

CARTOGRAFÍA DIGITAL VECTORIAL A ESCALA 1:2000

VECTOR DIGITAL CARTOGRAPHIC MAPS, SCALE 1:200

Fecha de recepción: 9 de mayo de 2007, Fecha de aprobación: 16 de julio de 2007

Edilberto Niño Niño

Resumen

La producción de cartografía a escala grande exige un completo conocimiento de geometría básica, proyecciones cartográficas y sistemas de coordenadas, los cuales utilizan complejos procesos matemáticos y geodésicos acompañados de costosos trabajos de campo. La elaboración de cartografía a escalas grandes 1:1000, 1:2000 y cercanas requieren de un conjunto de coordenadas de precisión que reflejen la relación entre el terreno y el mapa, así cumplen los estándares de precisión y los errores máximos permisibles para cada escala.

Tal vez, la cartografía digital es una de las herramientas más importantes de las geociencias; por esta razón, también se requiere el conocimiento de algunos aspectos particulares y esenciales de la elaboración de la cartografía y de la relación espacial y temática entre los datos cartográficos y los elementos del terreno; por ello, la cartografía nos permite obtener información espacial detallada del terreno, sin moverse de la oficina.

Palabras clave: fusiforme, elipsoide, achatamiento, geoide, fotocontrol, aerotriangulación, estereoscópico, fotogramétrico.

Abstract

Map production requires a complete knowledge of basic geometry, cartographic projections and coordinate systems, which uses complex geodetic and mathematical processes as well as expensive field jobs.

Digital large scale mapping (digital cartography) requires high precision coordinates in order to represent the right relation between land and the final map; it must take in account the international standards of accuracy and the maximum acceptable errors at the scale.

Digital cartography is perhaps one of the most important tools in geosciences, that is why it is also required to know some particular and essential aspects of mapping and the spatial relationship between the cartographic data and the ground features; thus, cartography let us get detail spatial information without moving from our offices.

Key words: fusiform, ellipsoid, flattening, geoid, photocontrol, aerotriangulation, estereoscopic, photogrametric.

I. Introducción

La cartografía es una herramienta de múltiples usos, cuyas aplicaciones van desde el turismo hasta altos estudios científicos. Sin embargo, muy pocos usuarios conocen los procesos técnicos y matemáticos involucrados en la elaboración de la misma. En el presente artículo se muestran algunas de las características de la cartografía básica a escala 1:2000, los aspectos matemáticos como la proyección cartográfica y la geometría básica de la superficie de referencia.

Es muy probable que el hombre haya elaborado mapas o al menos esquemas mucho antes de que

apareciera la escritura. Los mapas antiguos más conocidos fueron elaborados con diversos materiales como huesos, fibras de cocoteros, pieles de ballena y planchas de arcilla y madera; desde dichos mapas primitivos, la cartografía evolucionó y pasando por la rigurosidad matemática y el arte gráfico, hasta lo que se ha convertido en la actualidad: en un elemento de uso imperioso para las actividades científicas y de la vida diaria.

2. Geometría básica de la cartografía

El conocimiento detallado de la forma corpórea de la Tierra se ha depurado con la invención del Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS)¹. El concepto de la forma de la Tierra que ha tenido el hombre a través de la historia ha cambiado y se acerca cada día más a la realidad.

En la Antigüedad se creía que la Tierra tenía la forma de un bloque que flotaba en el agua. En la medida que el hombre se interesó en estudiar y determinar científicamente la verdadera forma del planeta, la percepción de éste ha cambiado. Fue así que se dijo que era un cuerpo redondo como una naranja, una esfera, un cuerpo ovalado achatado en los polos, un cuerpo ovalado achatado en el ecuador, un cuerpo en forma de pera; incluso, se llegó a comparar –y con razón– con la forma amorfa e irregular de una papa (ver figura 1).

El francés Jacques Cassini, astrónomo real y cartógrafo oficial de la marina de guerra sostenía que el mundo era un esferoide fusiforme² alargado en dirección de los polos y estrechado en el ecuador, mientras Newton sostenía que la tierra era un globo achatado en sus polos; en la actualidad sabemos que Newton tenía razón.

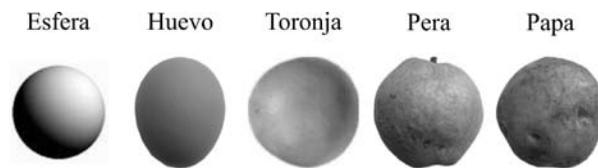


Figura 1. Concepción de la forma de la Tierra a través de la historia reciente

La Tierra se comporta como un cuerpo cuasi esférico no rígido y su forma cambia imperceptiblemente de manera dinámica, por lo tanto, su forma no es modelable matemáticamente; pero, los científicos han resuelto este problema eligiendo la figura geométrica que más se ajusta a ella. Ahora bien, la figura que más se aproxima a la verdadera forma y que permite modelar matemáticamente, así como calcular sus dimensiones, y lo más importante realizar mediciones sobre la misma es el elipsoide³. En la figura 2a se muestra una elipse y en la 2b se muestra un elipsoide de revolución.

