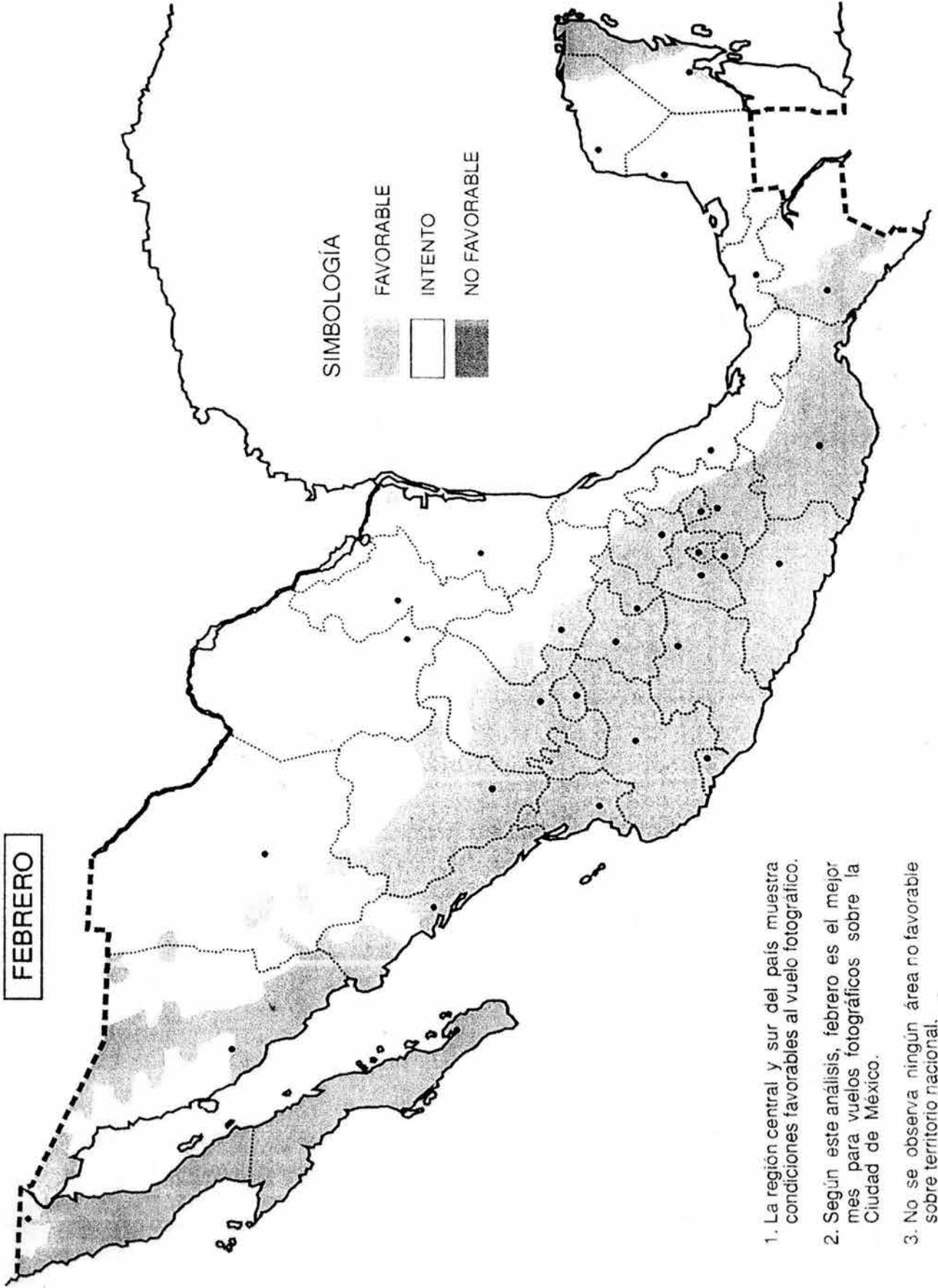
Nombre _____

ENERO



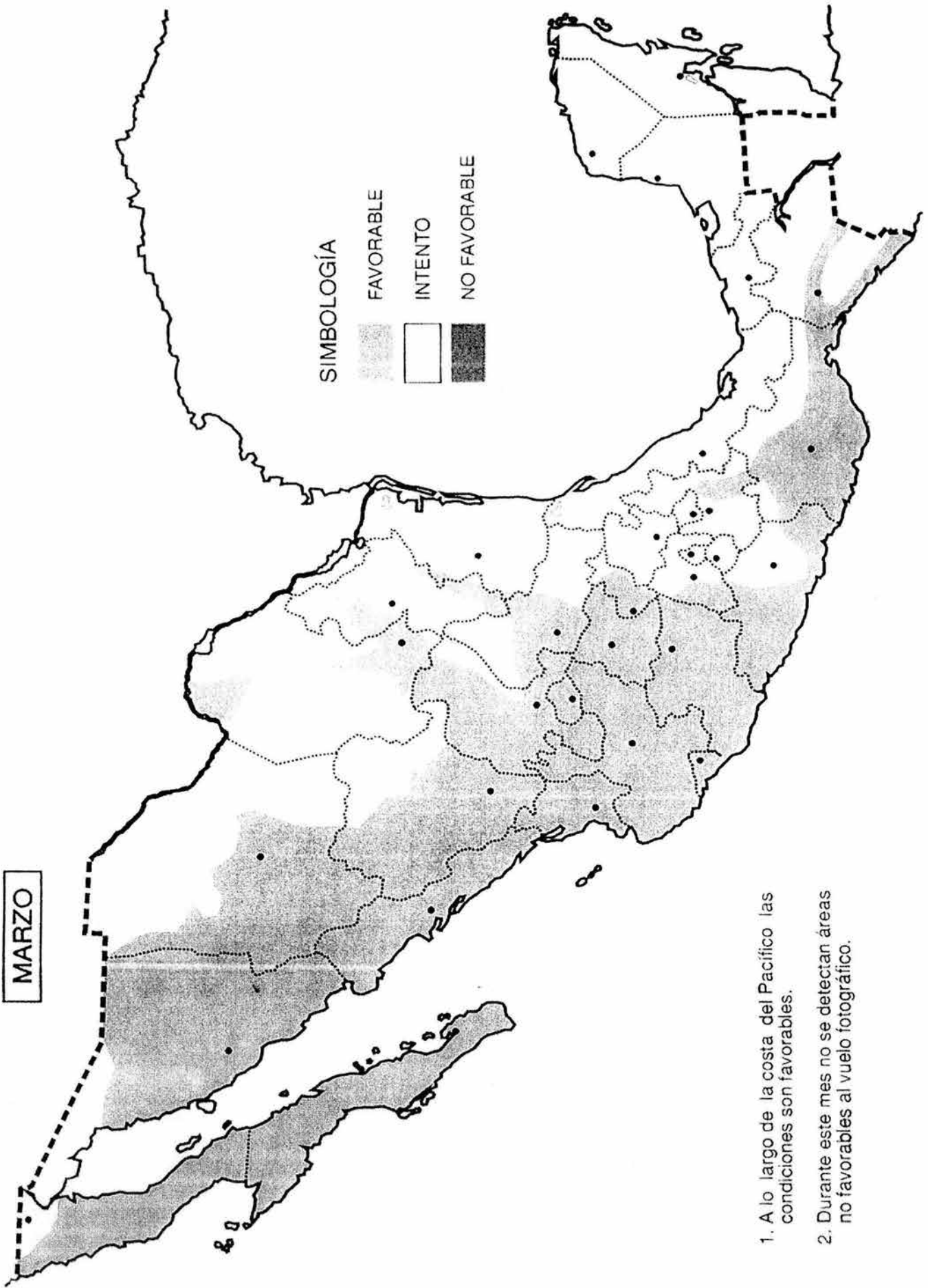
1. Las nubes tienden a formarse en la mitad este del país.
2. En la región central del país y a lo largo de la costa del Pacífico las condiciones son favorables, exceptuando el norte de Sonora.
3. Este es el mejor mes para volar el sur de Chiapas.
4. Las áreas no favorables se localizan al norte y sur de Veracruz así como al norte de Tamaulipas.

FEBRERO



1. La región central y sur del país muestra condiciones favorables al vuelo fotográfico.
2. Según este análisis, febrero es el mejor mes para vuelos fotográficos sobre la Ciudad de México.
3. No se observa ningún área no favorable sobre territorio nacional.

