



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**ELABORACIÓN DE CARTAS AERONÁUTICAS OACI,
PROPUESTA DE PLANO DE OBSTÁCULOS DE
AERÓDROMO TIPO C, EN FORMATO DIGITAL**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A :
ANA ROSA ROSALES TAPIA**

Director de Tesis: M. en C. José Antonio Quintero Pérez



México, D.F.

Junio de 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1. Fundamentos Generales de Cartografía y de Sistemas de Información Geográfica	5
1.1. Propiedades y Elementos de la Cartografía General.	6
1.2. Diseño de Mapas Temáticos.	15
1.3. Referencias Históricas de los Sistemas de Información Geográfica.	18
1.4. Conceptos y Principios Generales de los Sistemas de Información Geográfica.	19
1.5. Modelos de Datos Espaciales.	25
1.6. Bases de Datos Geográficas.	29
1.7. Aplicaciones de los SIG.	32
Capítulo 2. Características Generales de las Cartas Aeronáuticas.	36
2.1. Antecedentes de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).	36
2.2. Antecedentes de Aeropuertos y Servicios Auxiliares.	39
2.3. Disposiciones Generales de la OACI para el Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.	42
Capítulo 3. Adquisición y Procesamiento de la Información.	61
3.1. Selección de las Capas de Información Necesaria para el Logro de los	

Objetivos.	71
3.2. Procesamiento de la Información Vectorial.	74
3.3. Diseño de Bases de Datos y Metadatos.	85
3.4. Propuesta de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C en Formato Digital.	89
Conclusiones	93
Bibliografía	95

Índice de Figuras

	Pág.
1.1. Proyección Cónica Conforme de Lambert.	9
1.2. Proyección Universal Transversa de Mercator.	11
1.3. Escala gráfica.	12
1.4. Mapa base.	17
1.5. Mapa temático, carreteras.	17
1.6. Sobreposición de mapas.	22
1.7. Percepción remota: fotografía aérea digital.	23
1.8. Ejemplo del uso de un CAD.	24
1.9. Modelo de datos raster.	26
1.10. Ejemplo de modelo de datos raster: modelo digital de elevación.	27
1.11. Modelo de datos vectorial.	28
1.12. Ejemplo de modelo de datos vectoriales.	29
1.13. Base de datos asociada a un mapa.	29
1.14. Esquema de un Sistema de Archivos.	30
1.15. Esquema del Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS).	31
2.1. Datos de la proyección utilizada.	44

2.2. Datos de la cuadrícula utilizada.	44
2.3. Registro de enmiendas.	45
2.4. Distancias declaradas.	45
2.5 Identificación.	45
2.6. Declinación magnética.	46
2.7. Clave del plano.	47
2.8. Orden de precisión.	48
3.1. Retícula UTM.	63
3.2. Nomenclatura de cartas topográficas 1:50 000 de INEGI.	64
3.3. Cartas 1:50 000 de INEGI, Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón.	65
3.4. Sistema de Descarga del Continuo de Elevaciones Mexicano.	66
3.5. Modelo Digital de Elevación.	67
3.6. Mosaico de fotografías aéreas digitales.	70
3.7. Parámetros de la proyección UTM, Datum WGS84.	75
3.8. Herramienta <i>Project</i> de ArcGis.	76
3.9. Tipos de Topología.	77
3.10. Los polígonos no deben superponerse.	80
3.11. No deben tener espacios entre polígonos.	80
3.12. Las líneas no deben superponerse.	81
3.13. Las líneas no deben tener nodos “colgados”.	82

3.14. Las líneas no deben de intersectarse.	82
3.15. Las líneas no deben tener pseudo-nodos.	83
3.16. Ejemplo de base de datos.	86
3.17. Metadatos FGDC ESRI.	87
3.18. Principales elementos de los metadatos según la norma ISO 19115.	88
3.19. Simbología propuesta por el Plano de Obstáculo.	91
3.20. Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C en formato digital.	92

Índice de Tablas

	<i>Pág.</i>
3.1. Capas de información de una carta topográfica escala 1:50 000 de INEGI.	71
3.2. Capas de información seleccionadas.	73
3.3. Capas de información generadas.	74
3.4. Capas del Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.	90

Introducción

Una carta aeronáutica es la representación de una porción de tierra, con rasgos físicos naturales y antrópicos, diseñada específicamente para satisfacer los requisitos que tiene la navegación aérea. Se trata de un mapa en el que se representan las rutas que deben seguir las aeronaves, facilitando las ayudas, los procedimientos y otros datos imprescindibles para el piloto. El Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C, como su nombre lo indica, tiene como función proporcionar toda la información necesaria sobre los obstáculos que se encuentran en la región, para que el explotador (operador del aeropuerto o la línea aérea) pueda preparar los procedimientos correspondientes para cumplir con las limitaciones de utilización, proporcionando especialmente aquellos obstáculos que limiten o infrinjan las superficies de despegue y aproximación o en los procedimientos de emergencia. La seguridad de la navegación aérea exige la producción y publicación de cartas aeronáuticas actualizadas y precisas, que respondan a las necesidades actuales de la aviación adoptando las disposiciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Sin embargo, algunos aeropuertos de la República Mexicana, como el Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón, no cuentan con estas cartas, y en los casos en los que existen, son obsoletas, impresas a escalas poco funcionales, y sin reciente actualización. Lo que además de dificultar las operaciones del aeródromo, las hace riesgosas, y no se propicia una correcta regulación para la construcción y establecimiento de infraestructura que pueda resultar como un obstáculo a las aeronaves.

Para poder solucionar esta problemática, Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) llevó a cabo un Convenio de Colaboración con el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota (LABSIGYPR) del Instituto de Geografía de la UNAM para la elaboración de la Cartografía ASA-OACI, el cual fue el marco para el desarrollo una metodología específica para cartas aeronáuticas, así como este documento.

Este trabajo podrá ser tomado en cuenta por la metodología y aplicación que tiene, ya que conjunta los principios básicos de la cartografía, el diseño de mapas temáticos, el uso de los Sistemas de Información Geográfica y geodatabases; además de la importancia que tiene para la planeación territorial alrededor de la infraestructura aeroportuaria. Por otra parte, los mapas resultantes en formato digital, son de manejo simple y de fácil actualización.

Las soluciones cognoscitivas comprendidas en esta investigación podrán enriquecer los contenidos de las asignaturas de Cartografía, Automatización, Edición y Reproducción de Mapas y Geografía Aplicada dentro de la licenciatura en Geografía, ya que aportará un estudio de caso, que podrá ser utilizado para ejemplificar la aplicación de los sistemas de información geográfica en la elaboración de cartografía temática, manejo de bases de datos; así como análisis, interpretación y planificación de la red de aeropuertos en las principales ciudades del país.

Los resultados de este trabajo podrán ser utilizados por planeadores o por las personas que toman las decisiones respecto a la planeación, estructuración, elaboración e implementación de nuevos programas aeroportuarios así como en la reestructuración de la red de aeropuertos existente, tanto de la Red ASA que consta de 20 aeropuertos, así como de ASUR (Aeropuertos del Sureste), además de los aeropuertos de administración privada.

Hipótesis

La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la elaboración del Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C hará más eficiente su consulta, más precisa la información que lo integra, y será más sencilla y rápida su actualización.

Objetivo general

- Elaborar una propuesta de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C en formato digital, adoptando las disposiciones generales de la OACI.

Objetivos particulares

- Definir el marco teórico-metodológico para la aplicación de los sistemas de información geográfica en la elaboración de cartografía temática.
- Describir los antecedentes y características actuales de las Cartas Aeronáuticas.
- Diseñar el Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C en Formato Digital cumpliendo los requerimientos de la OACI.
- Realizar la corrección topológica de las capas de información vectorial.
- Seleccionar capas de información en formato raster que sean útiles y aporten mayor información al Plano de Obstáculos.
- Determinar la estructura de las geodatabases y los metadatos por capa.
- Proporcionar los datos sobre los obstáculos para que el explotador pueda preparar los procedimientos de aproximación y de ascenso de las aeronaves al aeródromo.

Este trabajo está conformado por tres capítulos. En el primero de ellos se hace referencia a los elementos de cartografía general, así como el diseño de mapas temáticos. También trata los antecedentes históricos, conceptos y principios de los sistemas de información geográfica. Se describen los modelos de datos espaciales, vector y raster, así como las bases de datos geográficos (geodatabases); además de explicar algunas de sus aplicaciones más comunes.

En el segundo capítulo, se abordan los antecedentes de la OACI como organismo integrante de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que regula la aviación civil y de ASA como organismo descentralizado del Gobierno Federal. Por otro lado, se hace una revisión a los manuales, anexos técnicos y disposiciones generales de la OACI para la elaboración de las cartas aeronáuticas, en específico del Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.

En el tercer capítulo se presentan los procedimientos a seguir para la adquisición de la información, vectorial, raster, así como la información recabada en campo, los resultados de los levantamientos con GPS, medición de obstáculos y los vuelos de fotografía aérea. Así mismo, trata sobre los procesos realizados a esta información, y la conformación de sus bases de datos, para integrarla posteriormente en un SIG y elaborar el Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.

Finalmente, se presenta el diseño de la Propuesta de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C, en formato digital, con capacidades de consulta de bases de datos, metadatos, fácil y rápida actualización y/o modificación; con una serie de capas seleccionables según las necesidades del usuario, cubriendo las características que debe de tener este tipo de carta aeronáutica, y siguiendo las disposiciones de la OACI, así como las de ASA, en su anexo técnico al convenio de colaboración con el Instituto de Geografía.

Capítulo 1

1. Fundamentos Generales de Cartografía y de Sistemas de Información Geográfica

En la actualidad la cartografía ha tenido una serie de cambios motivados por el avance tecnológico que se tiene, ya no se realiza de manera tradicional, como en épocas anteriores donde la percepción del medio y el análisis era lo más importante para realizar los mapas, y se tenía que viajar hasta el lugar de los hechos para tener el mapa más exacto posible.

Hoy en día con el avance tecnológico que existe con las computadoras y los sistemas de información geográfica, la elaboración de los mapas ha pasado a ser una tarea más sencilla, en la que el trabajo de verificación en campo, el control geodésico y el análisis la complementan. Sin embargo, algunas instituciones solo se dedican a la elaboración de mapas sin respetar los lineamientos que establece esta ciencia, ya que de un mismo mapa realizan otros a diferente escala, ya sea ampliando y reduciendo la imagen original por métodos computarizados, por lo que se comete un grave error en el aspecto gráfico, otro de los motivos es que por la rapidez con que se elaboran los trabajos cartográficos, no verifican lo que realizan en el campo debido a que se requiere de mayor tiempo.

Una de las características que tiene esta ciencia cartográfica es que para realizar el trabajo de campo, es necesario contar con un previo estudio en gabinete del área de trabajo, consultando mapas y todo lo relacionado con el lugar, y una vez que se regresa de campo, también es necesario trabajar en gabinete para concluir el trabajo y poder diseñar los mapas, existe así una estrecha relación entre trabajo de gabinete y de campo.

Son pocas las instituciones que elaboran cartografía tradicional, es decir, sin métodos computarizados pero aquellas que realizan cartografía automatizada cuentan con una

gran ventaja en todos los aspectos: rapidez, facilidad, sobreposición, entre otras variables de aplicación.

Dentro del área de la cartografía, es importante conocer algunos conceptos así como todo lo relacionado con los mapas, ya que entre mayor sea el conocimiento que se tenga sobre el mapa, mayor será el aprovechamiento que se obtendrá.

1.1. Propiedades y Elementos de la Cartografía General

Las propiedades que presentan los mapas sirven para diferenciarlos de cualquier otra representación de la superficie terrestre, como puede ser una fotografía o una pintura. De ahí que sean tres las propiedades esenciales de todo mapa geográfico:

- Ley matemática espacial de la estructura del mapa: consiste en el paso de la imagen física de la Tierra a un plano, apoyado en una superficie matemática, para lo cual se utilizan las proyecciones cartográficas que son las que establecen una relación entre las coordenadas de la superficie de la Tierra y las correspondientes con el plano. Esta ley matemática nos permite obtener datos sobre la posición y la forma de los objetos representados, así como también las dimensiones del plano.
- Método de representación cartográfica: este método se emplea en la representación de objetos y eventos que se muestran en el mapa, los signos cartográficos juegan un papel esencial, ya que en ellos se vacía la información que debido a su importancia debe ser representada tomando en cuenta la temática del mapa.
- Generalización: significa incrementar la legibilidad de un mapa disminuyendo su contenido, de tal forma que mantenga en lo posible la precisión de su información. Es la propiedad más importante del mapa, destaca los aspectos

más sobresalientes de la superficie de la Tierra representada, y está relacionada con la asignación del tema y la escala.

Para poder emplear en forma correcta los mapas es necesario conocer todos los elementos que los constituyen, con el propósito de entender las correlaciones que existen entre ellos. Los elementos de los mapas son cuatro:

- **Representación cartográfica:** es la parte principal de cualquier mapa, está dividida en distintas ramas de acuerdo al objetivo, topografía, hidrología, asentamientos humanos, vegetación, vías de comunicación, así como también los aspectos de cultura y división política, etc.
- **Base matemática:** es necesaria para pasar una parte de la superficie de la Tierra a un plano tratando de que no pierdan sus verdaderas dimensiones, para lo cual se apoya en la proyección, la escala y la base geodésica.
- **Elementos auxiliares:** estos ayudan a entender de una mejor manera el mapa y son el título, tema, leyenda, información cartométrica, datos informativos, como son la fecha, edición y fuentes de consulta que se emplearon para realizar el mapa.
- **Información complementaria:** entre estos se encuentran los cuadros de referencia que se ubican en el mapa con respecto a otros que se han realizado en el país a nivel general, también se localizan los mapas adyacentes que son de ayuda en la ubicación del mapa pero a nivel local con respecto a otros, y por último las gráficas y los perfiles que aclaran, complementan y enriquecen la propia imagen cartográfica.

1.1.1. Proyecciones

Por definición, la cartografía trata sobre la elaboración de mapas e incluye todas las operaciones comprendidas desde los reconocimientos de campo hasta la impresión

final. No es posible llevar directamente la superficie esférica o elipsoidal a una superficie plana sin modificar las relaciones geométricas, por lo que se ha estudiado una transformación que pueda guardar en la carta varias características que tiene la superficie esférica. Esta forma de la Tierra ha obligado a que se utilice una figura geométrica auxiliar desarrollable (plano, cono o cilindro), a la cual se le proyecten los paralelos y meridianos desde un punto de vista o centro de perspectiva, el que también puede ser variable en su situación (Caire, 2002).

La figura geométrica empleada: plano, cono o cilindro; la posición que se les aplique a la mencionada figura: normal, paralela o inclinada al ecuador y la situación del punto de vista dan origen a casi todas las proyecciones cartográficas conocidas.

Los puntos se localizan por sus valores coordenados de latitud y longitud “red de paralelos y meridianos”, a esta red se le denomina gradícula o canevá y a la construcción en una superficie plana se le nombra proyección cartográfica.

Cada una de las proyecciones tiene sus propias características y con el conocimiento de éstas se elige la proyección a utilizarse según las necesidades y objetivos requeridos. En relación con las propiedades de forma, área, distancia y dirección se han ideado las proyecciones: conformes, equivalentes, equidistantes y azimutales; además, también se clasifican por su construcción en: cilíndricas, cónicas, azimutales o convencionales (Caire, *op.cit.*).

En México son dos las proyecciones más usadas de acuerdo a los propósitos y objetivos que se quieren alcanzar. Son la proyección la Cónica Conforme de Lambert (CCL) y la Universal Transversa de Mercator (UTM).

Proyección Cónica Conforme de Lambert. Esta proyección es la más empleada en las cartas aeronáuticas, por su pequeña anamorfosis y sus acimuts relativamente rectilíneos para una región de varios cientos de kilómetros cuadrados. En esta proyección los paralelos concéntricos están espaciados de tal modo que cada cuadrilátero del canevá tienen las mismas proporciones que en el globo. Los

meridianos radiados desde el centro de los paralelos cortan a los dos paralelos principales en partes de verdadera magnitud.

Existen varias modificaciones de esta proyección, aplicadas recientemente a necesidades aeronáuticas. También se empleó esta proyección en los mapas de la zona occidental en la primera guerra mundial, por no exceder el error de un 0.5 por 100 del área representada (Figura 1.1).

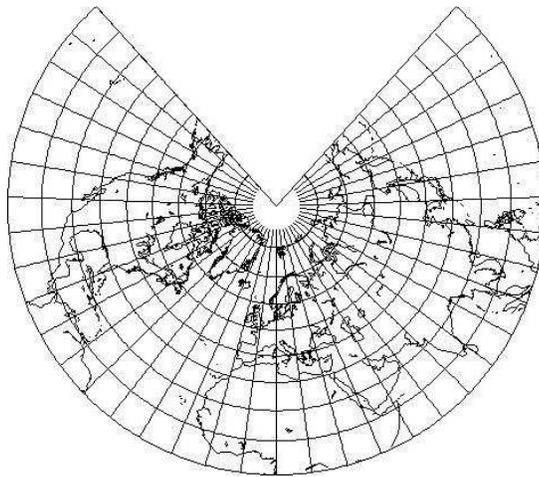


Figura 1.1. Proyección Cónica Conforme de Lambert.

Esta proyección fue ideada por el matemático alemán J.H. Lambert (1728-1777), el primero que dio carácter realmente matemático al estudio de las proyecciones cartográficas y que introdujo antes que nadie la idea de las proyecciones conformes y equivalentes (Chimal, 1998).

La proyección Cónica Conforme de Lambert es la más apropiada para representar a todo el país y se utiliza para mostrar aspectos generales, de acuerdo a su forma, extensión y ubicación, se elaboran mapas con esta proyección a escala 1:1,000,000 y más chicas.

Proyección Mercator. En 1569, construyó Mercator su mapamundi en esta proyección, reseñando sobre el mismo mapa su fundamento y características. La Proyección

Mercator consta de paralelos horizontales y meridianos verticales. Los meridianos equidistantes entre sí están colocados de tal modo que, en el ecuador, esta equidistancia está representada en verdadera magnitud a la escala correspondiente. Los paralelos están dispuestos de tal manera que, en una zona de dimensiones relativamente pequeñas, la relación entre dos distancias tomadas respectivamente sobre meridianos y paralelos es igual a la relación entre las longitudes homólogas en el globo terráqueo. Por ejemplo, a los 60° de latitud, la distancia entre dos paralelos consecutivos es doble que en el ecuador; y como los meridianos guardan entre sí la misma separación en todas las latitudes, resulta que las dimensiones del mapa están exageradas en un ciento por ciento en la latitud de 60°. A los 80° de latitud, esta amplificación de dimensiones es de seis veces. Es evidente que en esta proyección no puede estar representado el polo, ya que los meridianos son paralelos entre sí y por lo tanto no se cortan. La proyección Mercator no es la proyección de una esfera sobre un cilindro, sino una modificación de esta clase de representaciones (Figura 1.2).

En la esfera los paralelos van siendo más cortos a medida que se acercan a los polos, y a su longitud es proporcional al coseno de la latitud. En la proyección Mercator, los paralelos tienen todos la misma longitud, lo cual significa que cada paralelo está aumentado en $1: \cos \delta = \sec \delta$, donde δ es la latitud expresada en grados. Para que sea una misma la escala para meridianos y paralelos, cada grado de latitud debe aumentarse en la secante de la latitud.

La proyección UTM es la que más aplicación tiene en el país, muchos de los trabajos cartográficos se han realizado en dicha proyección. Siendo el INEGI el principal en elaborar su cartografía en la proyección UTM, se utilizan en aspectos regionales y locales, así mismo sirven para elaborar proyectos de campo, entre otras aplicaciones. Para el caso de México, los parámetros utilizados en la proyección UTM son:

Proyección Transversa de Mercator

Esferoide de Clarke 1866

Meridiano Central: Para la zona 11 es -117° , zona 12 -111° , zona 13 -105° , zona 14 -99° , zona 15 -93° , zona 16 -87°

Latitud de Referencia: 0

Factor de Escala: 0.09996

Falso Este: 500,000

Falso Norte: 0

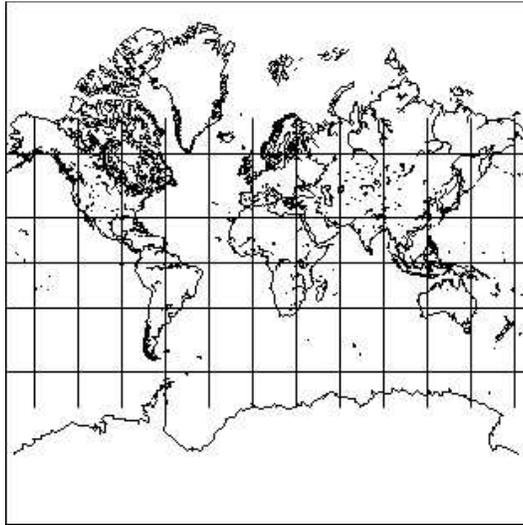


Figura 1.2. Proyección Universal Transversa de Mercator.

1.1.2. Escala

Se ha definido el mapa como una representación convencional de la configuración superficial de la Tierra. Toda representación, como toda imagen, está en cierta relación de tamaño (proporción) con el objeto representado. A esta proporción se le llama escala. Los cuadros y retratos corrientes no son ni mucho más grandes ni mucho más pequeños que el objeto representado y no requieren escala. Pero un mapa es millares y hasta millones de veces más pequeño que la superficie de la Tierra representada y es preciso poner la escala porque a simple vista no se aprecia la proporción a que está dibujado (Raisz, 1985).