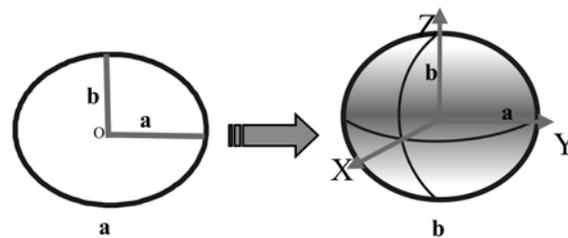


Figura 2. El elipsoide

2.1. Características del elipsoide

El semieje mayor de la elipse coincide con el plano del ecuador terrestre y el semieje menor coincide con el eje de rotación medio de la tierra. Siendo el elipsoide la figura adecuada para realizar cálculos y mediciones es comprensible que a través de la historia se hayan determinado y utilizado diferentes elipsoides, algunos de los más importantes se enuncian en la tabla 1. Ahora bien, desde el punto de vista geométrico, un elipsoide queda determinado por el valor del semieje mayor (a) y el achatamiento⁴(*f*),

¹ A este sistema pertenece, Galileo, Glonas, GPS y otros.

² Forma de huso.

³ El elipsoide se obtiene al girar una elipse en torno a su semieje menor

⁴ El achatamiento esta definido por $f=(a-b)/a$, donde a y b son los semiejes mayor y menor respectivamente.

Para cálculos geodésicos de precisión o en sistemas de referencia de altas especificaciones, un elipsoide se define desde el punto de vista físico y geométrico, en estos casos en su definición intervienen los parámetros que se enuncian en la tabla 2. En ésta se muestran los parámetros del elipsoide GRS80, utilizado en el Marco de Referencia en Colombia.

Autor	Año	a (en metros)	(1/f) valor del achatamiento	Empleado en
Comisión del metro	1799	6.375.739,00	0,00299401	Calcular el metros.
Delambre	1810	6.376.985,00	0,00323834	Francia
Everest	1830	6.377.276,40	0,00332447	India
Bassel	1841	6.377.397,20	0,00334225	Europa , Asia
Clarke	1866	6.378.206,40	0,00338983	Estados Unidos
Clarke	1880	6.378.249,20	0,00340716	Francia, Inglaterra y posesiones, Uruguay
Hayford	1909	6.378.388,00	0,00336700	Internacional 1924, Uruguay
Krassovsky	1942	6.378.245,00	0,00335345	Unión Soviética
WGS72	1972	6.378.135,00	0,00335278	Uso global
GRS80	1980	6.378.137,00	0,00335281	Uso global
WGS84	1984	6.378.137,00	0,00335281	Uso global

Tabla 1. Algunos elipsoides utilizados

Nombre del parámetro	Modelo matemático	Símbolo y valor
Semieje mayor	Constante	$a = 6378138 \text{ m}$
Velocidad de rotación angular	Constante	$\omega = 7292115E11 \text{ rad/s}$
Constante gravitacional	Constante	$GM = 3896005E8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
Factor de aplanaamiento dinámico	Constante	$J_2 = 108263E - 8$
Primera excentricidad	Cálculo iterativo a partir de a, GM, J_2, ω	$e^2 = 6.69438002290E - 3$
Segunda excentricidad	$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$	$e'^2 = 6.73949677548E - 3$
Semieje Menor	$b = a\sqrt{1 - e^2}$	$b = 6356752.31414 \text{ m}$
Factor de aplanaamiento Geométrico	$f = \frac{a - b}{a}$	$f = 3,35281068E - 03$

Tabla 2. Parámetros del elipsoide GRS80

3. Proyección

Uno de los mayores retos que enfrentaron los cartógrafos fue trasladar con la menor distorsión posible una superficie curva a un plano, de ello se encargaron los matemáticos. Una proyección se define como una función sobre la que se cumple una correspondencia biunívoca, entre un segmento del elipsoide de referencia y los puntos reflejados o proyectados en un plano.