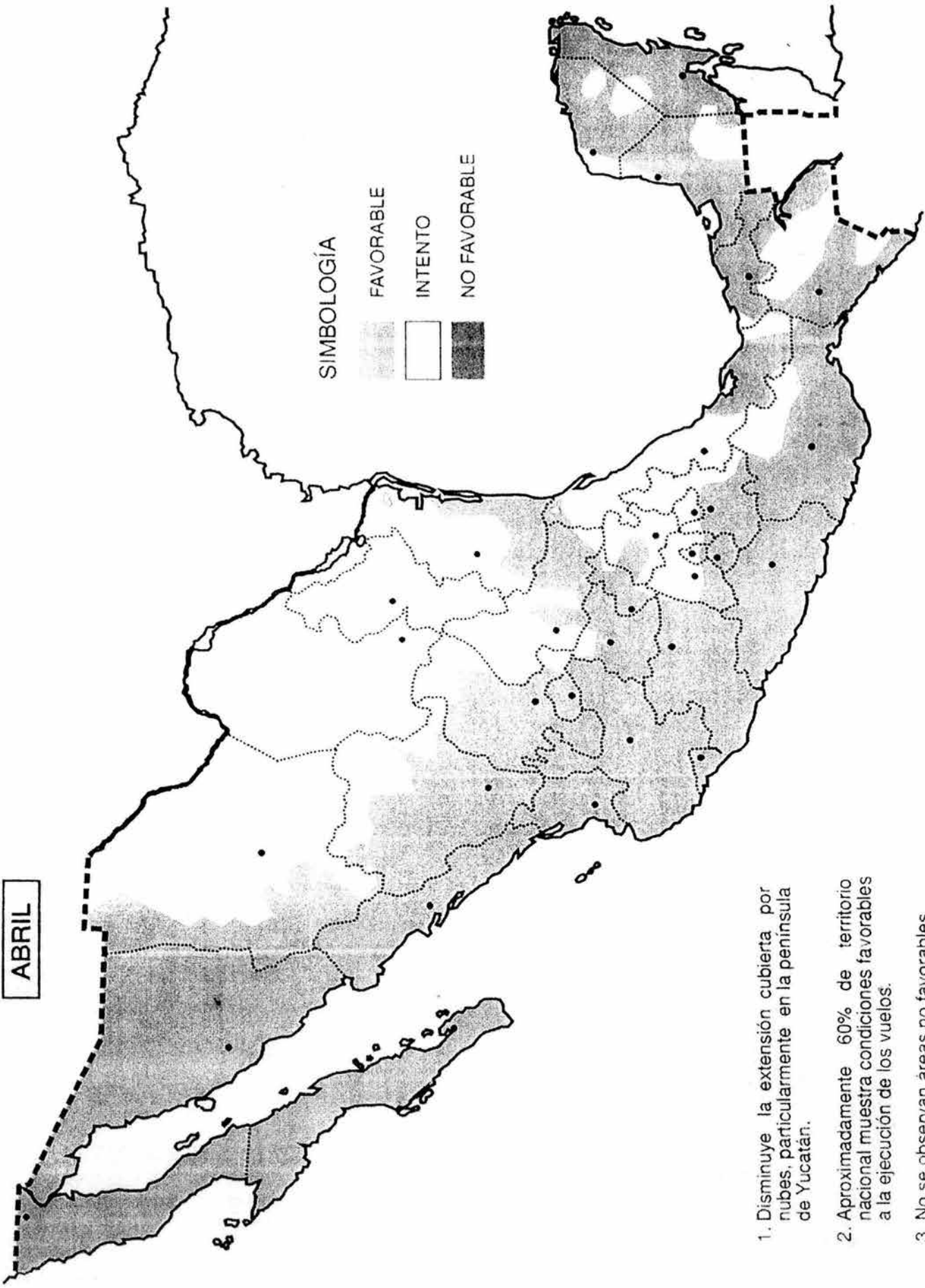
MARZO



1. A lo largo de la costa del Pacífico las condiciones son favorables.

2. Durante este mes no se detectan áreas no favorables al vuelo fotográfico.

ABRIL

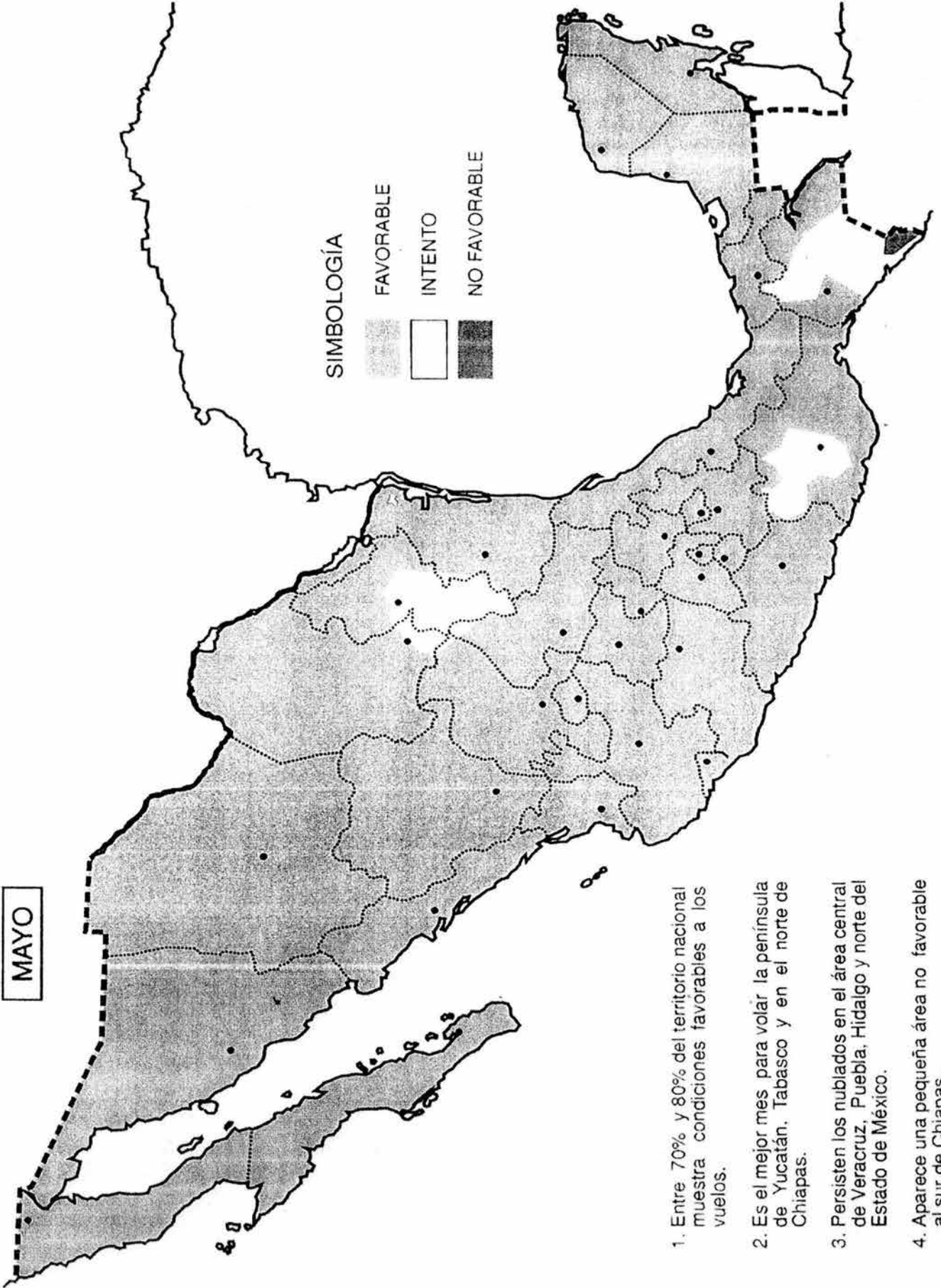


SIMBOLOGÍA

- FAVORABLE
- INTENTO
- NO FAVORABLE

1. Disminuye la extensión cubierta por nubes, particularmente en la península de Yucatán.
2. Aproximadamente 60% de territorio nacional muestra condiciones favorables a la ejecución de los vuelos.
3. No se observan áreas no favorables.