La escala, está directamente relacionada con el contenido, el propósito, objetivos, dimensiones y precisión del mapa. Ella caracteriza al mapa, y su correcta elección es determinante para representar mediante la expresión numérica, y/o la expresión gráfica.

La escala se representa generalmente, por los modos siguientes:

- Escala numérica o fracción representativa que da la relación entre la longitud de una línea en el mapa y la correspondiente en el terreno en forma de quebrado con la unidad por numerador.

$$\text{Esc} = 1:50\ 000 \quad \text{ó} \quad \text{Esc} = 1/50\ 000$$

- Escala gráfica, que representa las distancias en el terreno sobre una línea recta graduada. Esta escala tiene la ventaja de que sirve siempre que el mapa se reproduce por métodos fotográficos (Figura 1.3).

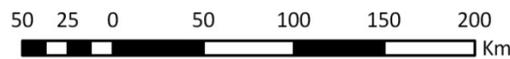


Figura 1.3. Escala gráfica.

La expresión gráfica de la escala la constituye un segmento de recta graduado a intervalos regulares que corresponden a las distancias reales del terreno. La porción izquierda, representada por el segmento 0 al 50, se denomina extensión debido a que es donde la escala gráfica tiene divisiones con menor espaciamiento y al resto, que es la mayor parte con espaciamientos más amplios, se le da el nombre de escala principal. La escala gráfica se usa como escalímetro para medir las distancias en el mapa y la extensión se utiliza para dar mayor exactitud. Esta escala, a diferencia de la numérica, tiene la particularidad de permanecer constante en forma relativa al mapa, a pesar de las reducciones o ampliaciones a qué éste se someta (Caire, *op.cit.*).

1.1.3. Representaciones Cartográficas

La información que se comunica mediante un mapa debe ser fácil de leer, entender y memorizar. Con el fin de alcanzar estos objetivos el cartógrafo debe usar un lenguaje apropiado, como puede ser: visual, que siga las reglas de la percepción visual; universal, debe ser entendido por todo el mundo; gráfico, debe ser un objeto material que se pueda conservar y comparar con otros mapas (Caire, *op.cit.*).

El mapa representa cierta parte del espacio, cada punto se puede considerar como la intersección de los ejes geográficos o geométricos, por lo que se podrá digitalizar, codificar y establecer en un archivo. La localización de un fenómeno se debe adoptar a su posicionamiento conforme a la escala del mapa, mediante la generalización.

El símbolo gráfico es una imagen elegida por el cartógrafo con la finalidad de representar datos, un fenómeno, una idea; es por lo tanto el más fundamental de los elementos del diseño y lenguaje cartográfico. Los símbolos en un mapa se deben construir para mostrar con claridad la localización geográfica precisa de los detalles que representan y las relaciones que existen entre ellos.

Los símbolos compilados sobre un mapa están diferenciados entre sí por su posición y pueden ser: puntual, construido ya sea con un punto o una pequeña figura puntual; lineal, se construyen a partir del eje que une dos puntos; areales, se construyen a partir de él y están limitados a la frontera correspondiente a los detalles topográficos reales del terreno.

El diseño de los símbolos es independiente de su posición. Un símbolo puntual se puede usar en la localización de un punto, a lo largo de una línea o dentro de un área, lo mismo aplica al símbolo lineal. El diseño de los símbolos es independiente al área afectada, un símbolo puntual puede ser muy grande sobre el mapa, por ejemplo un círculo proporcional a la población de una ciudad muy importante. Por otra parte, un

símbolo areal puede ser pequeño, como es un dato relacionado con el área de una municipalidad pequeña sobre un mapa a la escala 1:2,000,000.

Cuando un mapa se amplifica o reduce, es a veces necesario modificar los símbolos, lo que a la vez puede implicar una necesaria alternación de los mismos, que sin embargo continúan representando los mismos datos. Las variables visuales constituyen medios para variar los elementos gráficos o los símbolos empleados en el mapa. Se puede hacer uso de las variaciones en tamaño, textura, iluminación, valor, color, orientación y forma. El tamaño se puede expresar en términos de longitud, área o volumen (aun cuando el ojo solamente pueda percibir dos dimensiones sobre el mapa).

Dentro del símbolo, ciertos elementos gráficos simples pueden estar distribuidos regularmente. La textura se refiere a la forma de estos elementos y a la estructura de su arreglo espacial regular. El valor es la variación en la intensidad de la luz percibida por los ojos como tonos de gris, variando del blanco al negro.

Cuando el tamaño de los elementos gráficos que forman un símbolo se modifica por amplificación o reducción fotográfica, se obtiene lo que se llama una variación de grano. Las variaciones de tonalidad entre los colores rojo, amarillo, verde, azul, etc., que puede percibir el ojo cuando se ven los símbolos, no se producen por el uso de elementos gráficos simples particulares o por el diseño de características particulares para los símbolos, sino por el cambio de las tintas de impresión usadas en los mapas. Las impresiones que experimenta el lector de mapas cuando ve los colores ha sido siempre una guía para el cartógrafo. Los colores connotativos son aquellos que recuerdan al lector los colores que se encuentran en la naturaleza: verde para bosques y vegetación, azul para cualquier detalle relacionado con el agua, etc., se hace una distinción entre los colores cálidos (rojo, amarillo) y los colores fríos (azul, violeta), o colores frescos (verde). Debido a las diferencias entre sus longitudes de onda, los colores llegan al ojo en forma diferente, algunos se perciben más cerca o antes (rojo, colores con longitudes de onda larga). Otros se perciben después o más allá (azul, colores con longitud de onda corta). También los colores pueden parecer más o menos

puros, o más o menos intensos de acuerdo con los otros colores que lo rodean. Un color tiene una apariencia más clara y más vívida cuando se encuentra rodeado del blanco y más oscura cuando está circundada por el negro.

Debido a la orientación que se le dé al símbolo es posible expresar diferencias, pero solamente se pueden usar con los símbolos lineales. La orientación es la única variable visual que puede proporcionar representaciones efectivas de todos los fenómenos dinámicos como suelen ser: direcciones, movimientos, atracciones, migraciones, etc.

Las variaciones en forma consisten en modificar la delineación del símbolo. Estas variaciones se aplican solamente a los símbolos puntuales y en algunos casos a los símbolos lineales (Caire, *op.cit.*).

1.2. Diseño de Mapas Temáticos

El significado del término “cartografía” ha cambiado fundamentalmente desde 1960. Antes de esta fecha, se definía a la cartografía como la “fabricación de mapas”. El cambio en la definición se debe a dos factores: el primero, al hecho de que el tema se ha desplazado hacia las ciencias de la comunicación, y el segundo, fue el desarrollo de las computadoras. La cartografía en la actualidad se ve como “la expresión de la información espacial por medio de mapas”.

Los elementos que pertenecen a la definición de mapas son la información espacial, representación gráfica, escala y símbolos. Una posible definición de mapa puede ser la siguiente: “modelo gráfico de los aspectos espaciales de la realidad”, y no todos los mapas están impresos en una hoja de papel: como los modelos de relieve o los globos terráqueos, que también son considerados como mapas (Chimal, *op.cit.*).

Bajo la influencia del surgimiento de las computadoras y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el campo de la elaboración de mapas, nuevas definiciones de cartografía han emergido gradualmente: la transferencia de información que está

centrada en la base de datos espaciales, que se puede considerar en sí misma un modelo polifacético de la realidad geográfica. Tal base de datos espacial entonces, sirve como la base central de la secuencia entera de procesos cartográficos, recibiendo varias entradas de datos y dispersando varios tipos de productos de la información.

Los mapas son las imágenes espaciales que pueden influenciar la concepción de las personas sobre el espacio. Los mapas tienen esta influencia en parte, debido a las convenciones y en parte a las características generales de las señales gráficas usadas. Las convenciones desempeñan especialmente un papel en el mapeo topográfico: la mayor parte de los símbolos usados en mapas topográficos han llegado a nosotros de forma condicionada desde los mapas del siglo XVIII y nos hemos apegado a ellos.

Cada vez hay una mayor proporción de mapas, sin embargo, poco tienen que ver con descripciones del terreno, sino que tienen otros objetivos (mapas temáticos). Esto se debe a los temas y aspectos evolutivos de la realidad que se visualizan en los mapas, y que no están regidos por convenciones, sino que pueden mejorar la transmisión de la información, utilizando las características naturales de la variación de las características gráficas (forma, color, tamaño, textura) de los símbolos que usamos. Así pues, mientras los símbolos de los mapas topográficos se basan más en las convenciones ya establecidas, los mapas temáticos se basan más en una “gramática cartográfica”.

Los datos que tienen que ser visualizados, referirán siempre a objetos o a fenómenos en la realidad. En cartografía se utilizan puntos, líneas y polígonos para representar la localización y atributos de los datos.

Tradicionalmente, la división principal de los mapas, es en mapas topográficos y mapas temáticos. Los mapas topográficos suministran una imagen general de la superficie de la tierra: caminos, ríos, edificios, a menudo la naturaleza de la vegetación, el relieve y los nombres de varios objetos trazados. Los mapas temáticos representan la distribución de un fenómeno en particular. Para ilustrar esta distribución correctamente cada mapa temático necesita, como base, información topográfica; esta

es proporcionada a menudo por un mapa topográfico donde se han omitido las características de menor importancia (Figura 1.4).

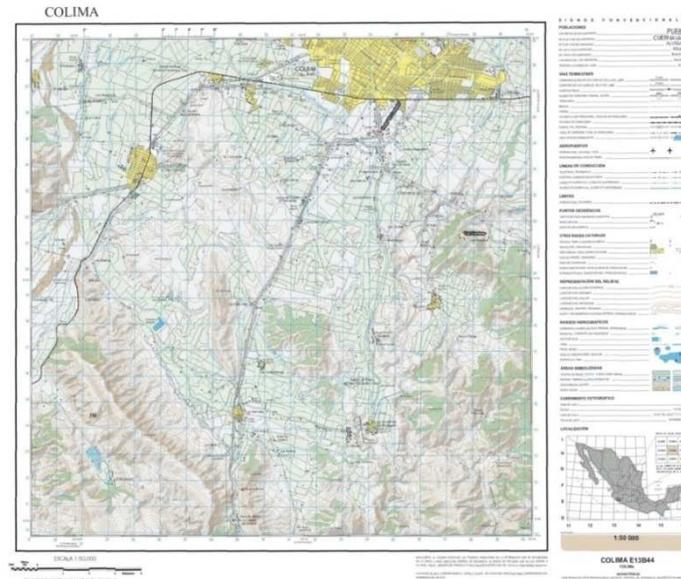


Figura 1.4. Mapa base.

Un mapa temático también surgirá si un aspecto de un mapa topográfico se destaca (tal como autopistas o molinos de viento), para percibir las otras categorías de datos sobre el mapa como fondo (Figura 1.5).



Figura 1.5. Mapa temático, carreteras

En un ambiente digital, la diferenciación entre los mapas topográficos y los mapas temáticos es menos relevante, pues ambos tipos de mapa consisten en un número de capas, en un mapa topográfico sería una combinación de capas de caminos, separada de las vías férreas, una capa de asentamientos humanos, hidrografía, curvas de nivel, toponimia y una de uso de suelo. Cada una de estas capas sería un mapa temático por sí misma, y una combinación de capas en las cuales los datos tengan el mismo peso visual, sería un mapa topográfico. Si se acentuara o destacara gráficamente una categoría, y las otras quedaran relegadas como fondo, entonces, se tendría otra vez un mapa temático (Kraak, 1996).

1.3. Referencias Históricas de los Sistemas de Información Geográfica

A mediados de la década de los 60, en Canadá se implementó el primer Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado al inventariado de recursos naturales. Estos sistemas surgen de la necesidad de integrar grandes volúmenes de información en programas especializados, pero el propósito principal fue contar con herramientas de análisis y procesamiento de datos espaciales, la esencia debería ser pues el análisis de datos.

Como antecedentes de estos sistemas se encuentran aplicaciones desarrolladas en Estados Unidos, las cuales aportaron algunas experiencias a los desarrolladores en Canadá para el surgimiento de los SIG.

El desarrollo de los SIG fue paralelo a otros tipos de sistemas y tecnología. Como tecnología consideramos el desarrollo de las computadoras como uno de los principales motores, con base en estas, otras tecnologías informáticas orientadas al manejo de cartografía y sistemas de información en general, en los años 50, fue posible la implementación de los SIG. Estas tecnologías apoyaban tareas de los especialistas en diversas disciplinas, como la cartografía asistida por computadora o automatizada, la

cual auxiliaba a los cartógrafos en la elaboración de mapas, reduciendo tiempos de edición y generación de mapas.

Una de las principales aplicaciones de los antecesores al SIG, fue el ámbito militar, donde se generaban mapas con base en los datos recolectados por los radares. Pero pronto se diversificaron las aplicaciones y estas penetraron en campos académicos, sobre todo con las necesidades de identificar mejores métodos para aprovechar y manejar la información geográfica.

1.4. Conceptos y Principios Generales de los Sistemas de Información Geográfica

Existen docenas de definiciones para los SIG, cada una desarrollada desde una perspectiva o disciplina distinta. Algunas se enfocan en las conexiones con el mapa, en las bases de datos, o en el *kit* de herramientas del software, y otras enfatizan el uso de las aplicaciones como soporte en la toma de decisiones. Una de las definiciones más generales se desarrolló del consenso entre 30 especialistas:

- Un SIG, “es un sistema de hardware, software, datos, personas, organizaciones y arreglos institucionales para coleccionar, almacenar, analizar y distribuir información acerca de áreas de la tierra” (Dueker y Kjerne, 1989; en Chrisman, 1997).

Aunque esta definición puede parecer débil, abarca todas las características, mientras los términos se amplíen a su significado pretendido. Por ejemplo, la palabra *sistema* implica un grupo de entidades y actividades conectadas. Un sistema de información automatizado organiza la colección de datos, procedimiento computacionales, y organizaciones humanas para responder a un cierto propósito. Para los SIG, el propósito puede implicar una decisión compleja como una política sobre manejo forestal o una decisión más simple y rutinaria para conceder un permiso para el

mantenimiento de un inventario. Es importante notar, que la definición distingue cuidadosamente entre los datos en el sistema y la información que resulta del sistema. Los datos proporcionan la materia prima para información, así como los símbolos transmiten un mensaje en un mapa. Tanto para los mapas como para los sistemas de información, los datos en bruto no son suficientes; relaciones adicionales se deben construir del contexto en el que se trabaja.

La comprensión más común de los SIG resalta que son una herramienta. Sin embargo, no hay herramienta que sea totalmente neutral, los SIG se pueden diseñar para ser eficaces y eficientes para cierta gama de propósitos. Las herramientas se desarrollan dentro de un contexto social e histórico para responder a necesidades cambiantes, pero también se piensan para cambiar su entorno. Esta perspectiva se puede resumir por la definición siguiente:

Sistema de Información Geográfica (SIG) –Es la actividad organizada, por medio de la cual las personas pueden:

- *Medir* aspectos de procesos y fenómenos geográficos,
- *Representar* estas mediciones, usualmente en forma de una base de datos computarizada, para enfatizar temas espaciales, entidades y relaciones,
- *Funcionar* sobre estas representaciones para producir más mediciones y para descubrir nuevas relaciones integrando diferentes fuentes; y
- *Transformar* estas representaciones para ajustarse o conformar otros marcos de entidades y relaciones

Estas actividades reflejan el contexto más grande (instituciones y culturas) en las que la gente realiza su trabajo. Alternadamente, los SIG pueden influenciar estas estructuras (Chrisman, *op.cit.*).

1.4.1. Componentes de un SIG

Un SIG está integrado por diversos componentes perfectamente estructurados, los cuales aislados no tendrían utilidad en un proyecto. Los componentes son: *hardware* o equipos, *software* o programas, datos e información, métodos y organización. Cada uno de estos elementos sirve a las funciones del sistema de ingreso, salida, almacenaje y procesamiento de datos.

Hardware, son todos los implementos que tienen una presencia tangible, como la PC, estaciones de trabajo, servidores, tabletas digitalizadoras, escáner de mapas, GPS, impresoras y plotter. También se hace referencia a las redes y otros implementos que auxilien a la comunicación de los equipos.

El *software* cumple con la función de puente entre el usuario y el *hardware*, es decir, con su uso se posibilita la entrada de datos a las computadoras o servidores.

Los datos hacen referencia a los registros de cualquier índole que son necesarios para realizar los trabajos. Estos datos deben estar almacenados en los equipos y serán manipulados o ingresados al sistema por los programas. Los datos juegan un papel muy importante en la implementación de un sistema.

En el mismo sentido es importante destacar que para la implementación de un sistema es necesario tener claro las necesidades de la organización a la cual se va a destinar, pues cada sistema que se diseña e implementa es a medida de dichas instituciones, ya sean de carácter público o privado. Las organizaciones son los usuarios, operadores y creadores de los SIG pues sin estas no tendrían sentido (Madrigal, 2006).

1.4.2. Modelo de sobreposición de mapas

La *sobreposición* es el manejo de los datos a partir de colocar capas de información una sobre otra. Este procedimiento generará nuevas capas donde se identificarán las relaciones espaciales de las variables.

En primer término se define que el uso de este tipo de análisis mostrará un nivel aritmético: sumas, restas, multiplicaciones y divisiones; y un nivel lógico que puede ser la búsqueda de ciertos patrones o valores que cumplan alguna condición que solicitamos. Para realizar este proceso, es necesario consultar en pares o más capas.

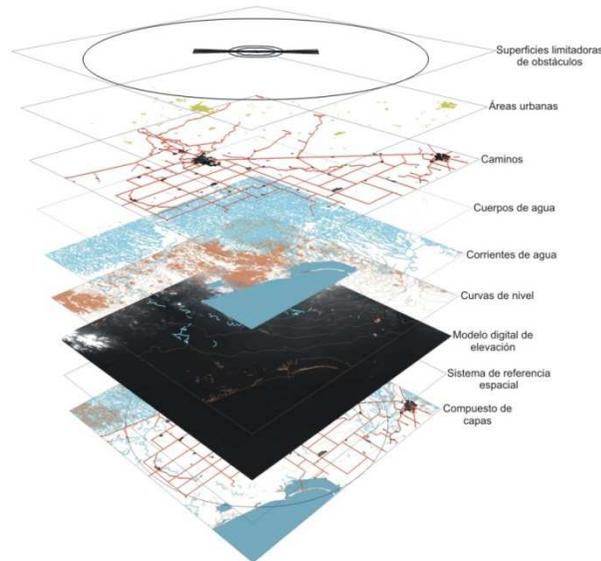


Figura 1.6. Sobreposición de mapas.

1.4.3. Tecnologías complementarias

Los SIG están constituidos por varios elementos, como mencionamos anteriormente, los cuales son programas, equipos, métodos, personal y una organización. En el caso de las tecnologías específicas que complementan un SIG que auxilian en las tareas de procesamiento o integración de información, tenemos:

- Percepción remota, puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no esté en contacto con dicho objeto. La obtención de datos a distancia implica las imágenes de satélite o de fotografías aéreas. La fotogrametría ha sido utilizada en las décadas recientes como una fuente

confiable de datos para la elaboración de mapas. Este método genera datos confiables y acelera los procesos de elaboración, sustituyendo en algunos casos a los métodos topográficos tradicionales. Las imágenes de satélite son otra fuente de información, con estas es posible contar con información permanente, pues todo el tiempo los satélites están enviando los datos obtenidos (Madrigal, *op.cit.*).

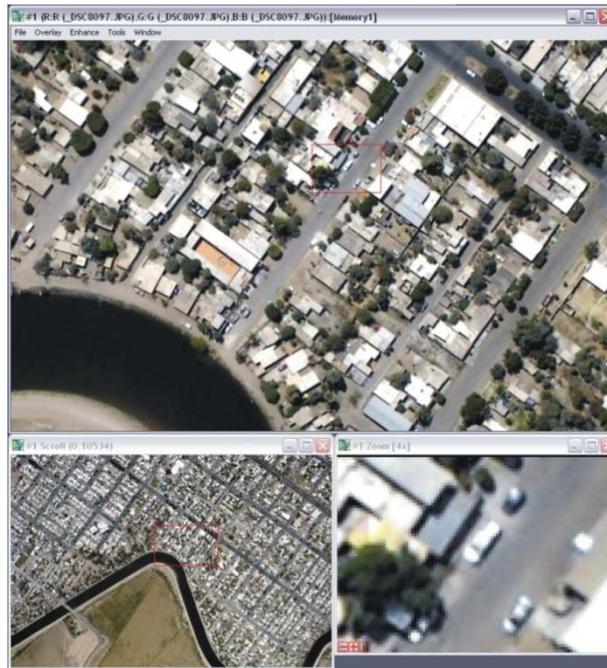


Figura 1.7. Percepción remota: fotografía aérea digital.

- Sistemas CAD (Computer Aided Design). Los CAD, son sistemas que fueron creados ex profeso para crear diseños y planos, como edificaciones u obras de infraestructura. Estas herramientas no cuentan con componentes relacionales, ni de análisis. La utilidad de un SIG radica en sus capacidades de proveer información gráfica con un sistema de referencia; en la actualidad existen versiones de CAD que pueden relacionar datos con el sistema pero las capacidades de análisis son limitadas. En algunas instituciones, en particular en

el área de catastro, se utiliza un Sistema CAD para ordenar la información , el problema radica en la capacidad y dependencia hacia los gráficos, además del manejo cartográfico –proyecciones, lo que dificulta el uso de esta información en otros ámbitos- limitado del sistema.