La proyección utilizada en la elaboración de la cartografía básica a escala 1:2.000 en Colombia es la proyección cartesiana. Dicha proyección es una representación conforme el elipsoide sobre un plano, el cual se ubica a una altura determinada desde el nivel medio del mar y se asume tangente al terreno en el punto origen. Las ecuaciones utilizadas para realizar la transformación de coordenadas geográficas a planas cartesianas son las ecuaciones (1) y (2) que se muestran a continuación.

$$E = \Delta\lambda * N_a * \cos \varphi * [(1 + P_p / N) + E_0] \dots \dots \dots Ec.01$$

$$N = \rho \left[\Delta\varphi + \left(Tg(\varphi_0) \frac{F^2}{2\rho} N \right) \frac{1 + P_p}{\rho_m} + N_0 \right] \dots \dots \dots Ec.02$$

Los detalles de estas ecuaciones se pueden ver en *Aspectos prácticos* del al adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia Magna-Sirgas IGAC-2004.

El propósito de plasmar una porción de terreno en un mapa, aplicando las mejores y más depuradas técnicas cartográficas, tiene por objeto que todas las mediciones y cálculos que se realicen sobre el mapa sean consistentes y confiables con respecto a los valores reales del terreno, lo que se denomina precisión del mapa.

Los cálculos geométricos, matemáticos y geodésicos se efectúan sobre la superficie del elipsoide de referencia y luego se proyectan como pequeñas redes hasta un plano a la altura del punto origen de la proyección (ver figura 3 y tabla 3).

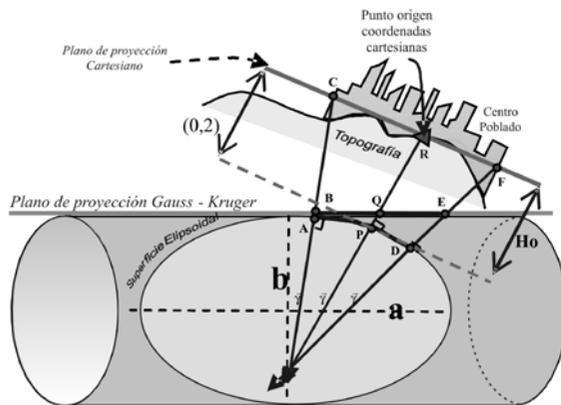


Figura 3. Esquema de proyección del plano cartesiano. Los puntos A, P, D están sobre el elipsoide, los puntos B, Q, E están sobre el plano de proyección Gauss y los puntos C, R, F están sobre el plano de proyección cartesiano

Los datos plasmados en esta tabla se ilustran en la figura 3.1							
Punto	Coordenadas geográficas			Distancias en metros			
	Latitud			Longitud			
	o	'	''	o	'	''	
A	1	4	7,31	77	29	54,78	Distancia AP
P	1	13	42,861	77	20	23,007	Distancia PD
D	1	23	18,37	77	10	51,15	25000
Punto	Coordenadas planas de Gauss		Distancia BQ				
	Norte		Este				
B	609941,3	953137,48	25000,227				
Q	627617,67	970816,77	Distancia QE				
E	645293,4	988496,57	25000,135				
Punto	Coordenadas planas Cartesianas		Distancia CR				
	Norte		Este				
C	609930,09	,55	25013,761				
R	627617,67	970816,77	Distancia RF				
F	645305,02	988504,49	25013,952				
La altura del punto R es 3.560 metros sobre el nivel del mar.							

Tabla 3. Se muestra el incremento que sufre un vector en el plano cartesiano con respecto del plano Gauss y la superficie elipsoidal

Como ya se indicó, un mapa es una representación gráfica a escala, de una porción de terreno en un plano, como el paisaje está en una superficie

convexa, y como se debe representar en una superficie plana, es necesario modelar dicha superficie matemáticamente para representarla, con la menor distorsión posible.

Generalmente, las áreas urbanas son cartografiadas a escala 1:2000 y son tan pequeñas comparadas con las dimensiones de la tierra, que la discrepancia interna causada por no considerar la curvatura terrestre es casi despreciable; dichos errores se pueden considerar mínimos comparados con los errores cometidos en los trabajos de terreno y en los cálculos de las coordenadas que se utilizan como referente principal en la elaboración del mapa.

4. Características del punto origen de proyección

Se denomina punto origen aquel en el que un plano de proyección es tangente al terreno (esto no significa que no existan puntos en el terreno por encima de este plano, ver figura 5). Los cálculos de las coordenadas geográficas se efectúan en la superficie del elipsoide, sobre esta superficie se selecciona un punto, el cual, generalmente, se materializa en el terreno mediante un monumento de cemento de 30 cm por 30 cm, con una placa inscrita, (figura 4).



Figura 4. Placa de vértice geodésico materializado

A partir de dicho punto se genera un plano tangente al elipsoide; de éste se genera un plano paralelo una distancia H_o (altura ortométrica) hasta el punto sobre la superficie terrestre; de esta manera, el plano

de proyección queda tangente a la superficie terrestre y paralelo al plano tangente al geode⁵ (ver figura 5).