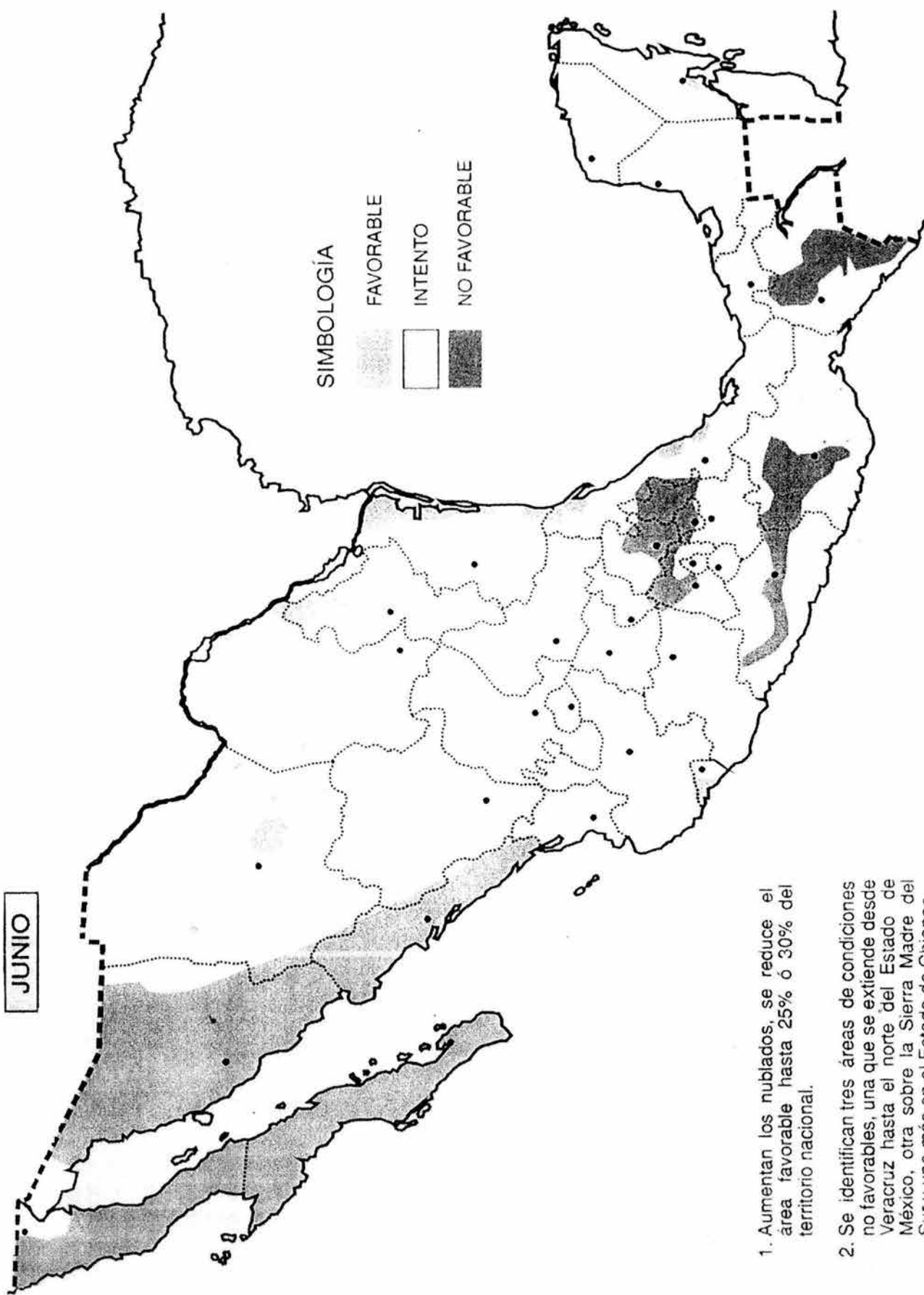
MAYO



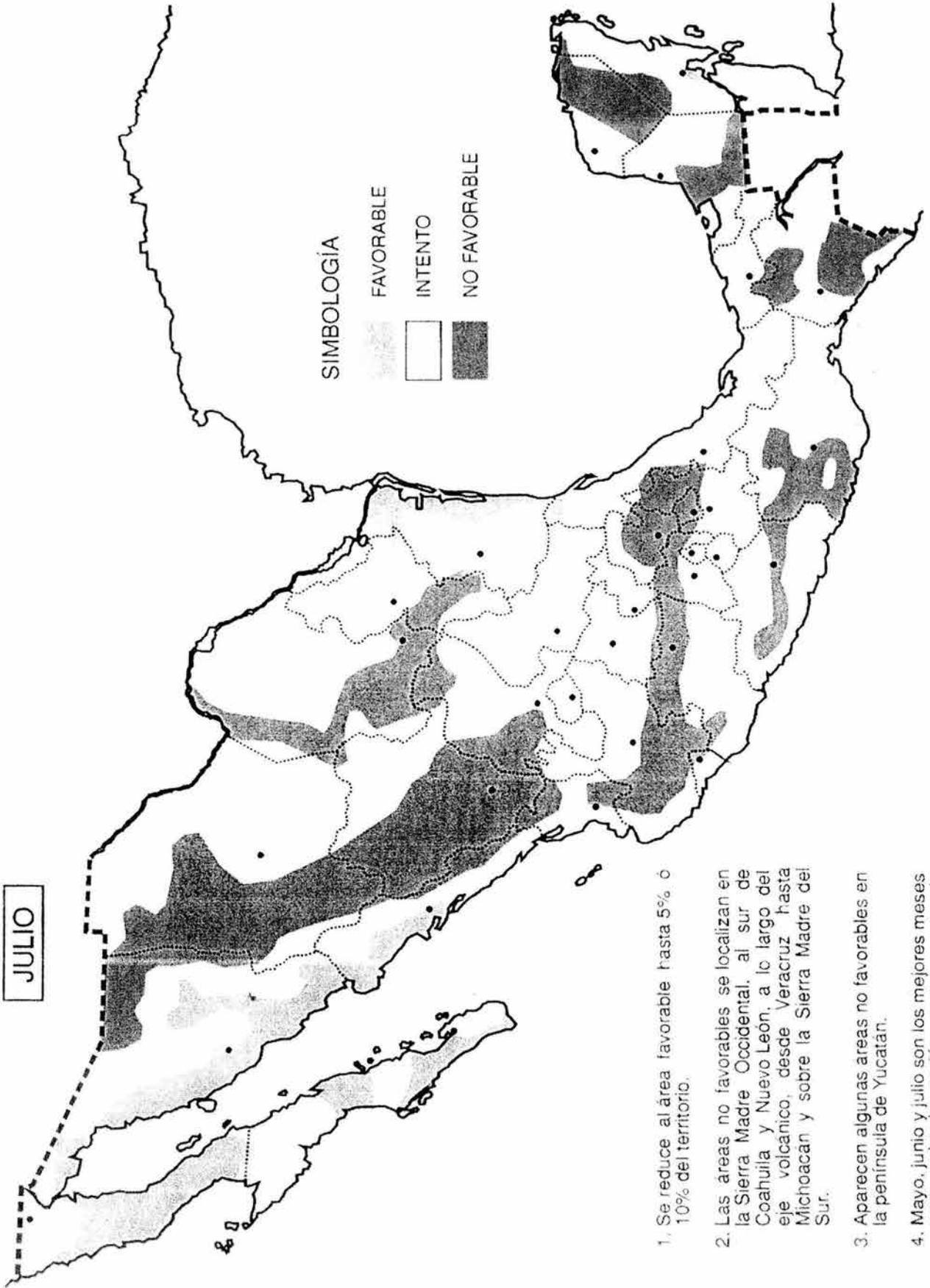
SIMBOLOGÍA

- FAVORABLE
- INTENTO
- NO FAVORABLE

1. Entre 70% y 80% del territorio nacional muestra condiciones favorables a los vuelos.
2. Es el mejor mes para volar la península de Yucatán, Tabasco y en el norte de Chiapas.
3. Persisten los nublados en el área central de Veracruz, Puebla, Hidalgo y norte del Estado de México.
4. Aparece una pequeña área no favorable al sur de Chiapas.