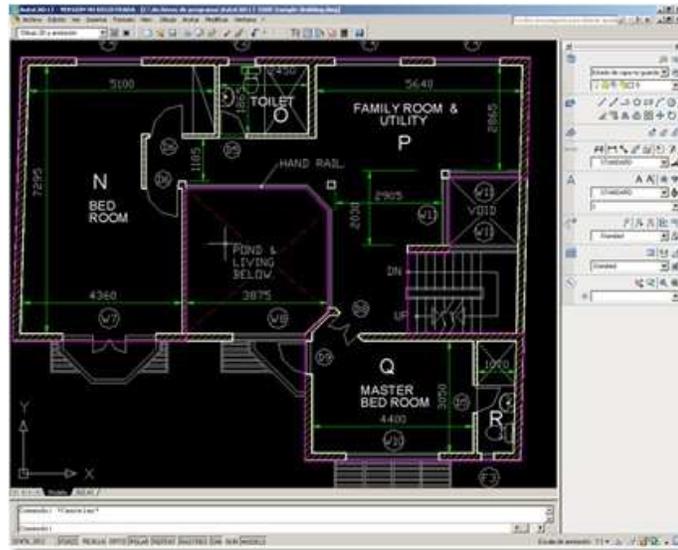


Figura 1.8. Ejemplo del uso de un CAD.

1.4.4. Ventajas de los SIG

Algunas de las ventajas que tiene la elaboración de cartografía por computadora, es decir, utilizando los SIG, son las siguientes:

1. Se pueden elaborar los mapas de forma más rápida.
2. La elaboración de los mapas es más barata.
3. Se pueden realizar mapas según las necesidades específicas de los usuarios.
4. Se puede llevar a cabo la producción de mapas, incluso en situaciones en las que no se tenga disponible un *staff* especializado.

5. Permiten la experimentación con diferentes representaciones gráficas de los mismos datos.
6. Facilita la elaboración y actualización cuando los datos ya se encuentran en forma digital.
7. Facilita el análisis de datos que demandan interacción entre análisis estadísticos y mapas.
8. Reduce al mínimo el uso del mapa impreso como almacén de datos y de tal modo reducir al mínimo los efectos de la clasificación y de la generalización en la calidad de los datos.
9. Se pueden crear los mapas que son difíciles de hacer a mano, por ejemplo un mapa en 3D.
10. Se crean mapas en los cuales los procedimientos de selección y generalización son explícitamente definidos y ejecutados constantemente.
11. La introducción de la automatización puede llevar a una revisión del proceso entero de la cartografía, que puede también llevar a mejoras y ahorros.

1.5. Modelos de Datos Espaciales

El concepto de modelo de datos hace referencia a cómo vamos a representar la realidad en un sistema computarizado, es decir, el paso de la realidad total y compleja, a un modelo parcial y digital.

En el campo de los SIG existen dos formas generales de representar la realidad en una computadora. Estas formas de representación o modelos de datos son dos, el vectorial y el raster o grid. Estos deberán conocerse en términos de ventajas, desventajas y aplicaciones a fin de decidir cuál es el mejor sistema para nuestros propósitos.

1.5.1. Modelo de Datos Raster

El modelo de datos raster utiliza un arreglo de celdas, o de *pixeles*, para representar los objetos del mundo real. Las celdas pueden soportar cualquier valor de los atributos basados en uno de las varios esquemas de codificación, incluyendo categorías, y valores de números enteros y de punto flotante. En el caso más simple, se utiliza una representación binaria (por ejemplo, la presencia o ausencia de la vegetación), pero en casos más avanzados, se prefieren los valores de punto flotante (por ejemplo, la altura del terreno sobre el nivel del mar en metros). En algunos sistemas se pueden almacenar múltiples atributos en cada celda en un tipo de tabla de valores, en la que cada columna es un atributo y cada fila se refiere a cualquier *pixel*, o clase de *pixel*.

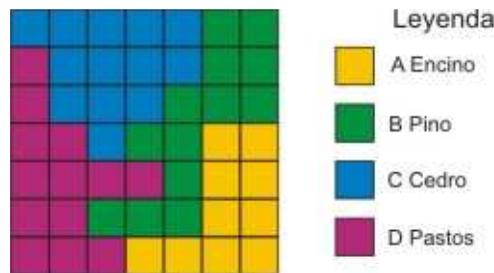


Figura 1.9. Modelo de datos raster

Los datos raster usualmente se almacenan como un arreglo de valores de una malla, con metadatos acerca de este arreglo, en un encabezado o *header* del archivo. Los metadatos típicos incluyen la coordenada geográfica de la esquina superior izquierda de la malla, el tamaño del *pixel*, el número de columnas y filas y sus elementos. Los datos raster, en sí mismos se almacenan generalmente como un archivo comprimido o como un registro en sistema de gestión de bases de datos.

Los datos codificados usando el modelo de datos raster son particularmente útiles como “fondo” o contexto del mapa, porque parecen mapas convencionales y pueden

comunicar mucha información de forma rápida. Son también ampliamente utilizados para aplicaciones de análisis, tales como modelos de dispersión de enfermedades, análisis de corrientes superficiales, modelos de localización de almacenes, entre otros.

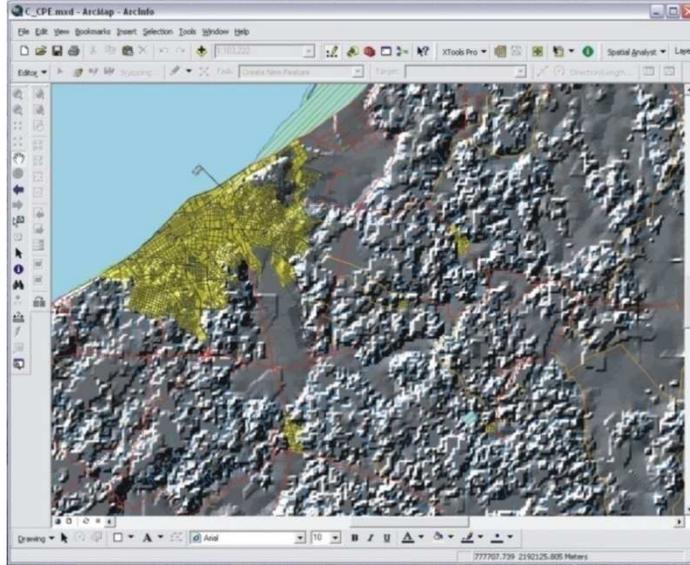


Figura 1.10. Ejemplo de modelo de datos raster: modelo digital de elevación

1.5.2. Modelo de Datos Vectorial

El modelo de datos raster discutido arriba es el más comúnmente asociado con el modelo de datos conceptual de campo. El modelo de datos vectorial por otra parte, se liga a la visualización discreta del objeto. Hasta la fecha, el modelo de datos vectorial se ha implementado ampliamente en los SIG. Esto se debe a la naturaleza exacta de su método de representación, su eficacia de almacenaje, de la calidad de su salida en la cartografía, y de la disponibilidad de las herramientas funcionales para las operaciones, como la proyección del mapa, la sobreposición y el análisis.

En el modelo de datos vectorial cada objeto del mundo real se clasifica primero en tipos geométricos: puntos, líneas y polígonos. Los puntos se codifican como un solo par de coordenadas (por ejemplo, pozos, casetas de cobro y tiendas departamentales);

las líneas como una serie de pares de coordenadas ordenados (por ejemplo, caminos, corrientes y fallas geológicas); y los polígonos como una o más segmentos de línea que se cierran para formar un área (por ejemplo, zonas de censos, áreas de tipo de suelo, y áreas de conservación). Las coordenadas que definen la geometría de cada objeto pueden tener 2, 3 o 4 dimensiones:

- 2 dimensiones: (x,y); (fila y columna); (latitud y longitud).
- 3 dimensiones: (x,y,z); la adición del valor de la altura.
- 4 dimensiones: (x,y,z,m); la adición de otro valor que represente el tiempo o alguna otra propiedad.

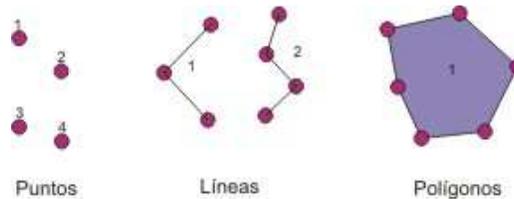


Figura 1.11. Modelo de datos vectorial

Para completar, debe también mencionarse, que en algunos modelos de datos con características lineales pueden ser representadas no solo como series de coordenadas ordenadas, sino también como curvas definidas por alguna función matemática. Éstos son particularmente útiles para representar entidades artificiales como curvas de caminos y algunos edificios.

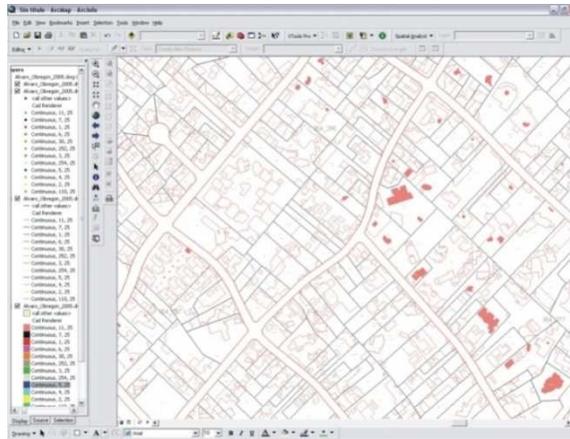


Figura 1.12. Ejemplo de modelo de datos vectoriales

1.6. Bases de Datos Geográficas

Una vez que contamos con la información gráfica, debemos considerar que un SIG utiliza una base de datos o atributos. Esta base de datos está generalmente integrada en los sistemas, en una relación de uno a uno entre los objetos y los atributos. Cada uno de los objetos representados guarda una relación directa con un registro. El sistema se fundamenta en una base de datos, entre los atributos y los objetos, que en conjunto, se denomina base de datos geográfica.

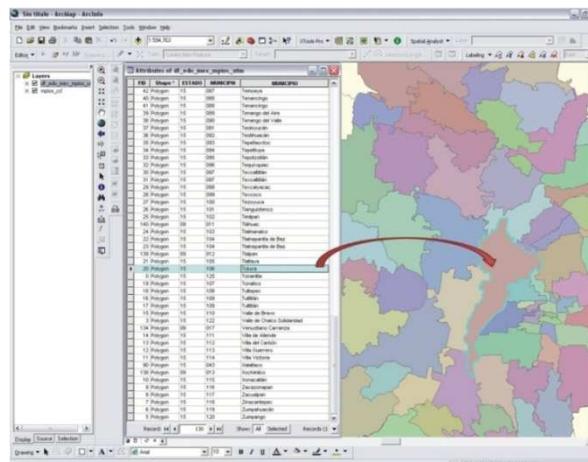


Figura 1.13. Base de datos asociada a un mapa.

Una base de datos es una colección de información sobre cosas y sus relaciones entre ellas. Por ejemplo, una base de datos puede consistir en nombres y direcciones. Los nombres se pueden categorizar por sus relaciones, tales como “cliente”, “amigo” o “familia”. Los elementos que se van a almacenar en la base de datos, pueden ser procesos, así como conceptos. Por ejemplo, dentro de una base de datos, los procesos como erosión, contaminación del agua y el desarrollo agrícola pueden estar relacionados al elemento “deforestación de la selva tropical”.

El objetivo de la recolección y mantenimiento de una base de datos es relacionar hechos y situaciones que previamente estaba separados. Esto puede requerir simplemente la recuperación de hechos en la base de datos, tal como la recuperación de la dirección asociada al nombre de una persona. O puede requerir un extenso proceso de los datos en el cual se evalúan múltiples relaciones, por ejemplo, el análisis del desarrollo de una urbanización o de proyectar el grado de deforestación en la selva tropical.

En un principio, los sistemas de datos, como otros *softwares*, fueron desarrollados para proporcionar un sistema bien definido de funciones usando un sistema de datos especificado. Los datos fueron almacenados como uno o más archivos digitales a los cuales se tiene acceso por medio de un *software* para bases de datos de manera eficiente.

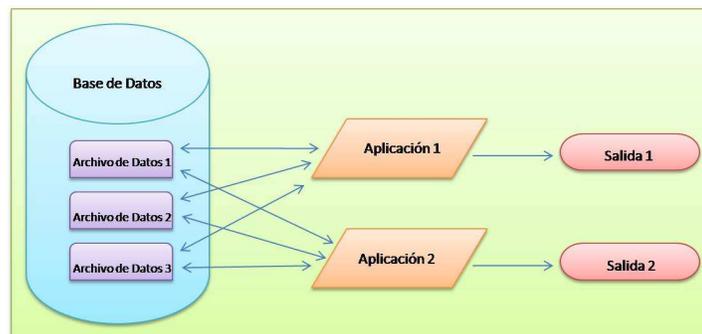


Figura 1.14. Esquema de un Sistema de Archivos.

El procesamiento de archivos es el acercamiento más común al usar una base de datos. Sin embargo, tiene algunas serias desventajas. Debido a que cada aplicación debe tener acceso directamente al archivo de datos que utilice, el programa debe saber cómo es que los datos de cada archivo se almacenan. Esto puede crear considerable redundancia, porque las instrucciones para tener acceso al archivo de datos deben estar presentes en cada aplicación. Si se hacen modificaciones al archivo de datos, las instrucciones de acceso se deben de modificar en cada aplicación que lo utilice.

Otro problema grave se presenta cuando los datos son compartidos por diversas aplicaciones y por diversos usuarios. Si varios programas y varios usuarios tienen acceso a los archivos de datos y pueden modificarlos, entonces debe haber un control total sobre cuales usuarios tienen acceso a la base de datos y que modificaciones pueden llevar a cabo. Una falta de control puede degradar seriamente la base de datos. La integridad de una base de datos es crítica. Información de calidad impredecible, puede ser peor que ninguna información en absoluto.

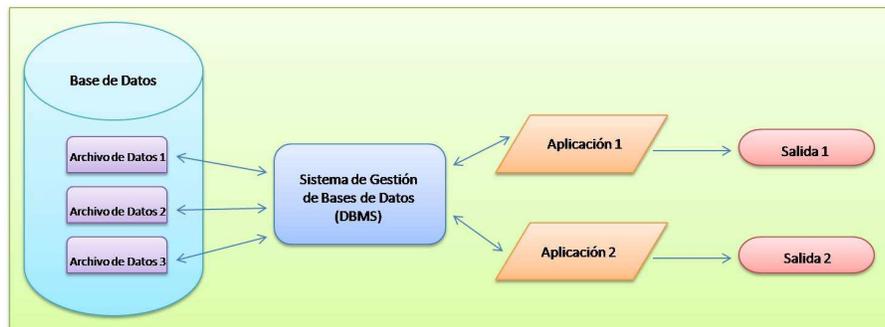


Figura 1.15. Esquema del Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS).

Un sistema de gestión de bases de datos (DBMS por sus siglas en inglés *Data Base Management System*) se compone de los programas que manipulan y mantienen los datos en una base de datos. Estos fueron desarrollados para manejar la distribución de datos de una manera ordenada y para asegurarse de que la integridad de la base de datos se conserve.

El concepto del DBMS fue un importante avance al procesamiento de archivos. Un DBMS actúa como el control central sobre todas las interacciones entre la base de datos y los programas de aplicación, que alternadamente obran recíprocamente con el usuario. Los programas de aplicación proporcionan las funciones que el usuario ve, por ejemplo, las transacciones de un control de inventario, orden de entrada al servicio, o funciones de análisis geográficas. Cuando estos programas requieren el acceso a la base de datos, el DBMS actúa como un intermediario y supervisor (Aronoff, 1989).

1.7. Aplicaciones de los SIG

Los SIG encuentran aplicaciones en muchas actividades dentro de las empresas, los gobiernos –en cualquier escala- y diversas instituciones.

La habilidad del sistema para proporcionar datos e información espacial para múltiples propósitos define las posibilidades de aplicación. Debido a los múltiples ámbitos posibles de aplicación se presenta un listado de los más comunes:

- Medio ambiente. Este campo se puede considerar como uno de los promotores del desarrollo de los SIG basta con recordar que el primero, fue desarrollado en este campo. Dentro estas aplicaciones se encuentran el análisis del impacto ambiental, estos se relacionan con la instalación de infraestructuras y equipamiento que afectarán la ecología de un lugar. Otra de las aplicaciones más importantes en este campo es el manejo de los recursos hídricos, los cuales van desde el inventariado de los recursos y el control de la contaminación sobre los mismos.
- Peligro y vulnerabilidad. Los peligros y las vulnerabilidades que presentan los asentamientos humanos deben ser identificados plenamente para evitar catástrofes sociales. Generalmente el apoyo de las herramientas SIG permite el álgebra de mapas con la cual es posible relacionar la presencia de fenómenos naturales y antrópicos que representan un riesgo para la población, pero al

mismo tiempo demuestra la vulnerabilidad de la población con respecto a la presencia de dichos fenómenos. El diseño de un SIG, para estos fines, auxilia a los encargados de los departamentos de protección civil a analizar y tomar medidas preventivas y de mitigación a fin de reducir la vulnerabilidad de la población.

- Agricultura. Una de las aplicaciones con más renombre e importancia la representan la agricultura, por varios motivos. Quizá el más importante es porque de esta actividad se obtendrán alimentos para la población en general, otro factor de importancia son los apoyos y controles que se ofrecen en este sector. También podemos considerar los análisis que hacen ciertas empresas para el aseguramiento de cultivos, en función de la erosión del suelo, la infraestructura del lugar –riego, transporte, mercado, entre otros- y las condiciones meteorológicas.
- Equipamiento e infraestructura. Generalmente los gobiernos proporcionan información sobre los servicios y las localizaciones de los mismos. Dichos equipamientos –hospitales, escuelas, centros de abastecimiento, centros de cultura y otros- por ejemplo son inventariados. La aplicación relevante es cuando con la ayuda del SIG se puede determinar la localización de estos equipamientos, mediante el análisis de varias capas de información, como población –población objetivo, distribución, proyecciones de servicio y demás elementos-, y localización de otros equipamientos similares, con estos elementos se puede determinar la necesidad de nuevos equipamientos. Por el lado de la infraestructura –carreteras, oleoductos, redes de energía eléctrica, etc.- no cabe duda que en la mayoría de los casos se representa en mapas. La planificación sobre la construcción de nuevas obras de infraestructura puede ser soportada por un SIG, pues este provee información útil, para este caso, mediante el análisis de los factores estructurales –geología, topografía, hidrografía, cobertura vegetal y climas-. Todos estos datos son almacenados en

el sistema para proceder con el análisis de localización óptima, dicho análisis arrojará un reporte sobre las posibilidades de construcción de infraestructura.

- Administración y planificación. Los gobiernos federales, estatales y municipales son responsables de administrar su territorio. Para ello, utilizan una gran cantidad de datos geográficos, que hacen referencia a inmuebles, infraestructura, delimitaciones, equipamientos, etc.

Los gobiernos se ven beneficiados por la implementación de esta tecnología pues cuentan con herramientas que hacen posibles la difusión, manipulación y actualización de datos referentes a los inmuebles, equipamientos e infraestructura. Además, las herramientas implementadas apoyan a la toma de decisiones de desarrollo urbano, rural y regional. Estas aplicaciones son un subtipo de sistemas de información geográfica y se llaman Sistemas de Información Territorial y Sistemas de Información de Registros Territoriales (Aronoff, *óp.cit.*).

Con este tipo de sistemas es posible generar programas de desarrollo urbano e identificación de necesidades en diferentes rubros, como seguridad, salud, transporte y otros. Dentro de estos programas de regulación, las fases de identificación de demanda favorece el entorno de la planificación, pues los diseñadores, basarán sus hipótesis en mapas.

Otra aplicación en este sentido, administración, es el catastro que es la administración de las propiedades en dos sentidos: 1) recaudación de impuestos y 2) delimitaciones como base para dirimir problemas jurídicos. Estos sistemas catastrales son unas herramientas costosas pero con un significativo resultado, dentro de los límites territoriales de las administraciones que implementan estos sistemas.

- Otras aplicaciones, es difícil hacer un listado de todas aplicaciones, pero si es posible mencionar algunas de las más significativas.

Salud. Estas aplicaciones hacen referencia a estudios relacionados con la epidemiología y la localización de servicios. En general son implementados por instituciones de salud o instituciones educativas.

Geomarketing. Son aplicaciones relacionadas con las empresas, como el estudio de mercados, distribuciones e inventariado de clientes. Éstas abren la posibilidad de uso en las empresas como organización. Generalmente se contratan a empresas externas que les presten el servicio, pues incluirlo en sus estructuras puede ser muy costoso.

Prestación y control de servicios. Las empresas dedicadas a la prestación de servicios y ciertos bienes que son provistos por infraestructura como teléfonos, televisión por cable o gas natural, utilizan un SIG para localizar a sus clientes y controlar (ampliación y reparación) su infraestructura.

Podemos concluir que los SIG son una herramienta muy versátil, pueden ser aplicados a diversos esquemas de organización, a organizaciones dedicadas a distintos rubros. Prácticamente el único requisito son los datos espaciales para realizar u optimizar recursos, es decir, la necesidad de usar mapas para optimizar procesos (Madrigal, *op.cit.*).