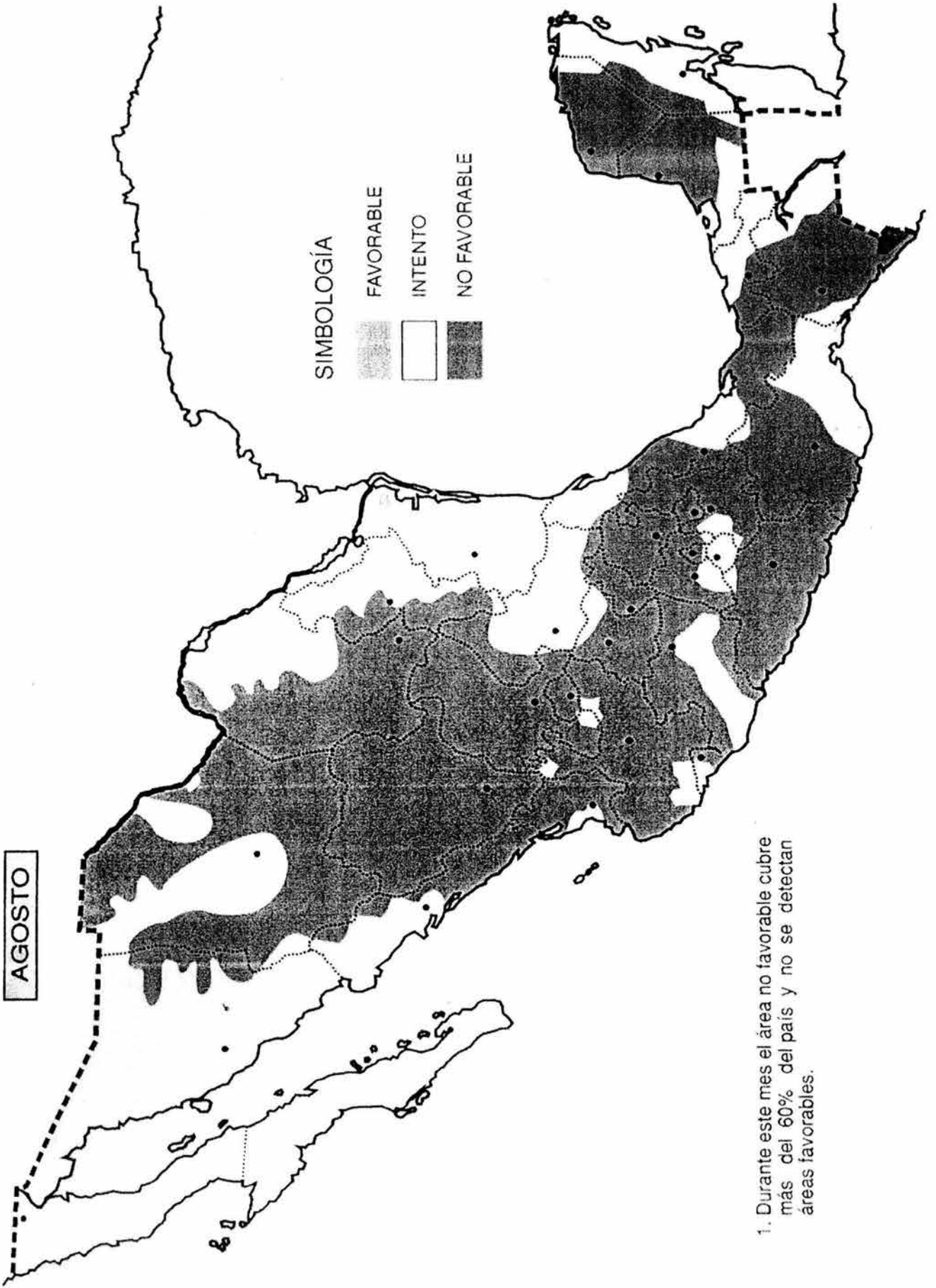


JULIO



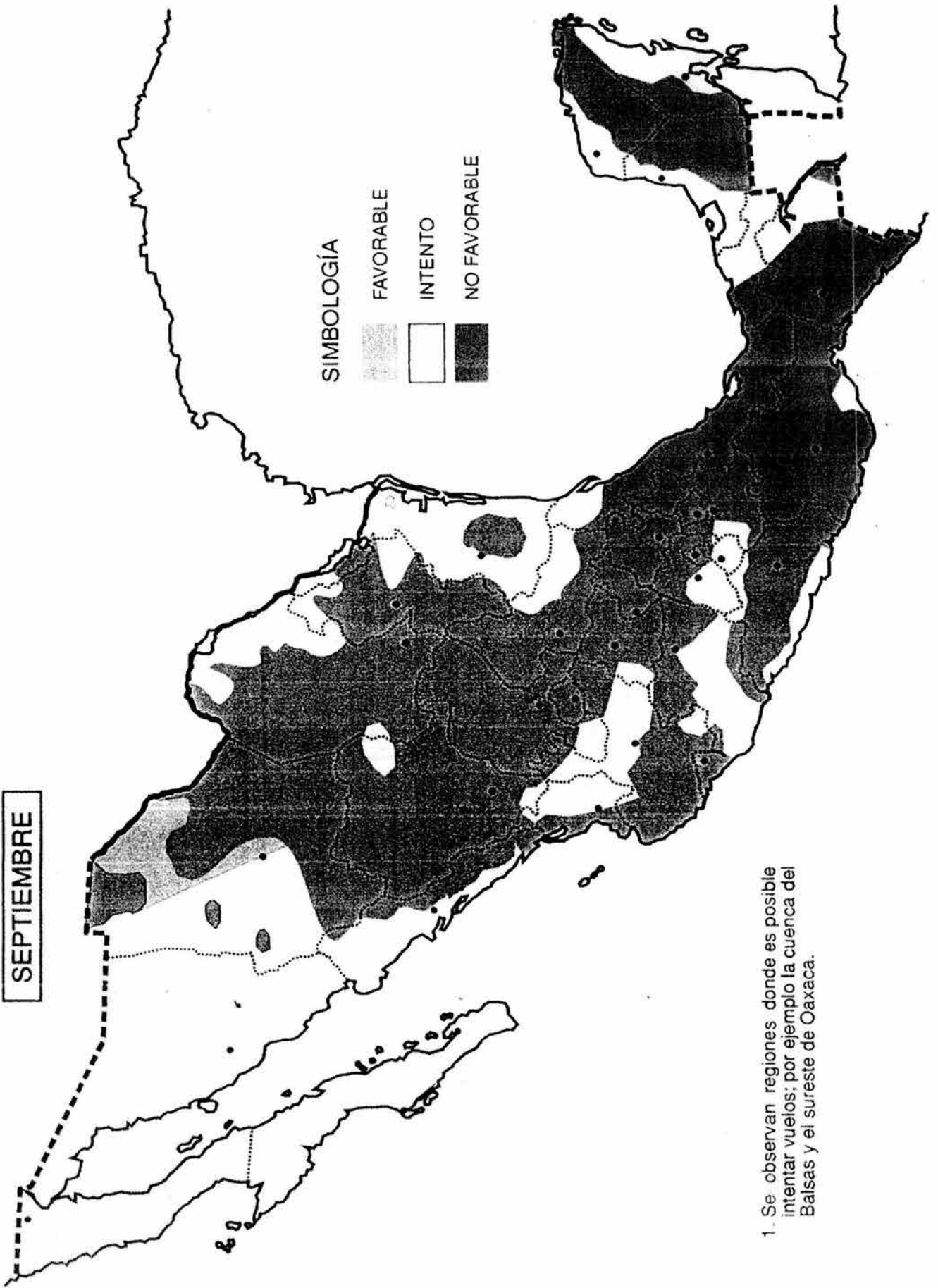
1. Se reduce al área favorable hasta 5% ó 10% del territorio.
2. Las áreas no favorables se localizan en la Sierra Madre Occidental, al sur de Coahuila y Nuevo León, a lo largo del eje volcánico, desde Veracruz hasta Michoacán y sobre la Sierra Madre del Sur.
3. Aparecen algunas áreas no favorables en la península de Yucatán.
4. Mayo, junio y julio son los mejores meses para volar la región norte y este de Tamaulipas.

AGOSTO



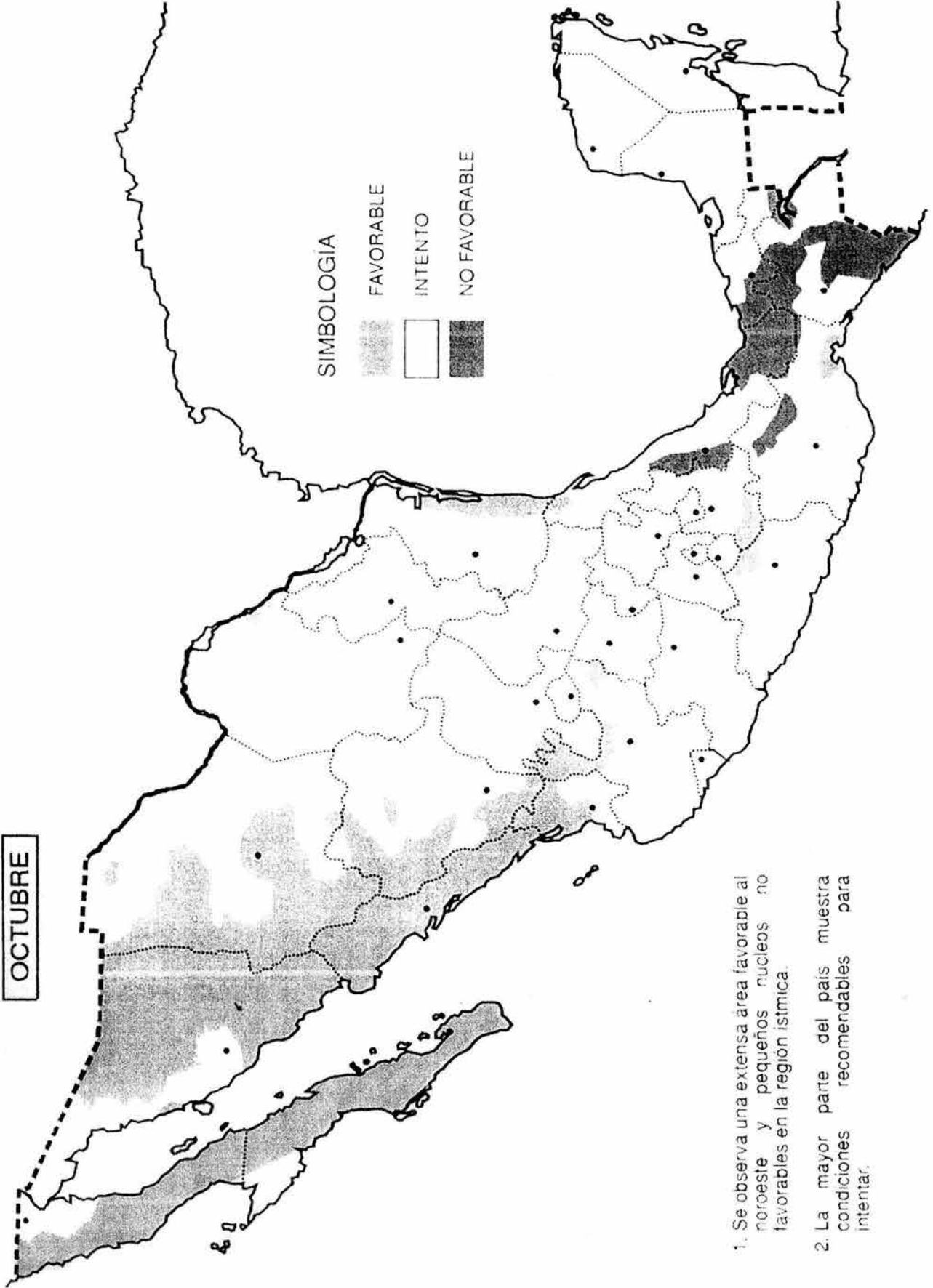
1. Durante este mes el área no favorable cubre más del 60% del país y no se detectan áreas favorables.

SEPTIEMBRE



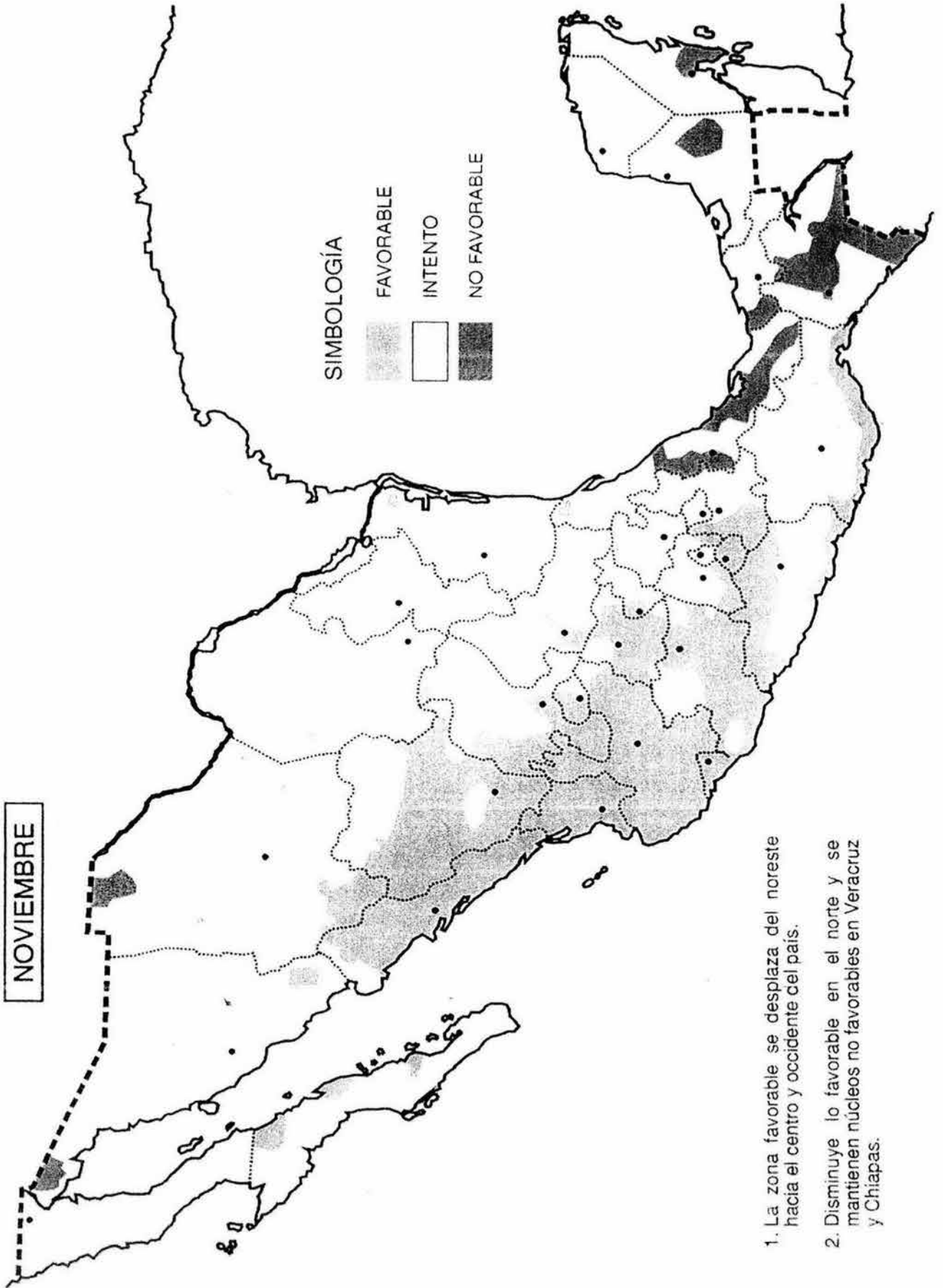
1. Se observan regiones donde es posible intentar vuelos; por ejemplo la cuenca del Balsas y el sureste de Oaxaca.