Capítulo 2

2. Características Generales de las Cartas Aeronáuticas

Una carta aeronáutica es la representación de una porción de tierra, con rasgos físicos naturales y antrópicos, diseñada específicamente para satisfacer los requisitos que tiene la navegación aérea. Se trata de un mapa en el que se representan las rutas que deben seguir las aeronaves, facilitando las ayudas, los procedimientos y otros datos imprescindibles para el piloto. El Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C, como su nombre lo indica, tiene como función proporcionar toda la información necesaria sobre las obstrucciones que se encuentran en la región, para que el operador del aeropuerto o la línea aérea puedan preparar los procedimientos correspondientes para cumplir con las limitaciones de utilización, señalando especialmente aquellos obstáculos que limitan la utilización o invaden las superficies de despegue y aproximación. La seguridad de la navegación aérea exige la producción y publicación de cartas aeronáuticas actualizadas y precisas, que respondan a las necesidades actuales de la aviación, adoptando las disposiciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

2.1. Antecedentes de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)

El periodo de tiempo que transcurre entre 1940 y 1960 tuvo mucha importancia en el marco institucional de la aviación comercial y civil, con la creación de la OACI, organismo encargado a grandes rasgos, de promocionar el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil en todo el mundo y la resolución de problemas comunes que presentan las líneas regulares.

La esencia de la creación y consolidación de dicho organismo radica en el cambio que sufrió el sector aeronáutico una vez que finalizó la Segunda Guerra Mundial. A partir de 1945, la producción de aviones civiles creció considerablemente en detrimento

de los aeroplanos militares, en el caso de los Estados Unidos, el más destacado, se pasó de 6,844 aeroplanos construidos en 1940 a los 40,000 encargos que se dieron a finales de 1945. Como consecuencia evidente, las líneas aéreas engrosaron sus filas con unos aeroplanos cada vez más sofisticados, veloces y capaces de transportar cada vez a más personas para hacer frente a la creciente demanda. Estas mejoras se hicieron, sobre todo, gracias al empuje que tuvo el sector aeronáutico durante la Segunda Guerra Mundial.

Este gran desarrollo que se preveía para la aviación civil y comercial a escala mundial y que daba sus primeros pasos, obligó a los países a llegar a acuerdos para solucionar los problemas derivados de la organización de los vuelos y la seguridad en los mismos.

La OACI, es un organismo técnico asociado a la Organización de Naciones Unidas (ONU), cuyo objeto es promocionar el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil en todo el mundo. Para llevar a cabo dicha tarea, establece normas internacionales y las regulaciones necesarias para salvaguardar la seguridad, la regularidad y eficiencia del transporte aéreo. La OACI también tiene una gran importancia de cara a la cooperación en todos los campos de la aviación civil entre los países miembros, ya que se compromete a ayudar a dichos países en lo relacionado a las instalaciones de la aviación civil o a alcanzar las leyes establecidas por ella misma.

Sus esfuerzos últimamente se han centrado en combatir dos problemas, que para preocupación de todos, aún no han sido resueltos, y que además de atañer a todos los seres humanos, es de una importancia esencial, en primer lugar, por los daños producidos por los aeroplanos al medio ambiente, por medio de ruidos y humos; y en segundo lugar, y más importante, la lucha contra los secuestros y los atentados terroristas.

En noviembre de 1944, el gobierno estadounidense envió invitaciones a 55 países para asistir a una conferencia sobre la aviación civil, que sería bautizada como la “Conferencia de Chicago”. Parte de la invitación rezaba así: “tomar medidas para el establecimiento de rutas aéreas provisionales y servicios” y “para fijar un consejo

provisional, para coleccionar, registrar y estudiar datos referentes a la aviación internacional, y hacer recomendaciones para su mejora, discutir los principios y métodos a seguir en la adopción de una nueva convención de la aviación. Conferencia de Aviación Civil Internacional, Chicago Illinois, 1 de noviembre al 7 de diciembre de 1944”.

A dicha conferencia acudieron un total de 54 estados, que estuvieron reunidos desde el 1 de noviembre al 7 de diciembre. Al término de esta conferencia, se estableció un convenio sobre aviación civil, con el objetivo de asegurar la cooperación internacional en el asunto, y llegar a un primer acuerdo sobre la organización y seguridad en lo relacionado con el transporte y tráfico aéreo.

Realmente lo que se había firmado era un convenio provisional, en el que se involucraron 32 países. Este convenio promovió la creación de la PICAQ (Provisional International Civil Aviation Organization), de carácter asesor, con el objetivo de dar el primer paso hacia la colaboración internacional en lo relacionado a la aviación civil. La PICAQ estuvo activa desde agosto de 1945 a abril de 1947, cuando dio el relevo a la actual OACI, con exactamente las mismas funciones que su antecesora, y cuya sede fue establecida en Montreal, Canadá, donde sigue hasta la actualidad (Internet 1).

De todas las competencias con las que surgió la OACI, sus miembros se dieron cuenta que dos de ellas destacaban sobre las demás:

- Aquello relacionado con la aplicación de las normas y leyes concernientes con el entrenamiento y formación del personal dedicado al mundo de las aeronaves, ya fueran pilotos, ingenieros, controladores, etc.; los sistemas de comunicaciones, normas para el tráfico y el transporte aéreo, métodos para controlar la meteorología, etc. Por razones obvias, estos aspectos requerían del visto bueno a escala internacional si se querían llevar a cabo.

- Y lo relacionado con la aplicación práctica de los servicios de navegación aérea y las infraestructuras, además de la puesta en marcha de manera coordinada de todo lo citado anteriormente.

Hoy en día, en la OACI, están representados unos 180 países, que se reúnen una vez cada tres años en una asamblea. Su órgano ejecutivo provisional es un consejo constituido por 33 socios que son elegidos por asamblea a partir de su importancia relativa en el transporte aéreo internacional. La OACI tiene su propia secretaría, dirigida por un secretario general designado por el consejo y varios comités técnicos permanentes.

En México, se encuentra la Oficina Regional para Norteamérica, México, Centroamérica y El Caribe, y trabaja directamente con su contraparte, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

El desafío que enfrenta la OACI ahora es mejorar los sistemas de navegación aérea para hacerlos más eficientes, menos costosos, más seguros y con un impacto menor sobre el medio ambiente. Fortalecer los sistemas de información aérea usando nuevas tecnologías (Internet 2).

2.2. Antecedentes de Aeropuertos y Servicios Auxiliares

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) es un organismo descentralizado del Gobierno Federal, que cuenta con personalidad jurídica y patrimonio propio. Creada en junio de 1965, ASA ha contribuido al fortalecimiento de la industria aeroportuaria de México por más de 43 años.

Las principales funciones de esta institución son diseñar, construir y operar terminales aeroportuarias. Actualmente, opera una red de 20 aeropuertos a lo largo del territorio nacional. Asimismo, ASA tiene a su cargo el suministro de combustible para aeronaves a través de 63 estaciones.

ASA fue fundada el 10 de junio de 1965, como una empresa descentralizada del gobierno mexicano. En un principio tuvo a su cargo la operación y administración de todos los aeropuertos del país, con la integración de una red aeroportuaria que operó más de 30 años.

Durante sus 43 años de vida, se ha convertido en una empresa vital para el desarrollo y consolidación del sistema de comunicaciones de nuestro país. Así pues, sus actividades han contribuido para impulsar la economía de las diversas regiones de México.

A lo largo de más de cuatro décadas de existencia, ASA ha logrado formar a una gran cantidad de recursos humanos especializados, contribuyendo así a general un notable capital de conocimiento en diversas áreas: administración, operación, mantenimiento, conservación, desarrollo de proyectos y planeación de aeropuertos entre otras.

Antes del nacimiento de ASA, la DGAC administraba, operaba y conservaba los aeropuertos, la responsabilidad de los servicios de control aéreo recaía en Radio Aeronáutica Mexicana S.A. (RAMSA), y el abastecimiento de combustible estaba a cargo de Nacional de Combustibles de Aviación (NACOA).

ASA surge ante la necesidad de contar con un organismo central que se encargara de la modernización y ampliación de la infraestructura aeroportuaria instalada en nuestro país, de la conservación y mejora de los servicios de navegación y del suministro de combustible, así como de impulsar el desarrollo de la aviación comercial mexicana y rutas turísticas.

Las principales funciones de ASA al ser creada, eran administrar, operar y conservar los aeropuertos y servicios complementarios, auxiliares y comerciales de 34 aeropuertos existentes en México, en ese momento.

El principal reto de los primeros años fue modernizar e incrementar la infraestructura existente, con el fin de que ésta respondiera a los nuevos retos y adelantos en tecnología y operación, así como el aumento en la demanda de operaciones, la cual crecía exponencialmente.

Durante los primeros diez años de vida, ASA logró construir, ampliar y rehabilitar 25 aeropuertos. De esta forma, se pusieron al día la red y las instalaciones aeronáuticas del país. La red operada y administrada por el Organismo llegó a tener más de sesenta aeropuertos, lo que le valió el reconocimiento en América Latina como operador y constructor.

En la siguiente década, se incrementó la capacidad operativa de los vuelos en los aeropuertos administrados por ASA, se incrementaron los servicios de plataforma, se implementaron los servicios de revisión de pasajeros y equipaje de mano en los aeropuertos internacionales, se fomentó la construcción de equipos propios especiales para la actividad aeroportuaria, lo que permitió reducir costos, se mejoraron los mecanismos apropiados para la navegación aérea en los aeropuertos de la red.

También se impulsó el desarrollo tecnológico, entre cuyos resultados destaca la fabricación de varios vehículos y dos prototipos de aviones fumigadores. En 1979, asumió la responsabilidad de suministrar los combustibles y lubricantes a las aeronaves. Al llegar la década de los ochenta, el Sistema Aeroportuario Nacional estaba consolidado.

Para la década de 1985 a 1995 la crisis financiera que experimentaron los gobiernos alrededor del mundo y la instauración de un modelo económico que suponía la reducción de funciones del Estado, impactó en forma notable en el desarrollo aeroportuario de nuestro país.

El Gobierno Federal decidió que, con el fin de ampliar y poner al día la red aeroportuaria del país, era necesario trabajar bajo un esquema que contemplara la participación de capital privado. Se postuló un nuevo marco jurídico orientado a impulsar y promover el desarrollo aeroportuario por medio de inversión privada, con base en reglas claras y transparentes, y condiciones competitivas y no discriminatorias.

En 1989 existía en México una red de 58 aeropuertos administrados por ASA, cuyo número se redujo considerablemente al iniciarse el proceso de privatización de los 35 aeropuertos más rentables, agrupándose en 4 regiones.

Por su parte, las 63 estaciones de combustible tenían un rezago de 20 años y las instalaciones, equipos, sistemas y programas de capacitación empezaban a mostrar signos de obsolescencia, reclamando modernización. Ante este panorama ASA aprovechó sus fortalezas: la experiencia de su capital humano y la administración y operación de todas las instalaciones de combustibles del Sistema Aeroportuario Mexicanos. Asumió la planeación estratégica y la reforma estructural del sector, que planteó esquemas y proyectos de inversión para infraestructura con un enfoque regional y sustentable.

Para el 2009, ASA opera 20 aeropuertos y ha consolidado una red aeroportuaria federal productiva, eficiente y rentable; además de convertirse en una empresa de participación público-privada capaz de satisfacer las necesidades de suministro de combustible y ofrecer servicios de consultoría en el ámbito internacional.

Actualmente ASA desempeña un papel protagónico y estratégico en el desarrollo de la infraestructura aeroportuaria y en el surgimiento de nuevos modelos de participación que corresponsabilizan a los gobiernos estatales con el federal y con la iniciativa privada en la modernización de las instalaciones, la diversificación de servicios y el mejoramiento de sus finanzas (Internet 3).

2.3. Disposiciones Generales de la OACI para el Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C

Para la OACI, una carta aeronáutica es una “representación de una porción de la Tierra, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea”. Para este trabajo, se elabora una propuesta de una de las cartas

aeronáuticas más utilizadas por la OACI y por ASA, para el óptimo manejo de las operaciones en los aeropuertos, de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.

Función del Plano de Obstáculos de Aeródromo OACI Tipo C

En este plano, se proporcionarán los datos necesarios sobre obstáculos para que el usuario pueda preparar los procedimientos para cumplir con las limitaciones de utilización, mencionándose especialmente la información sobre los obstáculos que limiten la masa máxima admisible de despegue, y también para:

- determinar las alturas mínimas de seguridad, incluso para las pertinentes a los procedimientos de vuelo en circuito;
- determinar los procedimientos que han de seguirse en caso de emergencia durante el despegue o el aterrizaje;
- suministrar datos para las cartas y bases de datos aeronáuticos.

Para cumplir con estos requisitos, esta carta aeronáutica deberá cubrir las disposiciones definidas por la OACI.

Cobertura y escala

La extensión de cada plano será suficiente para:

- Abarcar todos los obstáculos, incluyendo los que se encuentren a la sombra de otro obstáculo, en el área de la trayectoria de despegue que sobresalgan de una superficie plana que tenga una pendiente de 1,2% y el mismo origen que el área de la trayectoria de despegue. Se tendrán en cuenta los obstáculos móviles, tales como barcos, trenes, camiones, etc., que pudieran sobresalir por encima del plano de 1,2% de pendiente.

- Abarcar todos los obstáculos de más de 120 m (400 ft) por encima de la elevación mínima de la pista o pistas, cuya presencia pueda influir en la masa máxima admisible de despegue o en la elección del perfil de vuelo de la aeronave, tanto hacia adelante como en todas las zonas en que puedan efectuarse salidas con viraje.
- Suministrar información topográfica hasta una distancia de 45 km (24 MN), aproximadamente, desde el punto de referencia del aeródromo (ARP).

La escala horizontal estará comprendida entre 1:20,000 y 1:100,000. Es preferible una escala de 1:50,000.

Formato

En el plano se incluirá:

- Toda la explicación necesaria respecto a la proyección utilizada.

Elevaciones en Metros sobre el Nivel Medio del Mar Proyección Universal Transversa de Mercator Datum WGS 1984

Figura 2.1. Datos de la proyección utilizada.

- Toda identificación necesaria de la cuadrícula utilizada.

Mil metros Cuadrícula Universal Transversa de Mercator Zona 12N

Figura 2.2. Datos de la cuadrícula utilizada.

- Una casilla par registrar enmiendas y fechas de las mismas.

REGISTRO DE ENMIENDAS		
NUM.	FECHA	ANOTADA POR

Figura 2.3. Registro de enmiendas.

- Una casilla para registrar las distancias declaradas.

DISTANCIAS DECLARADAS		
RWY 13		RWY 31
2300	RECORRIDO DE DESPEGUE DISPONIBLE	2300
2300	DISTANCIA DE DESPEGUE DISPONIBLE	2300
2300	DISTANCIA ACCELERACION-PARADA DISPONIBLE	2300
2300	DISTANCIA DE ATERRIAJE DISPONIBLE	2300

Figura 2.4. Distancias declaradas.

- Las marcas de graduación a intervalos regulares fuera del borde del plano, por lo menos cada 10 minutos de latitud y longitud, con indicación de grados y minutos.

Identificación

El plano se identificará por el nombre del país en que está situado el aeródromo, el nombre de la ciudad a la cual presta servicio y el nombre del aeródromo.

CIUDAD / AERODROMO
PAIS

Figura 2.5. Identificación.

Declinación magnética

En el plano deberá indicarse la declinación magnética redondeando al grado más próximo, con la fecha y variación anual.

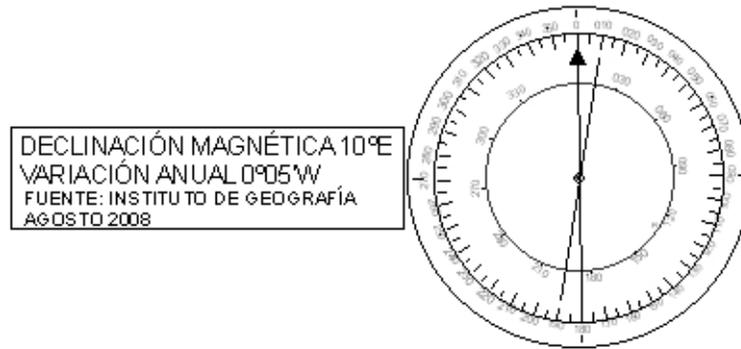


Figura 2.6. Declinación magnética.

Unidades de medida

Se indicarán las elevaciones redondeando al metro o pie más próximo.

Se indicarán las dimensiones lineales redondeando al metro más próximo.

Datos aeronáuticos

En el plano se indicarán:

- El punto de referencia del aeródromo (ARP) y sus coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos.
- Las pistas y las prolongaciones de los ejes de pista.
- Los obstáculos, la extensión de cada plano será suficiente para abarcar todos los obstáculos, salvo que los obstáculos distantes y aislados cuya inclusión obligara a aumentar innecesariamente el tamaño de la hoja, podrán indicarse mediante una flecha, siempre que se consignen la distancia y marcación con respecto a un punto de referencia, así como su elevación y las coordenadas geográficas en grados, minutos, segundos y décimas de segundo.
- La posición exacta de cada obstáculo, mediante un símbolo y sus coordenadas geográficas en grados, minutos, segundos y décimas de segundo.

- La elevación de cada obstáculo.
- Una indicación de la clase de cada obstáculo.
- Los límites de penetración de los obstáculos de gran tamaño en una forma clara identificada en la clave (figura 2.7).
- El emplazamiento de todas las radioayudas para la navegación.

CLAVE	
PUNTO DE REFERENCIA DE AERODROMO 27° 23' 4.96" N 109° 55' 00.18" W	
CALLE	
CARRETERA	
CORRIENTE DE AGUA	
CURVA DE NIVEL	
VIA FERREA	
CUERPA DE AGUA	
AREA URBANA	
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	
ANTENA	
AVIONC D. ESPECTACULAR	
ARBOL	
EDIFICIO	
ESTADIO	
MONUMENTO	
POSTE	
TRINQUE DE AGUA	
OBSTACULO TOPOGRAFICO	
TORRE DE ALTA TENSION	

Figura 2.7. Clave del plano

Distancias declaradas

En el espacio previsto, se anotarán para cada pista en ambos sentidos la información siguiente:

- Recorrido de despegue disponible.
- Distancia de aceleración-parada disponible.
- Distancia de despegue disponible.

- Distancia de aterrizaje disponible.

Exactitud

El grado de exactitud alcanzado se indicará en el plano.

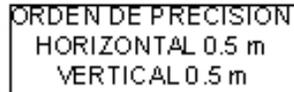


Figura 2.8. Orden de precisión

2.3.1. Anexo Técnico del Convenio de Colaboración Técnico Académico ASA-IG: Cartografía ASA-OACI

A continuación se enumeran los términos de referencia técnica estipulados en el anexo 1 del convenio de colaboración técnica académica que celebraron, ASA y el Instituto de Geografía para la elaboración de cartas aeronáuticas.

A. Objeto del trabajo

Generar las cartas aeronáuticas, de conformidad con las normas y métodos recomendados por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), que se enuncian a continuación:

- a) Plano de obstáculos de aeródromo Tipo A (limitaciones de utilización).
- b) Plano de obstáculos de aeródromo Tipo B.
- c) Plano de aeródromo/helipuerto.

Asimismo, realizar los trabajos conducentes para elaborar el:

- a) Plano topográfico y de obstáculos de aeródromo tipo C (electrónico).

Para los aeropuertos internacionales de:

- a) Nuevo Laredo, Tamaulipas
- b) Ciudad Obregón, Sonora
- c) Campeche, Campeche
- d) Chetumal, Quintana Roo
- e) Guaymas, Sonora

Los trabajos antes descritos deberán efectuarse de conformidad con lo establecido en el:

- a) Anexo 4 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional.
- b) Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional Volumen I “Diseño y Operación de Aeródromos”
- c) Manual de cartas aeronáuticas

B. Especificaciones generales

Nota: Las especificaciones enunciadas en este apartado aplican a las cartas mencionadas en “1. Objeto del trabajo”, salvo que se indique otra cosa en las especificaciones de la carta correspondiente.

B.1. Títulos

El título de la carta será el mismo que el enunciado en “1. Objeto del trabajo” para la carta correspondiente.

B.2. Información varia

En el anverso de cada carta se mostrará la información que se enuncia, a menos que se indique otra cosa en las especificaciones de la carta:

- a) Título de la carta.
- b) Nombre y referencia de la hoja.
- c) Indicación de la hoja contigua en cada uno de los márgenes de las hojas (cuando proceda).
- d) Clave de los símbolos y abreviaturas utilizadas.
- e) Nombre y logotipo de los preparadores de la carta así como de Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

La disposición de las notas se pueden observar en el Apéndice 1. *“Disposición de notas marginales”* del Anexo 4 de la OACI, *“Cartas Aeronáuticas”*.

B.3. Símbolos

Los símbolos utilizados se ajustarán con base en las especificaciones contenidas en el Apéndice 2. *“Símbolos Cartográficos OACI”* del Anexo 4 de la OACI, *“Cartas Aeronáuticas”*, si no existe en dicho Apéndice información para representar características específicas, puede adoptarse cualquier símbolo apropiado que no origine confusión con algún símbolo cartográfico presentado en el Apéndice.

El tamaño y prominencia de los símbolos así como el grosor y separación de las líneas se adoptarán en función de la escala de la carta.

B.4. Unidades de Medida

- a) Las distancias se calcularán como distancias geodésicas.
- b) Las distancias se expresarán en metros y pies.
- c) Las altitudes, elevaciones y alturas se expresarán en metros y pies.
- d) El grado de resolución de las distancias, dimensiones, elevaciones y alturas será el especificado para cada carta en particular.
- e) Se expresará de manera destacada en el anverso de cada carta las unidades de medida utilizadas.

B.5. Escala y proyección

La escala y proyección se indicará como se especifica en cada carta en particular.

B.6. Fecha de validez de la información aeronáutica

Se indicará la fecha de validez de la información aeronáutica en el anverso de cada carta.

B.7. Ortografía

- a) Se utilizarán caracteres del alfabeto romano en toda la rotulación.
- b) Se pueden utilizar abreviaturas dentro del cuerpo de la carta, no se utilizarán signos de puntuación.

B.8. Fronteras políticas

Se indicarán las fronteras internacionales indicando el nombre que identifica al país.

B.9. Colores

Los colores utilizados en las cartas deberán ajustarse a las especificaciones contenidas en el Apéndice 3 *“Guía de colores”*.

B.10. Relieve

El relieve se representará mediante la combinación de curvas de nivel, tintas hipsométricas, cotas y sombreado.

B.11. Declinación magnética

- a) Se indicará el norte verdadero, la declinación magnética y su fecha, así como la variación anual.

B.12. Datos aeronáuticos

Se entregará el procedimiento para verificar la integridad de los datos aeronáuticos así como para la protección de éstos mediante la verificación cíclica de redundancia (CRC) de 16 bits.

B.13. Sistema de referencia comunes

- a) Sistema de referencia horizontal:

Se utilizará el sistema geodésico mundial-1984 (WGS-84) como sistema de referencia horizontal

b) Sistema de referencia vertical:

La referencia al nivel medio del mar (MSL) proporcionará la relación de alturas (elevaciones) relacionadas con la gravedad respecto de una superficie conocida como geoide, se utilizará como sistema de referencia vertical.

c) Sistema de referencia temporal:

El calendario gregoriano y el tiempo universal coordinado (UTC) se utilizará como sistema de referencia temporal.

C. Especificaciones particulares

C.3. Plano topográfico y de obstáculos de aeródromo (electrónico)

C.3.1. Función

En este plano electrónico se representarán los datos topográficos y de obstáculos, en combinación con los datos aeronáuticos necesarios para permitir que se cumpla con las limitaciones de utilización de aeronaves, elaboración de procedimientos de emergencia durante la aproximación y despegue frustrado, el diseño de procedimientos por instrumentos, y la restricción e iluminación de obstáculos.

C.3.2. Modelado de datos

La serie ISO 19100 de normas para la información geográfica se utilizará como marco general para la modelización de datos.

C.3.3. Identificación

El plano electrónico se identificará por el nombre del país en donde se encuentra situado el aeródromo, el nombre de la ciudad a la cual presta servicios el aeródromo y el nombre del aeródromo.

C.3.4. Cobertura del plano

La extensión de cada plano abarcará 24 MN (45 km) a partir del ARP.

C.3.5. Contenido del plano

Al preparar las aplicaciones gráficas por computadora que se usan para representar las características del plano, las relaciones entre las características, los atributos de las características y la geometría especial subyacente y las relaciones topológicas correspondientes, se especificarán mediante un plan de aplicación. La información representada se suministrará a base de especificaciones y las reglas de representación no formarán parte del conjunto de datos. Las reglas de representación se almacenarán en un catálogo de representación que hará referencia a especificaciones de representación conservadas por separado.

- Características del terreno

Las características del terreno y los atributos correspondientes que deben representarse y la base de datos correspondiente al plano se sustentarán en conjuntos de datos topográficos electrónicos que cumplan los requisitos del capítulo 10 y Apéndice 8 del Anexo 15.

Las características del terreno se representarán de manera que ofrezcan una impresión general efectiva del relieve. Será una representación del relieve del terreno mediante valores continuos de elevación en todas las intersecciones de la cuadrícula definida, conocida como modelo de elevación digital (DEM).

Deberá suministrarse una representación de la superficie del terreno como una capa seleccionable de líneas de contorno además del DEM.

Deberá usarse una imagen ortorrectificada que equipare las características del DEM con las características de la imagen superpuesta para destacar el DEM. La imagen deberá suministrarse como una capa seleccionable separada.

Las características del terreno se vincularán con los siguientes atributos asociados en la base o bases de datos:

- Posiciones horizontales de los puntos de la cuadrícula en coordenadas geográficas y elevaciones de los puntos.
- El tipo de superficie.
- Los valores de las líneas de contorno.
- Los nombres de ciudades y otras características topográficas destacadas.

Deberán vincularse con las características del terreno representadas otros atributos del terreno especificados en la tabla A8-3 del Apéndice 8 del Anexo 15 y suministrados en la base o bases de datos.

- Características de obstáculos

Las características de los obstáculos y sus correspondientes atributos representados o vinculados en la base de datos con el plano, se basarán en conjuntos de datos electrónicos sobre los obstáculos que satisfagan los requisitos del Capítulo 10 y del Apéndice 8 del Anexo 15.

Cada obstáculo se representará mediante un símbolo apropiado y un identificador del obstáculo.

Las características del obstáculo representadas se vincularán con los siguientes atributos asociados en la base o bases de datos:

- La posición horizontal en coordenadas geográficas y la elevación correspondiente.
- El tipo de obstáculo.
- La extensión del obstáculo, si corresponde.

Deberán vincularse con la característica del obstáculo representado otros atributos del obstáculo especificados en la tabla A8-3 del Apéndice 8 del Anexo 15, suministrados en la base o bases de datos.

- Características del aeródromo

Las características del aeródromo y sus correspondientes atributos representados y vinculados en la base de datos con el plano se basarán en datos del aeródromo que satisfagan los requisitos del Anexo 14 V1, Apéndice 5 y del Anexo 15, Apéndice 7.

Las siguientes características del aeródromo se representarán mediante un símbolo apropiado:

- Punto de referencia del aeródromo (ARP).
- La(s) pista(s), con sus números de designación y si existen, la(s) zona(s) de parada y zona(s) libre(s) de obstáculos.
- Las calles de rodaje, plataformas, edificios y otras características prominentes del aeródromo.

Las características del aeródromo representadas se vincularán con los siguientes atributos correspondientes en la base o bases de datos:

- Las coordenadas geográficas del ARP.
 - La variación magnética del aeródromo, el año de información y el cambio anual (la variación magnética estará vinculada en la base de datos con el ARP).
 - La longitud y anchura de la(s) zona(s) de parada y zona(s) libre(s) de obstáculos (cuando corresponda).
 - El tipo de superficie de la(s) pista(s) y la(s) zona(s) de parada y zona(s) libre(s) de obstáculos (cuando corresponda).
 - Las marcaciones magnéticas de la(s) pista(s) al grado más próximo.
 - Las elevaciones de cada extremo de pista(s), zona(s) de parada y zona(s) libre(s) de obstáculos (cuando correspondan) y en cada modificación importante en la pendiente de la(s) pista(s) y zona(s) de parada.
 - Las distancias declaradas en la dirección de cada pista o la abreviatura “NU” cuando no pueda utilizarse una dirección de pista para el despegue o el aterrizaje, o en ambos casos.
- Características de las radioayudas a la navegación

Las características de cada radioayuda para la navegación situada dentro de la cobertura del plano se representarán con un símbolo apropiado.

Los atributos de las características de las radioayudas para la navegación se vincularán con las características de la ayuda para la navegación representada en la base o bases de datos.

C.3.6. Exactitud y definición

El orden de exactitud de los datos aeronáuticos será el especificado en el Apéndice 5 del Anexo 11 y Apéndice 5 del Vol. 1 y Apéndice 1 del Vol. 5 del Anexo 14. El orden de exactitud de los datos topográficos y de obstáculos serán los especificados en el Apéndice 8 del Anexo 15.

La definición de los datos aeronáuticos será la especificada en el Apéndice 7 del Anexo 15, mientras la definición de los datos topográficos y de obstáculos será la especificada en el Apéndice 8 del Anexo 15.

C.3.7. Funcionalidad electrónica

Será posible variar la escala con la que se observe el plano. El tamaño de los símbolos y del texto variará con la escala del plano para su mejor legibilidad.

La información en el plano estará georreferenciada y será posible determinar la posición del cursor al segundo más próximo por lo menos.

El plano será compatible con los soportes técnicos de escritorio, soportes lógicos y medios ampliamente disponibles.

El plano debe incluir su propio soporte lógico "lector".

No será posible eliminar información del plano sin una clave autorizada.

Se suministrarán capas de información seleccionables para permitir la combinación de información apropiada para el interesado.

Nota: el producto impreso puede consistir en hojas "imbricadas" o en determinadas zonas escogidas según las necesidades del usuario.

La información sobre atributos de las características disponibles mediante enlace con la base de datos puede suministrarse por separado en hojas con las referencias correspondientes.

C.3.8. Especificaciones del producto de datos cartográficos

Se suministrará una amplia exposición de los conjuntos de datos que contiene el plano en forma de especificaciones de datos en las cuales podrán basarse los usuarios de la navegación aérea para evaluar el producto de datos cartográficos y determinar si cumple con los requisitos del uso para el que está destinado.

Las especificaciones de datos cartográficos incluirán una reseña general, un alcance de la especificación, una identificación del producto de datos, información sobre el contenido de datos, los sistemas de referencia utilizados, los requisitos de calidad de los datos e información sobre la recopilación de los datos, el mantenimiento de los datos, la representación de los datos, la entrega de los datos y toda información adicional disponible, y los metadatos.

La reseña general de las especificaciones de datos brindará una descripción oficiosa del producto y contendrá información general acerca de los datos. El alcance de las especificaciones de datos cartográficos contendrá la extensión espacial (horizontal) de la cobertura del plano. La identificación de los datos cartográficos incluirá el título del producto, un breve resumen narrativo de su contenido y finalidad y una descripción de la zona geográfica cubierta por el plano.

Las especificaciones del producto de datos cartográficos contendrán información que defina los sistemas de referencia utilizados. Esto incluirá el sistema de referencia espacial (horizontal y vertical) y, si corresponde, el sistema de referencia temporal. Las especificaciones del producto de datos cartográficos identificarán los requisitos de calidad de los datos. Esto incluirá una declaración de los niveles aceptables de calidad y las correspondientes medidas de calidad de los datos. Esa declaración comprenderá

todos los elementos de calidad de los datos y subelementos de calidad de los datos, aunque solo sea para declarar que no es aplicable un elemento o subelemento específico.

Las especificaciones del producto de datos cartográficos incluirán una declaración de la recopilación de los datos que será una descripción general de las fuentes y los procedimientos aplicados para recopilar los datos cartográficos. Los principios y criterios aplicados para el mantenimiento de la carta también se suministrarán en las especificaciones de los datos cartográficos, incluso la frecuencia con que se actualiza el plano. De particular importancia será la información sobre el mantenimiento de los conjuntos de datos sobre los obstáculos incluidos en la carta y una indicación de los principios, métodos y criterios aplicados para el mantenimiento de los datos sobre los obstáculos.

Las especificaciones del producto de datos cartográficos contendrán información acerca de cómo se representan los datos en el plano. Las especificaciones del producto de datos cartográficos también tendrán información sobre la entrega de productos de datos, que comprenderán formatos de entrega e información sobre medios de entrega.

Se incluirán los elementos centrales de metadatos del plano en las especificaciones del producto de datos cartográficos. Todo elemento de metadatos adicionales que se requiera suministrar se declarará en las especificaciones del producto junto con el formato y la codificación de los metadatos.

Capítulo 3

3. Adquisición y Procesamiento de la Información

Las instituciones de gobierno, los institutos de investigación en recursos naturales, organizaciones comerciales y los investigadores están involucrados en la recolección y disseminación de datos geográficos, tanto en forma análoga como digital. Las instituciones de gobierno son los recolectores, proveedores y usuarios principales de la información geográfica; de todos los datos que se recolectan, entre el 60 y el 80 por ciento se puede clasificar como geográficos.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (antes Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) es un órgano autónomo del gobierno mexicano para la consecución de su objetivo básico, que es coordinar los sistemas y servicios nacionales de Estadística y de Información Geográfica, así como producir la información estadística y geográfica de interés nacional.

Las funciones del INEGI en materia de Geografía son:

- Establecer las políticas, normas y técnicas para uniformar la información geográfica del país.
- Realizar investigaciones y estudios en materia geográfica y cartográfica.
- Instituir y dirigir el Registro Nacional de Información.
- Efectuar los trabajos cartográficos que sean necesarios para el cumplimiento de tratados o convenios internacionales, en la definición y demarcación de límites internacionales, incluyendo la Zona Económica Exclusiva.
- Autorizar la toma de fotografías aéreas con cámaras métricas o de reconocimiento y de otras imágenes por percepción remota, así como la realización de estudios y exploraciones geográficas que realicen personas físicas o morales extranjeras.
- Verificar la información geográfica generada por las unidades del Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG)

- Establecer las normas, políticas y técnicas que deberán observarse para el desarrollo de proyectos de información cartográfica y catastral, así como planear, organizar, dirigir y controlar las actividades en materia de cartografía catastral ejidal.
- Coordinar el establecimiento y la consolidación de un sistema cartográfico digital (Internet 4).

Los materiales utilizados en este trabajo son:

- Cartas topográficas escala 1:50,000 y/o 1:250,000.
- Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) del área.
- Fotografías aéreas digitales (para elaboración de mosaico).
- Software: Erdas Imagine (mosaico), ArcGIS (cartografía).

Por lo tanto, para la elaboración de este trabajo, el INEGI es el principal proveedor de información, especialmente a escala 1:50,000 y en algunos casos escala 1:250,000, dependiendo de la disponibilidad de información, y cubrimiento de las zonas de interés; además de los datos recopilados en las visitas de campo, así como los vuelos para obtención de fotografía aérea, por el Instituto de Geografía de la UNAM.

Para ejemplificar la metodología utilizada, se mostrará en este trabajo el caso del Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón, Sonora.

Cartas topográficas

Como primera etapa para el desarrollo del proyecto, se definen las capas de información necesarias para el cumplimiento de los objetivos. Para esta tarea se utilizó la capa de la división política de la República Mexicana, el límite de la zona de interés, que es un radio de 45 km (24 MN) a partir del punto de referencia de aeródromo (ARP).

Para obtener conjuntos de datos de la escala 1:50,000 se deben considerar los cuadrantes de la división para la escala 1:1,000,000 obtenidos a partir de las “fajas” de 4° de latitud y de las “zonas” UTM de 6° de longitud.

Cada cuadrante de 4° x 6° es subdividido en cuatro “sectores” iguales por medio del meridiano central de cada “zona UTM” y del paralelo medio de cada “faja” (Figura 3.1).

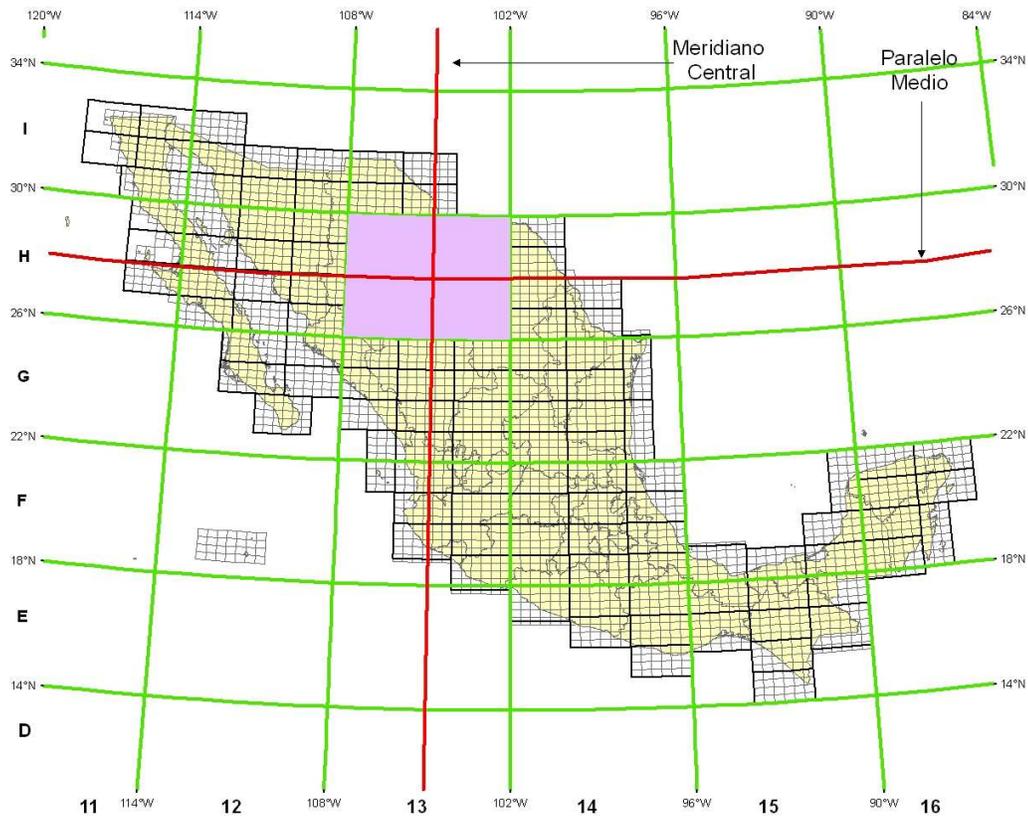


Figura 3.1. Retícula UTM.

Los “sectores” obtenidos tienen un formato de 2° de latitud por 3° de longitud y se nombran **A, B, C, D**, con lo que cada “sector” se identifica de modo único por ejemplo, **G13A, G13B, G13D**.

Cada uno de los “sectores” (como el G13D), se divide en 8 renglones de 15’ de latitud y en 9 columnas de 20’ de longitud. Por lo que los conjuntos de datos y los mapas

impresos de escala 1:50,000 se presentan en formato de 15' de latitud por 20' de longitud.

Como parte de la nomenclatura de cada conjunto de datos y mapa impreso de la serie escala 1:50,000, lleva un par de números que los caracterizan. Estos pares se forman de la combinación de un dígito de renglón y de un dígito de columna (en ese orden).

Con lo anterior, se pueden identificar sin confusión, conjuntos de datos de 15' de latitud por 20' de longitud, por ejemplo **G13D89** (Figura 3.2) (INEGI, *op.cit.*).

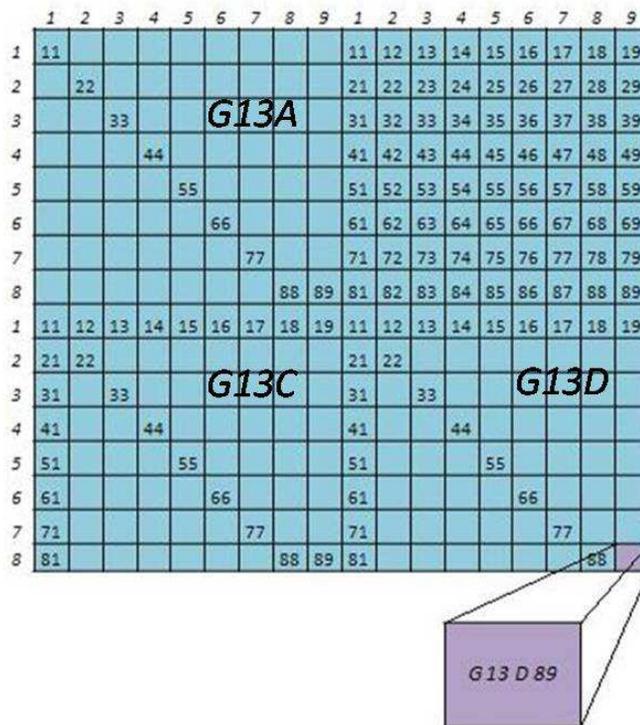


Figura 3.2. Nomenclatura de cartas topográficas 1:50,000 de INEGI.

En resumen, la nomenclatura se determina así:

1. La letra de la faja
2. Los dígitos de la zona

3. La letra del sector

4. La combinación de los dígitos del renglón y de la columna

Una vez que se cuenta con la información proporcionada por el INEGI, que para el caso del Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón, consta de 12 cartas escala 1:50,000 que cubren totalmente el área de interés; se procede a la selección de las capas que ayudarán al logro de los objetivos (Figura 3.3).

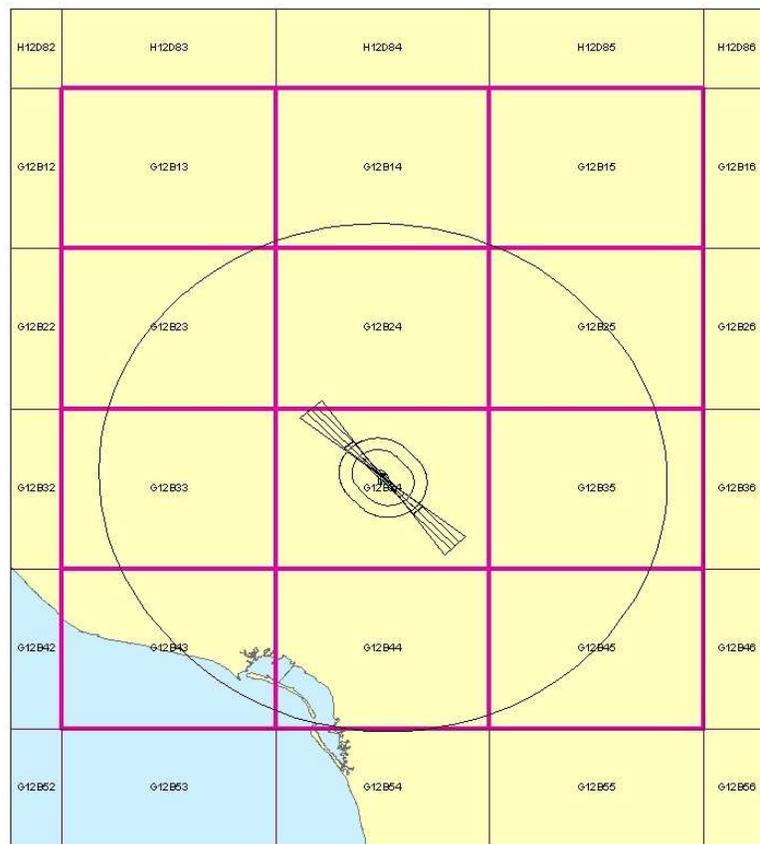


Figura 3.3. Cartas 1:50,000 de INEGI, Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón, Sonora.