OCTUBRE



1. Se observa una extensa área favorable al noroeste y pequeños núcleos no favorables en la región istmica.
2. La mayor parte del país muestra condiciones recomendables para intentar.

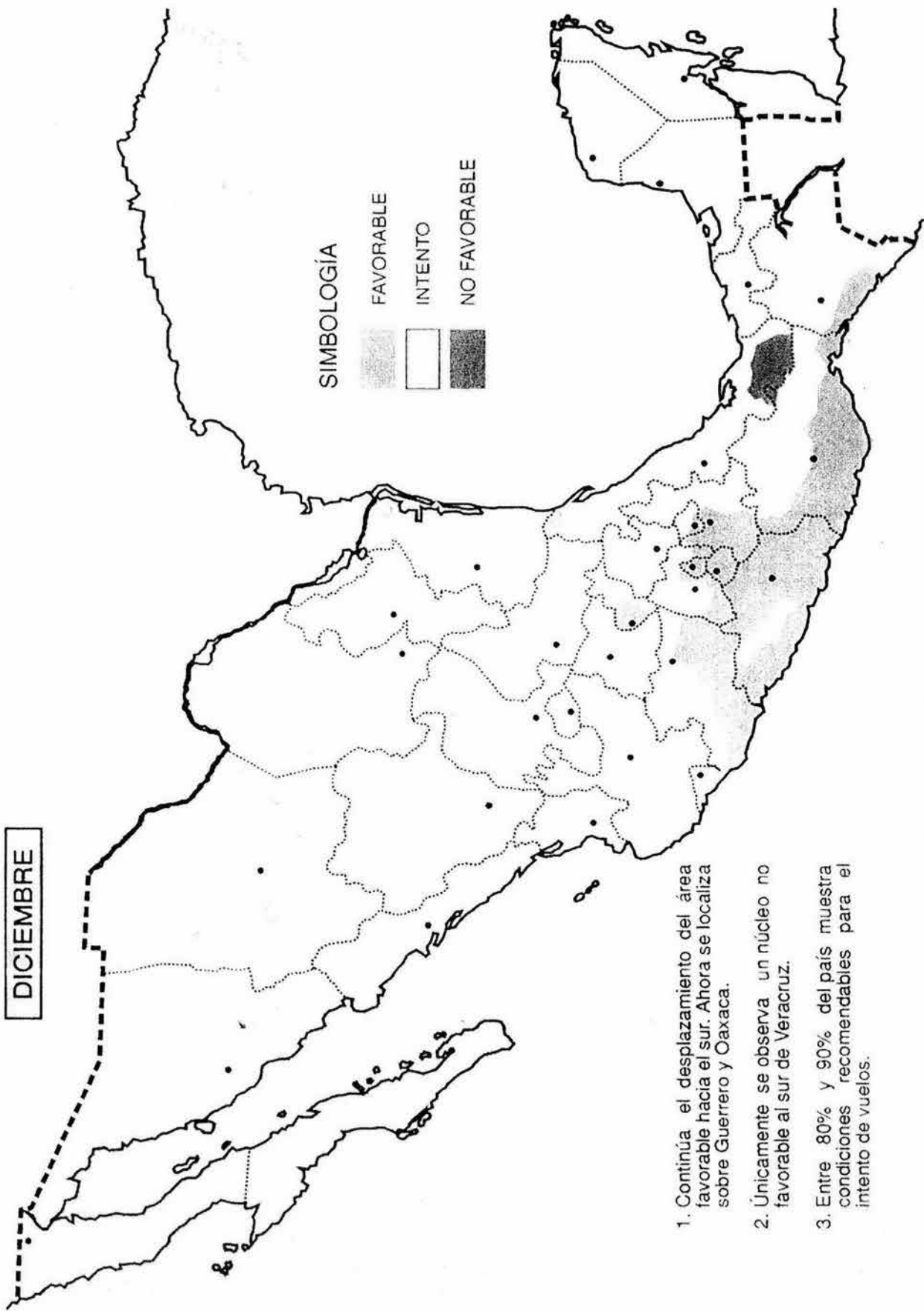
NOVIEMBRE



1. La zona favorable se desplaza del noreste hacia el centro y occidente del país.

2. Disminuye lo favorable en el norte y se mantienen núcleos no favorables en Veracruz y Chiapas.

DICIEMBRE



SIMBOLOGÍA

- FAVORABLE
- INTENTO
- NO FAVORABLE

1. Continúa el desplazamiento del área favorable hacia el sur. Ahora se localiza sobre Guerrero y Oaxaca.
2. Únicamente se observa un núcleo no favorable al sur de Veracruz.
3. Entre 80% y 90% del país muestra condiciones recomendables para el intento de vuelos.