Por otra parte, el procesamiento de dicha información se realiza en el Instituto de Geografía, por medio de diversos procedimientos, a través de los SIG, por ejemplo, la

georreferenciación, la corrección topológica, elaboración y edición de bases de datos, entre otros, que se explicarán más adelante.

Modelo Digital de Elevación

Se adquiere el DEM, de la página del INEGI del sistema continuo de elevaciones del país (<http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977>), en formato *.bil. El tamaño del pixel es de 30 metros, con un sistema de coordenadas geográficas con el datum ITRF92 y elipsoide GRS80. Para descargar el archivo DEM, se definieron las coordenadas extremas del área de estudio, que corresponden a las coordenadas del recuadro formado por las 12 cartas topográficas que cubren la zona (Figura 3.4).

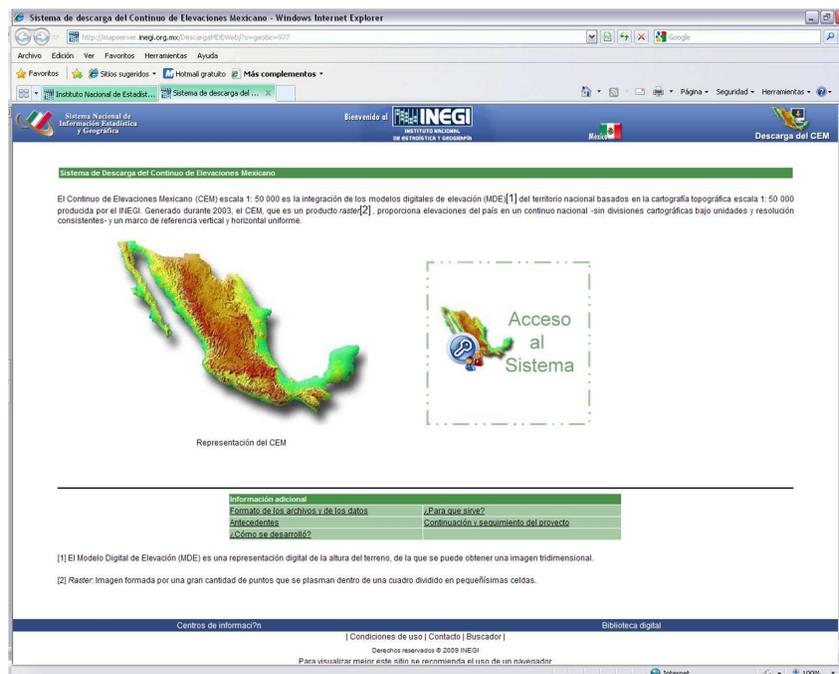


Figura 3.4. Sistema de Descarga del Continuo de Elevaciones Mexicano.

Una vez que se ha descargado el DEM, se realiza una reproyección, del sistema de coordenadas en el que se encuentra, al sistema de coordenadas que se está utilizando, en este caso, coordenadas UTM, con datum WGS84 (Figura 3.5).

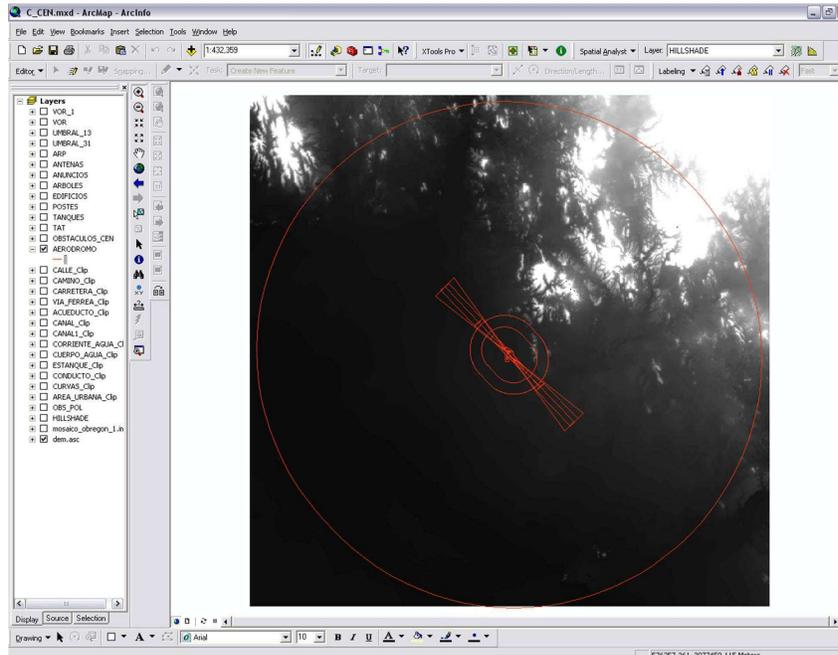


Figura 3.5. Modelo Digital de Elevación.

Fotografías aéreas digitales

Para este trabajo se requiere un levantamiento de fotografía aérea por tres motivos primordiales, el primero, es actualizar la cartografía base proporcionada por el INEGI, principalmente, las capas de calles, carreteras y áreas urbanas; el segundo, es utilizarlas como base para la digitalización del plano del aeródromo; y el tercero es emplearlas de apoyo en la ubicación y medición de los obstáculos de aeródromo, objetivo principal del Plano de Aeródromo Tipo C.

Las herramientas informáticas y la tecnología han impactado significativamente en la generación de la fotografía aérea y los derivados fotogramétricos. En la actualidad, las tendencias tecnológicas en este sentido son cuatro:

- La asociación de las tomas aerofotográficas al Sistema de Posicionamiento Global, lo cual redundará en la disponibilidad de coordenadas específicas para cada centro de foto.
- La utilización de programas de aplicación para las tareas de restitución fotogramétrica digital.
- La consolidación de imágenes fotográficas geoméricamente corregidas, como son las ortofotos digitales, cuya producción está ligada a los modelos digitales de elevación.
- La toma de fotografía digital.

El proceso para la toma de fotografía aérea se ha modernizado al equipar las aeronaves con cámaras que cuentan con microprocesadores para el control automático de sus funciones, incluyendo la compensación de movimiento de la imagen. También se han instalado sistemas GPS para la conducción precisa de las aeronaves, lo que permite ubicar geográficamente el centro de cada fotografía al momento de la toma y con ello mejorar los procesos fotogramétricos que en la actualidad son digitales. Mediante este sistema, se generan y actualizan cartas topográficas en diversas escalas. Estas fotografías se utilizan también para la realización de cartografía temática y estudios geográficos diversos (López, 2006).

Al finalizar el levantamiento, se obtienen 7 líneas de vuelo paralelas a la dirección de la pista del aeródromo, con una longitud aproximada de 20 km que cubren el aeródromo y sus superficies limitadoras de obstáculos. Posteriormente se elabora la ortorrectificación y armado del mosaico.

La ortorrectificación es un proceso que consiste en remover los errores geométricos inherentes dentro de las fotografías y generar una representación plana del terreno. Las variables que contribuyen a los errores geométricos son las siguientes:

- La orientación de la cámara y el sensor, al momento de la toma (elementos de orientación externa).
- Errores sistemáticos asociados con la cámara y el sensor (elementos de orientación interna).
- Desplazamiento debido al relieve (diferencias de escala).
- Curvatura de la tierra (representación plana).

Una vez realizada la ortorrectificación, cada pixel dentro de una imagen adquiere fidelidad geométrica. Así que las mediciones que se hacen sobre una imagen ortorrectificada, representan las posiciones de los objetos; como si ellas fueran hechas directamente sobre la superficie terrestre (López, *op.cit.*).

Mosaico de fotografías aéreas digitales

Para llevar a cabo el estudio sobre un territorio o zona en particular, es necesario abarcarla de manera completa con un barrido fotográfico, es decir, que su ámbito va más allá de una sola imagen aérea, como se explico con anterioridad. Por ello se deben unir varias fotografías en una sola imagen más grande, lo que implica la formación de un modelo bidimensional del terreno, que contiene un conjunto de fotografías aéreas rectificadas y unidas en un solo formato.

Cuando se ha hecho todo el trabajo correctamente, las uniones entre fotografías serán perfectas. Así el mosaico que se estudia, tendrá una calidad comparable a la de una ortofoto realizada con estaciones fotogramétricas digitales (López, *op.cit.*). En la figura 3.6 se observa un ortomosaico de la zona de influencia del aeropuerto de Ciudad Obregón, Sonora; compuesto por 450 imágenes digitales.

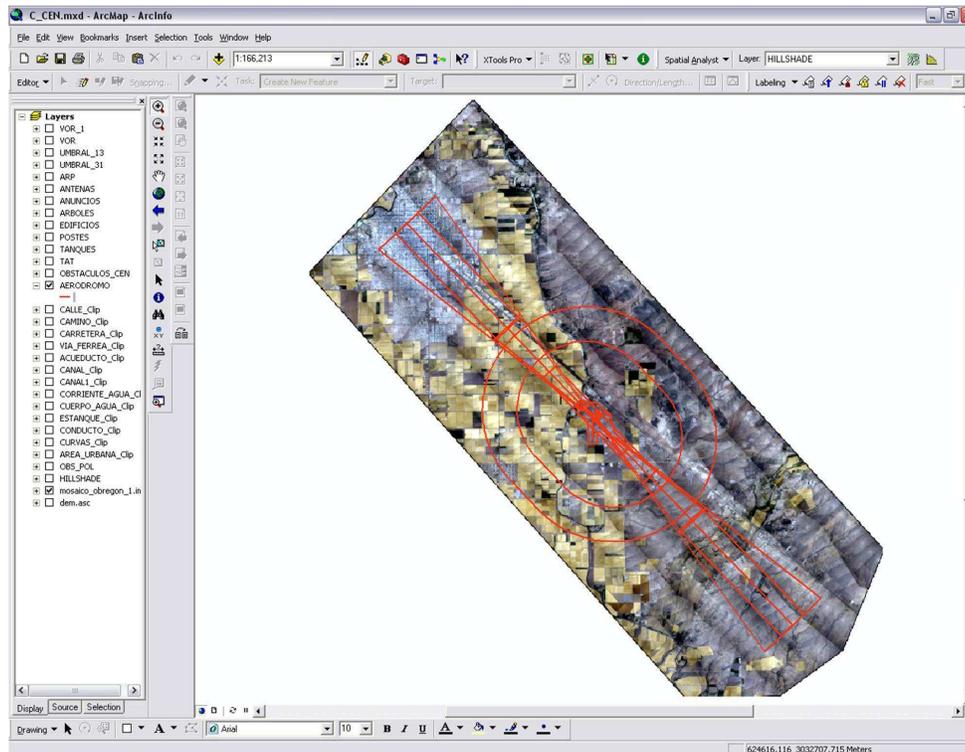


Figura 3.6. Mosaico de fotografías aéreas digitales.

Software

El software utilizado en la metodología de este trabajo, es de dos tipos principalmente. El primero, son los que procesan imágenes, ya sean de satélite o fotografía aérea, para este caso, se utilizaron fotografías aéreas digitales, como se menciono anteriormente, con las que se hace un mosaico, una vez que las fotografías se han ortorrectificado en un software llamado ERDAS 8.0; mismo en el que se elabora el mosaico con ayuda del DEM.

Por otro lado, el segundo tipo de software empleado, los SIG, para el manejo de los datos vectoriales, raster y bases de datos; así como para la elaboración de la cartografía final. Para este trabajo se utiliza ArcGIS 9.2 de ESRI.

3.1. Selección de las Capas de Información Necesaria para el Logro de los Objetivos

Las 12 cartas topográficas contienen alrededor de 80 capas de información, de las cuales habrá que seleccionar unas cuantas. En primer lugar se valora la importancia que tiene, para el objetivo que se persigue, la información contenida en estas capas, y por lo tanto, eliminar todas aquellas que no aporten información relevante al Plano de Obstáculos, por ejemplo, conductos, rasgos arqueológicos, túneles, etc. Una vez que se ha reducido considerablemente el número de capas, se tienen que eliminar todas aquellas cuya información, aunque pudiera ser valiosa, pero que no esté dentro de las superficies limitadoras de obstáculos del aeródromo. Finalmente, se tienen las capas de datos vectoriales a las que se les realizarán diversos procesos con el fin de elaborar el plano final.

3.1.1. Datos Vectoriales

Las cartas de INEGI cuentan con un total de 81 capas de información (Tabla 3.1), de las cuales se hace una selección de aquellas que aportan información suficiente y útil para el objetivo que se persigue, ubicar toda aquella estructura natural o antrópica que represente un obstáculo para las operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves.

No.	Representación Geométrica	Entidad	No.	Representación Geométrica	Entidad
1	Polígono	Aeropuerto	42	Línea	Límite
2	Polígono	Área de cultivo	43	Punto	Localidad
3	Punto	Aeropuerto	44	Punto	Subestación eléctrica
4	Polígono	Área Urbana	45	Línea	Línea de transmisión
5	Línea	Acueducto	46	Polígono	Malpaís
6	Punto	Banco de Material	47	Punto	Mina
7	Punto	Instalación de Bombeo	48	Punto	Manantial

8	Línea	Bordo	49	Línea	Muro de contención
9	Polígono	Canal	50	Polígono	Área Natural Protegida
10	Línea	Conducto	51	Punto	Nombre geográfico
11	Línea	Canal	52	Polígono	Instalación portuaria
12	Línea	Camino	53	Punto	Punto acotado
13	Línea	Curva de nivel	54	Línea	Pista de carreras
14	Punto	Caseta de peaje	55	Línea	Instalación portuaria
15	Línea	Carretera	56	Línea	Presa
16	Línea	Calle	57	Polígono	Pantano
17	Polígono	Instalación deportiva o recreativa	58	Línea	Puente
18	Punto	Depósito de desechos	59	Polígono	Rasgo arqueológico
19	Punto	Instalación deportiva o recreativa	60	Punto	Rasgo arqueológico
20	Polígono	Edificación	61	Línea	Ruta de embarcación
21	Punto	Entrada a gruta	62	Punto	Roca
22	Línea	Edificación	63	Punto	Rápido
23	Punto	Edificación	64	Polígono	Salina
24	Polígono	Estanque	65	Línea	Separador
25	Punto	Estructura elevada	66	Línea	Salto de agua
26	Punto	Pozo de explotación	67	Punto	Salto de agua
27	Polígono	Arrecife / Bajo	68	Polígono	Terreno sujeto inundación
28	Polígono	Fango	69	Punto	Tanque
29	Punto	Faro/Radiofaro/Vor	70	Línea	Túnel
30	Polígono	Planta generadora	71	Polígono	Área Verde Urbana
31	Punto	Planta generadora	72	Polígono	Pista de Aviación
32	Polígono	Cuerpo de agua	73	Polígono	Vegetación densa
33	Línea	Corriente de agua	74	Línea	Vía Férrea
34	Punto	Corriente que desaparece	75	Línea	Pista de Aviación
35	Polígono	Instalación diversa	76	Línea	Vado
36	Punto	Instalación de Comunicación	77	Punto	Vado
37	Polígono	Instalación industrial	78	Punto	Tanque de agua
38	Punto	Instalación diversa	79	Polígono	Cementerio
39	Polígono	Subestación eléctrica	80	Punto	Cementerio
40	Línea	Línea de comunicación	81	Polígono	Zona arenosa
41	Línea	Lindero			

Tabla 3.1. Capas de información de una carta topográfica escala 1:50,000 de INEGI.

De estas 81 capas, la mayoría no proveen información significativa en este tema, algunas de estas son representadas como puntos, por ejemplo, instalaciones deportivas, entrada a gruta, caseta de peaje, mina, entre otros; también, algunas

líneas, como acueducto, bordo, muro de contención, pista de carrera, etc.; y por último polígonos como arrecife, rasgo arqueológico, terreno sujeto a inundación, zona arenosa.

Por lo tanto, después de la selección de las capas más representativas de las condiciones del territorio, como lo son las vías de comunicación, curvas de nivel, corrientes y cuerpos de agua; se inicia con la reproyección y corrección topológica de estas (Tabla 3.2).

No.	Representación Geométrica	Entidad
1	Punto	Localidades
2	Línea	Curvas de nivel
3	Línea	Carreteras
4	Línea	Caminos
5	Línea	Calles
6	Línea	Corrientes de agua
7	Polígono	Áreas urbanas
8	Polígono	Cuerpos de agua

Tabla 3.2. Capas de información seleccionadas.

Además de la información con la que ya se cuenta, las necesidades del proyecto demandan la creación de capas de información nuevas. Algunas de estas capas se realizan por medio de la digitalización directa sobre el mosaico de fotografías aéreas, sin embargo, para elaborar algunas otras, es indispensable realizar un levantamiento en campo.

De las 3 capas que son digitalizadas tenemos, la capa de aeródromo en donde se trazan todas las instalaciones del aeropuerto, los edificios, las pistas, plataformas, hangares, etc.; las 2 capas restantes son las superficies limitadoras de obstáculos una como línea y otra como polígono. Estas se trazan de acuerdo con las especificaciones de la OACI descritas en el capítulo 2, y que contiene la superficie de ascenso en el despegue,

superficie de aproximación, superficie cónica, superficie horizontal, y un buffer de 45 km.

Las 3 capas que se obtuvieron con el trabajo recopilado en campo son: un levantamiento realizado con GPS de precisión sobre la pista del aeródromo, utilizada en el armado del mosaico de fotografías aéreas; y dos capas de obstáculos de aeródromo, una en puntos y otra en polígono, que muestran la ubicación y extensión de toda aquella estructura que represente un obstáculo para las operaciones de las aeronaves, por ejemplo, antenas, torres, tanques de agua elevados, edificios, así como obstáculos topográficos (Tabla 3.3).

No.	Representación Geométrica	Entidad
1	Punto	Levantamiento de puntos con GPS
2	Punto	Obstáculos de aeródromo
3	Línea	Aeródromo
4	Línea	Superficies limitadoras de obstáculos
5	Polígono	Obstáculos de aeródromo
6	Polígono	Superficies limitadoras de obstáculos

Tabla 3.3. Capas de información generadas.

Una vez que se cuenta con todas las capas necesarias, se les realizan diversos procesos, como reproyecciones, corrección de topología, llenado de bases de datos, y elaboración de metadatos, que se describen más adelante.

3.2. Procesamiento de la Información Vectorial

El primer paso para procesar la información, tanto vectorial como raster, es tener todas las capas con la misma proyección y datum. Por la extensión de la zona de estudio, además de que se encuentra estipulado en el Anexo Técnico del convenio entra ASA y

el IGg, la proyección utilizada para todas las capas es la UTM Zona 12 (correspondiente a Cd. Obregón) con datum WGS84 (Figura 3.7).

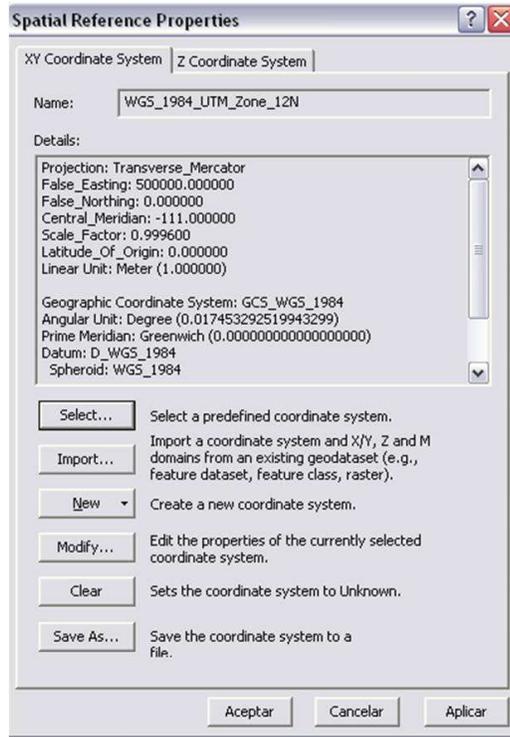


Figura 3.7. Parámetros de la proyección UTM, datum WGS84

El DEM está en coordenadas geográficas, las unidades Z están en metros, el datum es ITRF92 (International Terrestrial Reference Frame of 1992) época 1988, elipsoide GRS80. Por otro lado, las cartas topográficas de INEGI, se encuentran en proyección UTM, datum ITRF92.

Para este propósito se utilizó de ArcGIS, la herramienta *Project*, con la que únicamente se establecen los parámetros de la proyección deseada y se realiza la reproyección (Figura3.8).

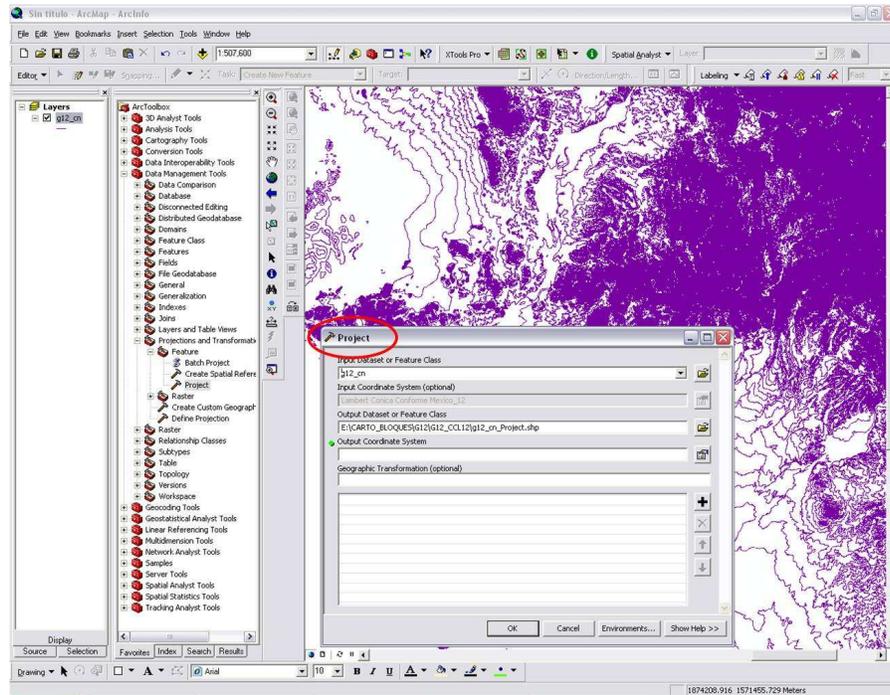


Figura 3.8. Herramienta *Project* de ArcGIS

Una vez que toda la información se encuentra en la misma proyección, el siguiente paso, es realizar la corrección topológica.

3.2.1. Reglas Topológicas y Actualización de Vectores

Para poder realizar la corrección topológica, debemos definir que es la topología en primer lugar. Si se realiza esta pregunta a un matemático, la respuesta será la siguiente: “Topología es la rama de las matemáticas que estudia las propiedades de las figuras geométricas o los espacios que no se ven alterados por transformaciones continuas”. Para comprender mejor esta idea podemos imaginar un rompecabezas de varias piezas realizado de un material plástico. Según se estira y deforma el rompecabezas, cada una de sus piezas se deforma hasta el punto que la imagen dibujada en él queda irreconocible. No obstante algunos aspectos del rompecabezas permanecerán inalterados:

- El número de piezas.
- Cada pieza sigue teniendo a su alrededor las mismas piezas.
- La parte de la imagen de cada pieza sigue siendo la misma, aunque distorsionada en mayor o menor medida.
- La imagen de cada pieza se une con la de las piezas colindantes para formar la imagen completa del rompecabezas.

A través de la topología es posible describir las relaciones espaciales existentes entre las diferentes piezas de forma explícita sin necesidad de recurrir a complejas comparaciones espaciales. Por ejemplo, una pieza será adyacente a otra simplemente por el hecho de tener un lado en común.

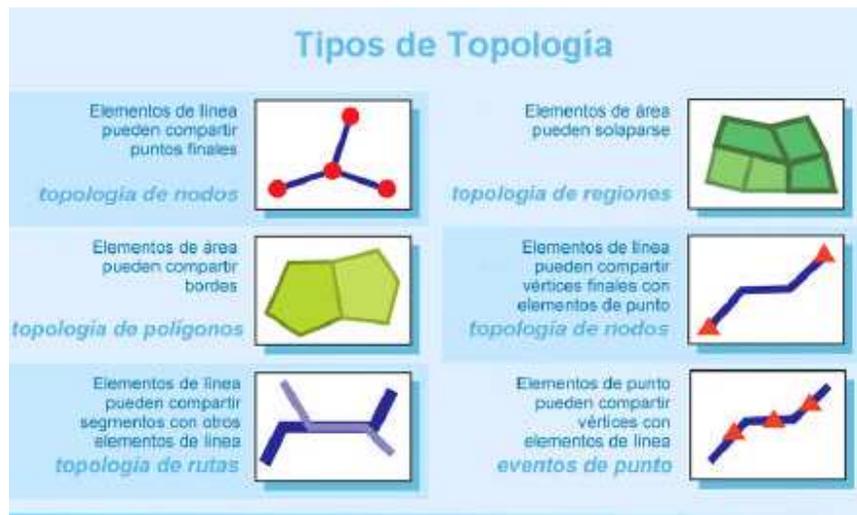


Figura 3.9. Tipos de Topología.

Cuando hablamos de topología en el campo de los SIG, ésta ha sido históricamente considerada como una estructura de datos espaciales empleada principalmente para asegurar que entidades asociadas geoméricamente, forman una estructura topológica

bien definida (los polígonos cierran, arcos que se suponen que tiene que estar conectados efectivamente lo están, etc.).

Con el desarrollo de los SIG orientados a objetos y a la implementación de la Geodatabase, ha surgido una nueva visión de la topología, como un conjunto de reglas y relaciones entre los elementos de una misma o distintas capas de información, que junto con un extenso número de herramientas y tareas de edición, permiten modelar de manera más veraz las entidades presentes en el mundo real (ESRI, 2003).

Con esta nueva visión, la topología puede seguir siendo empleada para asegurar que los elementos asociados geoméricamente forman una estructura bien definida, pero de manera adicional, se asegurará que los elementos cumplen una serie de reglas definidas, lo que permite una gran flexibilidad en el diseño de los modelos de datos. Por ejemplo, con la generación de topología en una capa de líneas (calles), se eliminarán los nodos colgados o “*dangles*” dentro de la tolerancia definida y se generarán nodos en los cruces; de forma adicional es posible definir, por ejemplo una regla para que las calles coincidan con los límites de los elementos de una capa de polígonos (manzanas catastrales por ejemplo), definiendo así de manera más real una clase de elementos de calles.

Para hacer la corrección topológica se utiliza una topología de reglas. Se trata de una topología muy flexible en cuanto a que el usuario decide que reglas topológicas se aplicarán a cada caso, así como la forma de manejar los errores topológicos detectados tras un proceso de validación.

Este tipo de topología se puede generar sobre Geodatabases, a través de ArcGIS, que permite la visualización de todos los elementos generados en la creación de la topología (reglas aplicadas, áreas sin validar, errores y errores marcados como excepciones).

Un concepto clave cuando se habla de topología es la tolerancia *cluster*, que es la distancia entre los elementos que participan en la topología, dentro de la cual, los vértices de dichos elementos serán considerados coincidentes en términos de edición.

Algunos de los conceptos más importantes que se tienen en cuenta en la topología de reglas son las siguientes:

Reglas topológicas: El componente fundamental de una topología, son las reglas topológicas, que son establecidas para controlar las relaciones espaciales permitidas entre elementos de una misma capa, entre distintas capas, o incluso entre subtipos de elementos.

El proceso de validación inicial de la topología, chequeará que cada una de las reglas que han sido establecidas, se cumplen en todos y cada uno de los elementos que participan en la topología.

Es posible elegir entre un elevado número de reglas topológicas dependiendo de las relaciones espaciales que se quieran implementar para satisfacer las necesidades del modelo diseñado.

Para capas de polígonos, las principales reglas topológicas son:

No deben superponerse

Los polígonos no deben de superponerse dentro de una misma capa. Los polígonos pueden estar desconectados, tocarse en un punto o a lo largo de un borde. Se crean errores de polígono en áreas donde los polígonos se superponen, como se muestra en la figura 3.10 en rojo. Esta regla se utiliza para asegurar que los polígonos no se superponen en una misma capa, por ejemplo en una capa de estados o municipios.

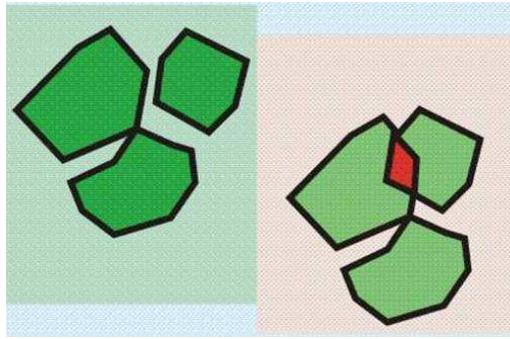


Figura 3.10. Los polígonos no deben superponerse.

No deben tener espacios

Los polígonos no deben tener espacios entre ellos dentro de una misma capa. Los errores se crean como líneas cuando existen espacios entre polígonos o cuando se trata de un solo polígono, como se muestra en la figura 3.11 en rojo. Los bordes de un polígono que no coincide con los bordes de otro se consideran como errores. Esta regla se debe utilizar cuando todos los polígonos deben constituir una superficie continua sin vacíos ni huecos, por ejemplo una capa de superficies limitadoras de obstáculos, entre las que no debe haber ningún espacio vacío.

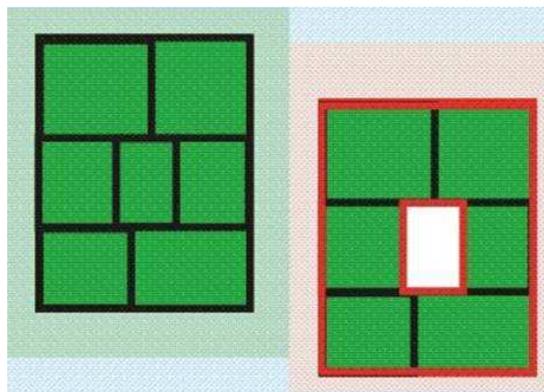


Figura 3.11. No deben tener espacios entre polígonos.

Para capas de líneas, las principales reglas topológicas son:

No deben superponerse

Las líneas no deben de superponerse a ninguna parte de otra línea dentro de una capa. Las líneas pueden tocar, intersectar y sobreponerse a sí mismas. El error en las líneas se crea cuando dos o más líneas se superponen, como se muestra en la figura 3.12 en rojo. Esta regla se utiliza con líneas que no deben ocupar el mismo espacio con otras líneas en ningún caso, como en una capa de carreteras.

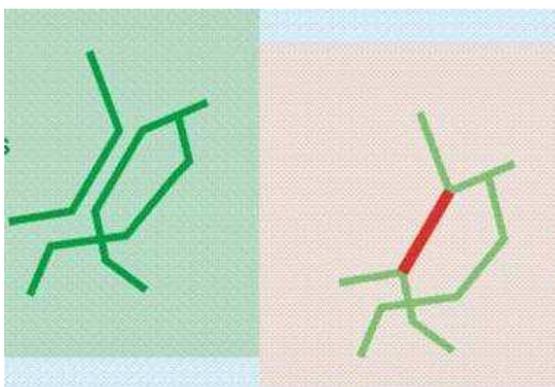


Figura 3.12. Las líneas no deben superponerse.

No debe tener nodos “colgados”

El final de una línea debe tocar cualquier parte de otra línea o de sí misma dentro de una capa. Los errores de punto se cran al final de una línea que no toca al menos otra línea o a sí misma, como se muestra en la figura 3.13 en rojo. Esta regla se utiliza cuando se desee que las líneas de una capa se conecten unas con otras, como en una red de calles, en la que los segmentos están conectados. Cuando estos segmentos representen el final de una calle se debe marcar este error como una excepción.

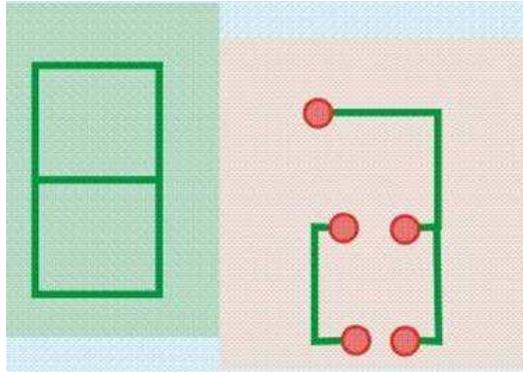


Figura 3.13. Las líneas no deben tener nodos "colgados".

No deben intersectarse

Las líneas no deben cruzar o superponerse ninguna parte de otra línea dentro de la misma capa. Los errores de líneas aparecen en donde las líneas se superponen, y los errores de punto se crean en donde las líneas se cruzan, como se muestra en la figura 3.14 en rojo. Esta regla se utiliza con líneas cuyos segmentos no deben de cruzarse u ocupar el mismo espacio con otra línea, por ejemplo en líneas que dividen lotes o manzanas de un área urbana.

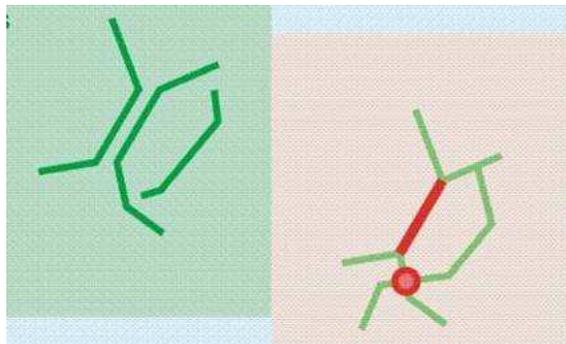


Figura 3.14. Las líneas no deben de intersectarse.

No debe tener "pseudo-nodos"

El final de una línea no debe tocar el final de una sola línea dentro de una capa, sin embargo puede tocar cualquier parte de sí misma. El error de aparece como un punto cuando el final de la línea toca el final de una sola línea, como se muestra en la figura 3.15 en rojo. Esta regla se utiliza para limpiar información con líneas subdivididas inapropiadamente, y se aplica para análisis de hidrología.

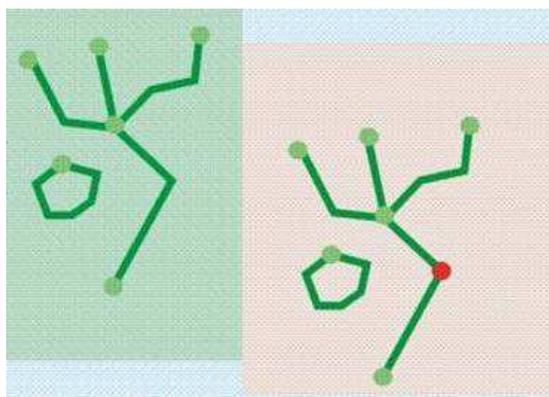


Figura 3.15. Las líneas no deben tener pseudo-nodos.

Una vez definidas las reglas topológicas necesarias, se lleva a cabo la validación de estas. El proceso de validación es la operación de la topología que chequea que todos los elementos del mapa (puntos, líneas y polígonos) cumplen con las reglas anteriormente definidas y crea un registro de cada uno de los errores detectados.

Cuando la topología se ha creado, y por tanto se han definido los elementos geométricos que participan en ella, así como sus propiedades (reglas topológicas seleccionadas y tolerancias cluster), el flujo de operaciones que tienen lugar durante un proceso de validación es el siguiente:

- Procesos de “*cracking*” (generación de vértices en las intersecciones de ejes) y “*clustering*” (unión de los vértices que caigan dentro de la distancia definida por la tolerancia cluster).

- Creación de registros de error en aquellos casos en los que no se cumpla alguna de las reglas topológicas definidas.
- Actualización de la geometría de los elementos, en aquellos casos en que haya sido modificada (eliminación de nodos, introducción de nodos, etc.).
- Actualización de las áreas sin validar asociadas a la topología.

La validación inicial de la topología revisa que cada una de las reglas que han sido establecidas se cumplen en todos y cada uno de los elementos. Los procesos de validación que se ejecutan tras operaciones de edición solo reconocerán las zonas editadas y no validadas.

Durante el proceso de validación y cada una de las veces en las que no se cumpla alguna de las reglas topológicas elegidas, se crea un registro de error. Éstos se almacenan en la base de datos y tiene asociada una geometría que se utiliza para localizar los errores en pantalla, pudiendo simbolizarse como una capa más. El tipo de error depende de la regla incumpliendo en cada momento.

Al estar almacenados en la base de datos, en todo momento se puede acceder a la información asociada a ese error, como la descripción de la regla incumplida que provocó el error, los elementos que lo genera y la simbología del error.

El cumplimiento de todas las reglas topológicas que se definan, sería la situación ideal, no obstante, la Geodatabase es flexible a la hora de manejar los errores, que si bien en un principio se almacenan como errores topológicos, es posible convertirlos en excepciones.

Se comienza la corrección de los errores, que en algunas ocasiones pueden ser varios miles, dependiendo del número de capas y la extensión de las mismas. El SIG ArcGIS ofrece de forma “inteligente” soluciones en función del error producido. Por ejemplo, una línea con nodos colgados (*dangles*) puede ser recortada o extendida, pero en el error causado por una superposición de polígonos el sistema ofrece soluciones más

convenientes como la incorporación del área compartida a uno de los polígonos, la sustracción del área, o la creación de un polígono independiente a partir del área de superposición. De tal forma, que se corrigen todos los errores que se producen en las capas a utilizar. Una vez terminada la revisión topológica, se puede iniciar el llenado de bases de datos y metadatos (ESRI, 2003).

3.3. Diseño de Bases de Datos y Metadatos

3.3.1. Bases de Datos

Para la elaboración de este trabajo, es indispensable considerar que las capas de información contienen una base de datos asociada, en la que se almacena gran cantidad de información relacionada a dicha capa. En este caso, las bases de datos son tablas planas, en las que a cada elemento de la capa, ya sea de línea, punto o polígono, le corresponde un registro.

El diseño de cada base de datos, depende del tipo de geometría de la que se trate, además del objetivo que cumpla cada capa dentro de la propuesta de Plano Tipo C.

Como se muestra en la figura X, la tabla asociada a la capa de obstáculos de aeródromo representados como puntos, consiste en 10 columnas (Figura 3.16):

- FID. Este es un campo generado automáticamente por el sistema y que aumenta un registro, con un identificador único al crear un elemento de la capa.
- Shape. Este campo muestra de que tipo de geometría se trata para cada registro.
- ID. Es un campo creado con una numeración consecutiva como identificador.
- Obstáculo. Campo generado para darle una etiqueta a cada elemento, y diferenciarlo por tipo.

- Altura y Elevación. Ambos campos muestran un atributo de cada elemento, en este caso es la altura del objeto señalado, y la elevación que es la suma de la altura mas la altitud del terreno en la que se encuentre.
- X y Y. Son los campos que muestran las coordenadas (latitud y longitud) de cada uno de los puntos en grados, minutos y segundos.
- X1 y Y1. Son los campos que muestran las coordenadas de cada punto en UTM.

FID	Shape	ID	OBSTACULO	ALTURA	ELEVACION	X	Y	X.1	Y.1
0	Point	1	edificio	8.5 71.5	109° 46' 20"W	22° 21' 38.80"N	619482.041588	3026903.52247	3027096.24794
1	Point	2	edificio	12.3 75.3	109° 48' 3.20"W	22° 21' 43.00"N	619575.115457	3028100.44477	3028304.45577
2	Point	3	torre de alta tension	9.9 72.9	109° 48' 14.83"W	22° 22' 16.27"N	616814.065379	3028100.44477	3028304.45577
3	Point	4	edificio	9.6 72.6	109° 49' 31.00"W	22° 22' 23.04"N	616167.948667	3028100.44477	3028304.45577
4	Point	5	torre de alta tension	11.1 74.1	109° 49' 61.20"W	22° 22' 36.50"N	615721.108865	3028100.44477	3028304.45577
5	Point	6	tanque	10 76	109° 50' 54.00"W	22° 23' 55.65"N	613668.411278	3031138.87878	3031138.87878
6	Point	7	edificio	13.5 71.5	109° 50' 57.20"W	22° 23' 58.64"N	613771.422005	3031162.69602	3031162.69602
7	Point	8	antena	17.3 75.3	109° 50' 57.60"W	22° 23' 55.90"N	613756.575348	3031142.11118	3031142.11118
8	Point	9	erbol	13.2 71.2	109° 50' 52.20"W	22° 24' 11.14"N	613904.25909	3031610.00153	3031610.00153
9	Point	10	poste	8.5 66.5	109° 51' 0.30"W	22° 24' 4.20"N	613666.024824	3031396.93346	3031396.93346
10	Point	11	edificio	6.4 69.4	109° 47' 48.50"W	22° 21' 30.80"N	613666.024824	3028100.44477	3028100.44477
11	Point	12	edificio	7.4 70.4	109° 48' 0.40"W	22° 21' 50.00"N	613666.024824	3027314.34886	3027314.34886
12	Point	13	tanque	10.6 73.6	109° 48' 2.80"W	22° 21' 49.24"N	613666.024824	3027287.39068	3027287.39068
13	Point	14	poste	6.4 71.4	109° 48' 0.91"W	22° 22' 1.20"N	613666.024824	3027659.50507	3027659.50507
14	Point	15	edificio	5.8 68.8	109° 48' 5.49"W	22° 21' 58.21"N	618525.053004	3027691.26111	3027691.26111
15	Point	16	edificio	5.1 68.1	109° 48' 18.04"W	22° 22' 30.98"N	618170.016812	3026588.01172	3026588.01172
16	Point	17	tanque	12 75	109° 48' 35.50"W	22° 22' 22.89"N	617689.66194	3026622.07628	3026622.07628
17	Point	18	edificio	6.5 66.5	109° 48' 33.64"W	22° 22' 51.49"N	617726.360254	3026194.4998	3026194.4998
18	Point	19	tanque	16.5 74.5	109° 49' 44.91"W	22° 24' 11.25"N	615754.480541	3031630.86741	3031630.86741
19	Point	20	antena	11 69	109° 49' 43.45"W	22° 24' 6.18"N	615796.150493	3031474.47639	3031474.47639
20	Point	21	edificio	6 64	109° 49' 51.41"W	22° 24' 13.09"N	615401.674326	3031692.20746	3031692.20746
21	Point	22	edificio	4 8 62.8	109° 50' 3.82"W	22° 24' 31.37"N	615229.276865	3032245.1294	3032245.1294
22	Point	23	edificio	6.5 64.5	109° 50' 6.98"W	22° 24' 28.81"N	615143.240652	3032165.91801	3032165.91801
23	Point	24	tanque	6.5 66.5	109° 50' 33.20"W	22° 24' 27.18"N	614423.791027	3032107.98201	3032107.98201
24	Point	25	edificio	7 2 65.2	109° 50' 33.36"W	22° 24' 24.28"N	614420.206948	3032019.46316	3032019.46316
25	Point	26	edificio	7 2 65.2	109° 50' 33.23"W	22° 24' 24.50"N	614423.574307	3032027.72475	3032027.72475
26	Point	27	edificio	7 2 65.2	109° 50' 33.12"W	22° 24' 24.79"N	614426.550212	3032035.90794	3032035.90794
27	Point	28	edificio	7 2 65.2	109° 50' 33.02"W	22° 24' 25.02"N	614429.334732	3032041.99988	3032041.99988
28	Point	29	poste	5 63	109° 50' 57.89"W	22° 25' 20.94"N	613730.313884	3033756.41509	3033756.41509
29	Point	30	poste	6 66	109° 50' 58.24"W	22° 25' 19.22"N	613732.08074	3033703.99465	3033703.99465
30	Point	31	poste	16.4 74.4	109° 50' 56.13"W	22° 25' 26.79"N	613777.542181	3033675.99912	3033675.99912
31	Point	32	poste	16.4 74.4	109° 51' 2.57"W	22° 25' 29.27"N	613599.34028	3034025.5918	3034025.5918
32	Point	33	poste	16.4 74.4	109° 51' 6.79"W	22° 25' 34.50"N	613427.305144	3034172.84693	3034172.84693
33	Point	34	poste	16.4 74.4	109° 51' 11.20"W	22° 25' 44.24"N	613263.614763	3034481.7027	3034481.7027
34	Point	35	poste	16.4 74.4	109° 51' 14.78"W	22° 25' 38.22"N	613281.306779	3034314.82734	3034314.82734
35	Point	36	poste	16.4 74.4	109° 51' 27.31"W	22° 25' 49.90"N	612914.552513	3034609.59149	3034609.59149
36	Point	37	poste	16.4 74.4	109° 51' 32.29"W	22° 25' 52.79"N	612778.424462	3034746.7625	3034746.7625
37	Point	38	poste	16.4 74.4	109° 51' 43.09"W	22° 26' 1.22"N	612477.830462	3034864.79351	3034864.79351
38	Point	39	poste	16.4 74.4	109° 51' 38.19"W	22° 25' 57.27"N	612613.782706	3034864.30619	3034864.30619
39	Point	40	poste	14.5 72.5	109° 52' 1.14"W	22° 26' 16.03"N	611950.53916	3035435.67462	3035435.67462
40	Point	41	poste	14.5 72.5	109° 52' 7.69"W	22° 26' 20.31"N	611797.197494	3035666.00471	3035666.00471
41	Point	42	poste	14.5 72.5	109° 52' 16.30"W	22° 26' 28.50"N	611503.432577	3035661.71006	3035661.71006
42	Point	43	antena	51.3 69	109° 52' 42.22"W	22° 26' 34.60"N	610843.175398	3035666.00135	3035666.00135
43	Point	44	antena	36 8 84.5	109° 52' 28.82"W	22° 26' 30.30"N	611214.149808	3035870.63648	3035870.63648
44	Point	45	edificio	59.8 107.5	109° 52' 30.09"W	22° 26' 38.02"N	611177.27631	3036105.2393	3036105.2393

Figura 3.16. Ejemplo de base de datos.

La construcción de cada tabla es similar, cada una de estas tiene los campos de FID, Shape y ID; además del nombre o tipo de elemento del que se trate, así como los atributos más representativos de cada uno. De esta forma, cada capa de información, cuenta con una base de datos que se puede consultar y modificar según sean las necesidades.

3.3.2. Metadatos

Los metadatos son un conjunto de datos con una estructura definida que describen información, más precisamente la forma, el tipo, el contenido, la condición, la calidad, la actualización, la propiedad y otras características de los datos. Como suele decirse son los “datos de los datos” o la “información sobre la información”.

La comunidad internacional, a través de la International Organization of Standards (ISO) ha desarrollado y aprobado un estándar para metadatos, el ISO-19115. Actualmente el Federal Geographic Data Committee (FGDC), el cual se encarga de desarrollar los procedimientos y asistir en la implementación de un sistema distribuido para información geoespacial, dirige la implementación de esta norma ISO (Figura 3.17).

El estándar de los metadatos es simplemente un conjunto de términos y definiciones presentados en un formato estructurado. Ésta norma se emplea ya que si está más estandarizada la estructura y el contenido de la información, su uso es más eficiente.

Camino, escala 1:50,000; CEN
Shapefile

Description	Spatial	Attributes
<p>Keywords Theme: Vereda, Brecha, Camino Place: Ciudad Obregón, Sonora</p> <p>Description Abstract Elaboración y actualización de la cartografía base que se encuentra dentro del área de influencia del Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón. Cobertura de caminos.</p> <p>Purpose Ubicación de obstáculos de aeródromo en un radio de 24 millas (45 km) de la pista.</p> <p>Status of the data Complete Data update frequency: None planned</p> <p>Time period for which the data is relevant Date and time: 2008-08 Description: publication date</p> <p>Publication Information Who created the data: REQUIRED: The name of an organization or individual that developed the data set. Date and time: REQUIRED: The date when the data set is published or otherwise made available for release. at time 2008-08 Publisher and place: Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, UNAM</p> <p>Data storage and access information</p> <p>Details about this document</p>		

Figura 3.17. Metadatos FGDC ESRI.

Un registro de metadatos es un archivo de información, por lo general se presenta como un documento XML, que captura las características básicas de un recurso de datos o información. Es el qué, cuando, donde, por qué y cómo de la información. Los metadatos geospaciales se utilizan para documentar información geográfica digital como los archivos de un SIG, bases de datos geospaciales, e imágenes de la tierra, ya sean satelitales o fotografías aéreas (Internet 4).

Un metadato geoespacial incluye elementos de catálogo de biblioteca, tales como título, resumen y datos de publicación; así como elementos geográficos como son la extensión geográfica e información de la proyección empleada; además de elementos de las bases de datos, como definiciones de las etiquetas de los atributos, y los valores de dominio de los atributos.

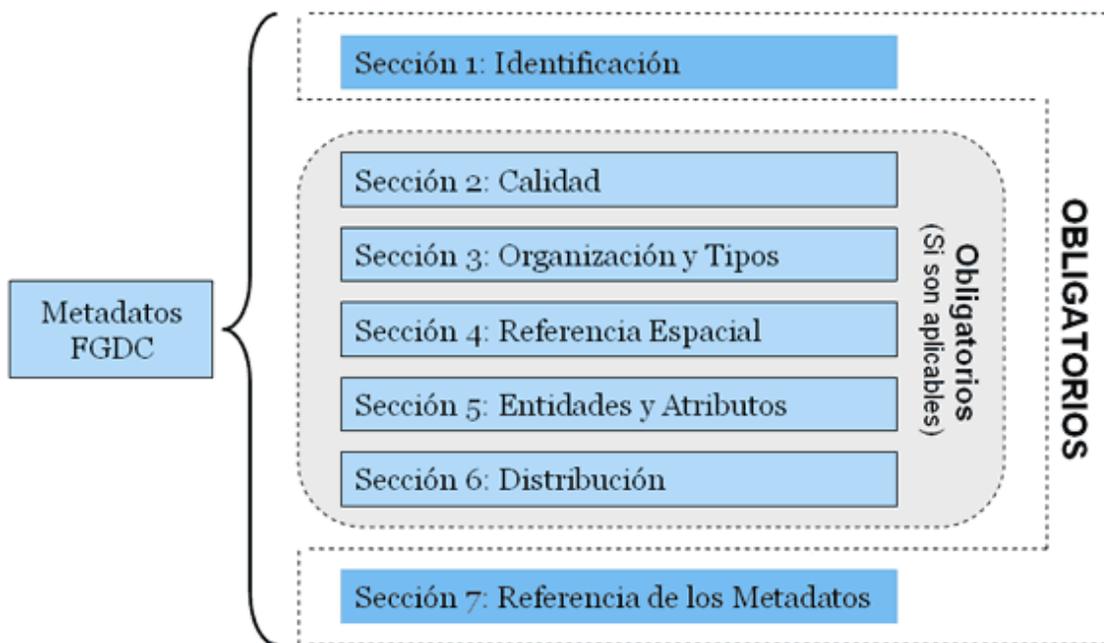


Figura 3.18. Principales elementos de los metadatos según la norma ISO 19115.

Cada una de las secciones mostradas en la figura 3.18 dispone de elementos obligatorios, obligatorios de ser aplicables y opcionales. Los elementos obligatorios

deben especificarse siempre, si no se cuenta con el dato se debe incluir un contenido aclaratorio de la inexistencia. Los elementos obligatorios si son aplicables se deben especificar si los datos cuentan con las características a describir. Los elementos opcionales se incorporan según lo decida el proveedor de la información (Internet 5).

3.4. Propuesta de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C en Formato Digital

Como se explicó con anterioridad, las cartas aeronáuticas son la representación de una porción de tierra, con rasgos físicos y antrópicos, diseñadas para satisfacer las necesidades de la navegación aérea. Con este objetivo, se lleva a cabo la metodología previamente descrita, en la que la información ha sido procesada, y en el caso de no contar con esta, se ha generado, con ayuda de los levantamientos fotográficos, o directamente en campo.

Una vez que todas las capas de información vectorial y raster están listas, gracias a los procesos de corrección y actualización por medio de software especializado, como lo es un SIG, se puede realizar la cartografía final.

El Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C, para el caso de Ciudad Obregón, está conformado por 15 capas, de las cuales 13 son vectoriales, tanto puntos, líneas y polígonos; así como 2 raster (Tabla 3.4).

Vectores	Raster
Aeródromo	Mosaico de fotografía aérea
Calle	DEM
Camino	
Carretera	
Vía Férrea	
Acueducto	
Canal	

Corrientes de Agua	
Cuerpos de Agua	
Área Urbana	
Curvas de Nivel	
Obstáculos (puntos)	
Obstáculos (polígonos)	

Tabla 3.4. Capas del Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C.

Todas éstas capas en proyección UTM, con los siguientes parámetros:

Projected Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_12N
 Projection: Transverse_Mercator
 False_Easting: 500000.00000000
 False_Northing: 0.00000000
 Central_Meridian: -111.00000000
 Scale_Factor: 0.99960000
 Latitude_Of_Origin: 0.00000000
 Linear Unit: Meter
 Geographic Coordinate System: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Prime Meridian: Greenwich
 Angular Unit: Degree

La simbología utilizada en esta propuesta se muestra en la figura 3.19, esta se basa en algunos de los símbolos del Catálogo de Símbolos y Especificaciones Topográficas de INEGI (Internet 4).

CLAVE	
PUNTO DE REFERENCIA DE AERODROMO	
CALLE	
CARRETERA	
CORRIENTE DE AGUA	
CURVA DE NIVEL	
VIA FÉRREA	
CUERPO DE AGUA	
ÁREA URBANA	
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	
ANTENA	
EDIFICIO	
ESTADIO	
ANUNCIO	
POSTE	
TORRE ALTA TENSIÓN	
OBSTÁCULOS TOPOGRÁFICOS	
OBSTÁCULOS TOPOGRÁFICOS	

Figura 3.19. Simbología propuesta para el Plano de Obstáculos.

Al finalizar la edición del Plano, el proyecto se almacena como un MXD, formato de ArcGIS 9.2, y cada uno de las capas agregadas como formato SHP, también de ArcGIS 9.2. A estos formatos se puede tener acceso mediante el ArcMap de ArcGIS (Figura 3.20) para edición, modificación y actualización, así como a sus bases de datos, y por medio del ArcReader solo para visualización, este último gratuito y disponible en el sitio web de ESRI.

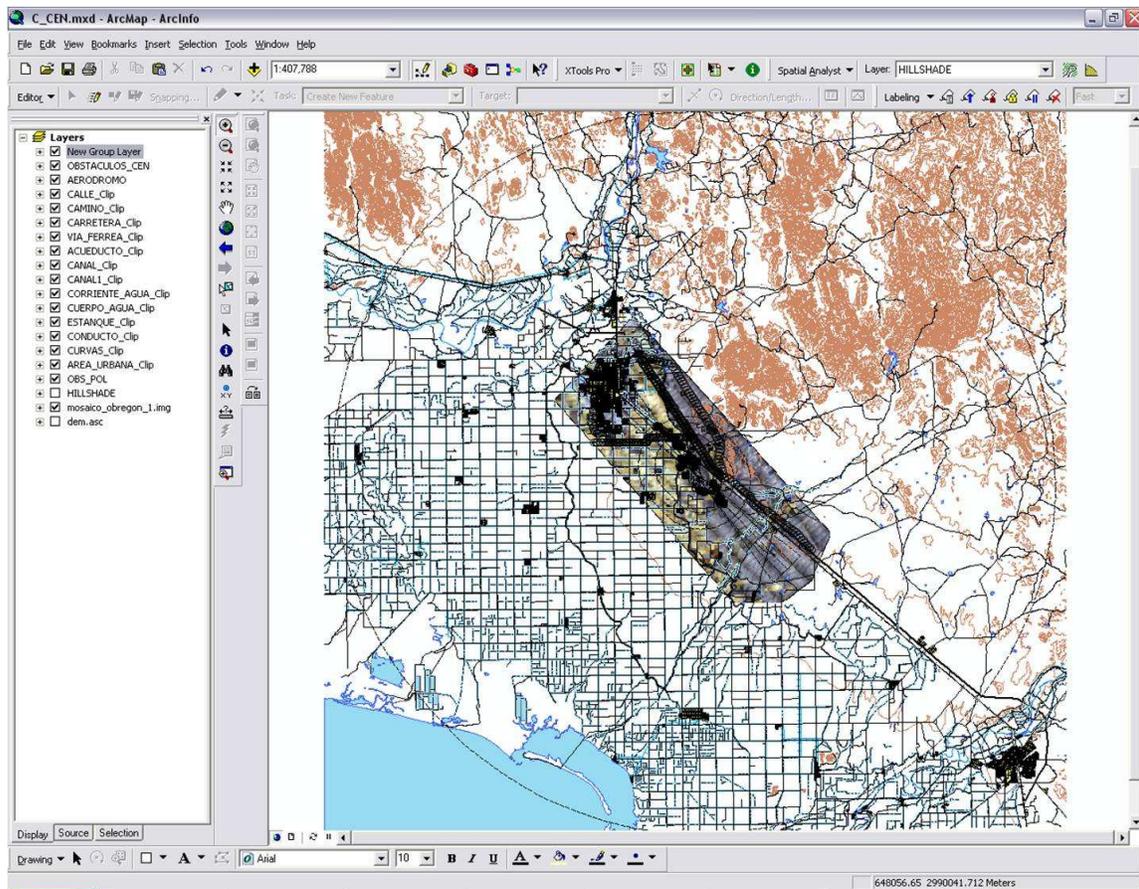


Figura 3.20. Plano de Obstáculo de Aeródromo Tipo C en Formato Digital.

Conclusiones

La organización, la disponibilidad y la presentación de la información tienen un papel muy importante en la toma de decisiones. Es indispensable señalar, que el tratamiento de la información geográfica por métodos tradicionales como los mapas impresos ha dejado de ser práctico. Un cambio tecnológico en los métodos de tratamiento del enorme volumen de información sobre los múltiples estudios acerca del territorio nacional, es imprescindible. En este sentido, los SIG son útiles a los especialistas para ordenar, procesar e interpretar la información existente y también para sugerir nuevos estudios que aporten conocimientos actualizados y de mayor precisión. Hoy en día, estas herramientas constituyen un elemento esencial para compartir la abundante información que ha sido obtenida a través del tiempo y que actualmente se encuentra dispersa.

La eficiencia de los SIG ha facilitado la producción de cartografía digital en diversas temáticas para todo el país. En el caso de los convenios celebrados entre el IGg y ASA para los aeropuertos de Cd. Del Carmen, Campeche; Campeche, Campeche; Loreto, Baja California Sur; Chetumal, Quintana Roo, Nuevo Laredo, Tamaulipas; Guaymas, Sonora; y Ciudad Obregón, Sonora; esta herramienta se utilizó desde la obtención de cartas topográficas de INEGI en formato SHP, así como las correcciones topológicas, el procesamiento para el llenado de bases de datos, la elaboración de metadatos, hasta la elaboración de la propuesta para el Plano Tipo C, a partir de la integración de todas capas de información vectorial y raster.

Al finalizar el desarrollo de la metodología para la elaboración de la Propuesta de Plano de Obstáculos de Aeródromo Tipo C a través de los SIG, se han logrado los objetivos de este trabajo que consisten en la selección de información que sea útil, determinación de la estructura de las bases de datos asociadas a cada una de las capas, así como la elaboración de metadatos. Además, de integrar las capas generadas con toda aquella información recabada en el trabajo de campo, como son los datos sobre los obstáculos de aeródromo; para que las autoridades aeroportuarias puedan preparar los

procedimientos de aproximación y de ascenso de las aeronaves siguiendo los lineamientos establecidos por la OACI para brindar seguridad.

Es preciso mencionar la importancia que tiene el trabajo de campo; si bien los SIG son la herramienta para el análisis de la información, la recopilación y verificación de los datos es elemental para elevar el nivel de precisión de la cartografía. En el caso de este Plano el objetivo principal es mostrar cualquier estructura, natural o antrópica que represente un obstáculo para las operaciones aeronáuticas, el levantamiento en campo es el único método que proporciona datos precisos y confiables, ya que otros métodos indirectos pueden generar errores de precisión, que no son aceptables para las operaciones aeroportuarias.

Algunas de las ventajas de esta propuesta son que favorecen el análisis de la información, gracias a la capacidad de selección de capas despegables, además del acceso inmediato a las bases de datos asociadas a estas. Por otra parte, se facilita la consulta y la actualización de la información, de esta forma hace más rápida y sencilla en comparación con las anteriores versiones impresas.

Bibliografía

- Aronoff, S. (1989) *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications. Ottawa, Canada.
- Burrough, P. and McDonnell, R. (1998) *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. New York, U.S.
- Caire, J. (2002) *Cartografía Básica*. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México.
- Chimal, S. (1998) *La Cartografía en México, Pasado, Presente y Futuro*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México.
- Chrisman, N. (1997) *Exploring Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons Inc. New York, U.S.
- ESRI (2003) *Topología en la Geodatabase, Documento Técnico*. Grupo EP, España.
- Figuroa, C. (2001) *Utilización del software ARC-INFO en la generación del sistema de información geográfica ejidal del Programa PROCEDE en el ejido de Ceniceros del municipio de Pijijiapan, Chiapas*. Informe de Actividad Profesional, Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras; UNAM. Distrito Federal, México.
- Hernández, A. (2003) *Corrección geométrica de imágenes aéreas digitales con cámaras de formato pequeño*. Tesis de Licenciatura, Ingeniería en Sistemas. Facultad de Ingeniería; UNAM. Distrito Federal, México.
- Kraak, M. J. and Ormeling, F. J. (1996) *Cartography, Visualization of Spatial Data*. Longman Publications, U.K.
- Longley, P.; Goodchild, M.; Maguire, D.; y Rhind, D. (2001) *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons Inc. U.K.

- López, F. (2006) *Formación de mosaicos ortorrectificados a partir de imágenes aéreas digitales de formato pequeño*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México.
- Madrigal, M. (2006) *Diseño de Sistemas de Información Geográfica Delegacional: Delegación Miguel Hidalgo*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México.
- OACI (1983) "Parte 6 Limitación de Obstáculos", *Manual de Servicios de Aeropuertos*.
- (1992) "Plano de Obstáculos de Aeródromo – OACI, Tipo C", *Preparación de Cartas Específicas*.
- (2001) "Cartas Aeronáuticas", *Anexo 4 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*.
- (2004) "Aeródromos", *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*.
- (2004) "Servicios de Información Aeronáutica", *Anexo 15 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*.
- Raisz, E. (1985) *Cartografía General*. Ed. Omega, Barcelona, España. Trad. José María Mantero.
- Villegas, T. (2007) *Sistema de Información Geográfica para la Delegación Miguel Hidalgo, México Distrito Federal 2001-2003*. Informe de Actividad Profesional, Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras; UNAM. Distrito Federal, México.
- Zeiler, M. (1999) *Modeling Our World, The ESRI Guide to Geodatabase Design*. ESRI Press. California, U.S.

Páginas de Internet Consultadas

1. <http://www.cinu.org.mx/onu/estructura/mexico/org/oaci.htm>
2. <http://www.icao.int/>
3. <http://www.asa.gob.mx/wb/webasa/asa>
4. www.inegi.org.mx
5. www.fgdc.gov
6. www.sigfam.com.ar