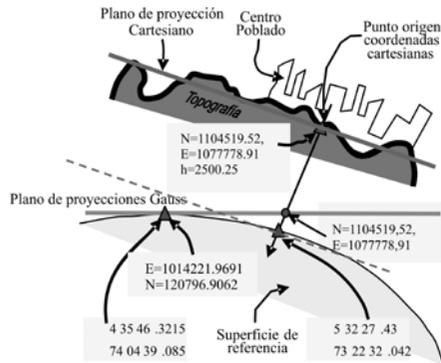


Figura 5. Punto origen del plano cartesiano

Por una parte, para toda la cartografía producida a escala 1:2000, hasta 2005 los valores de las coordenadas del punto origen se asumían o se fijaban de manera arbitraria; sin embargo, a partir del año 2006, las coordenadas planas cartesianas del punto origen son las obtenidas directamente de la transformación de las coordenadas geográficas determinadas en terreno por métodos geodésicos. De esta manera, sobre la vertical del punto origen desde el elipsoide coinciden las coordenadas geográficas, las Gauss y Cartesianas; pero se debe aclarar que estas dos últimas son iguales únicamente en el punto origen, para los demás puntos del plano son diferentes.

Por otra parte, la magnitud de un vector proyectado en un plano cartesiano desde el elipsoide se incrementa proporcionalmente, en la medida en que el plano se separa en altura del plano Gauss y a medida que se aleja del punto origen de proyección, como se muestra en la figura 5 y en la tabla 4. El incremento es de 15.7263 partes por millón por cada 100 m que sube el plano de proyección. En la tabla 4 se muestran los cálculos.

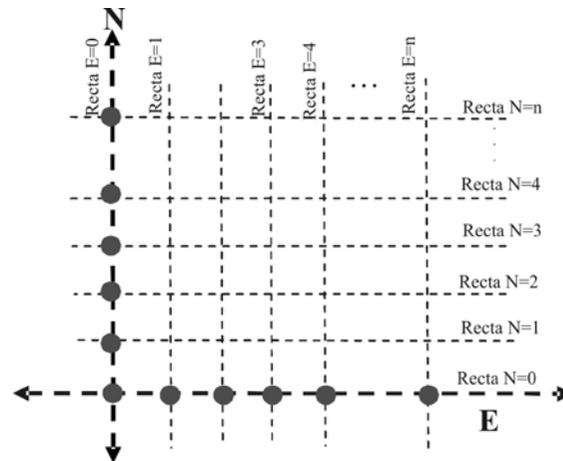
⁵ Se denomina geode, a la superficie física definida mediante el potencial gravitacional. Geométrica y gráficamente se puede definir como la superficie de los mares en calma (prescindiendo de las mareas), prolongada bajo los continentes.

Altura	Coordenadas Cartesianas				Magnitud del vector en m. proyección Cartesiana	VI (1)
	Coordenadas Punto A		Coordenadas Punto B			
	Norte	Este	Norte	Este		
0	1163705,5	972037,85	1092995,4	901327,3	99999,5	
100	1163706,0	972038,25	1092994,7	901326,6	100001,0	1,57
200	1163706,6	972038,80	1092994,2	901326,1	100002,6	1,57
300	1163707,2	972039,36	1092993,6	901325,5	100004,2	1,57
400	1163707,7	972039,91	1092993,1	901324,9	100005,8	1,57
500	1163708,3	972040,47	1092992,5	901324,4	100007,3	1,57
600	1163708,8	972041,02	1092992,0	901323,8	100008,9	1,57
700	1163709,4	972041,57	1092991,4	901323,3	100010,5	1,57
800	1163709,9	972042,13	1092990,8	901322,7	100012,0	1,57
900	1163710,5	972042,68	1092990,3	901322,2	100013,6	1,57
1000	1163711,1	972043,24	1092989,7	901321,6	100015,2	1,57

Tabla 4.- VI (1) Valores del Incremento que tiene un vector al variar la altura del plano de proyección 100 metros.

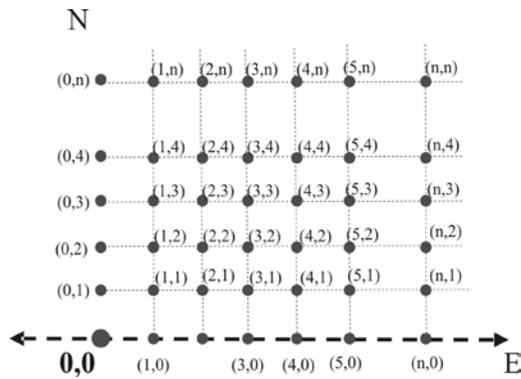
5. Sistema de coordenadas

Un sistema de coordenadas planas está formado por rectas de la forma $X=n$, $Y=n$, o equivalente $N=n$, $E=n$, con n (puede tomar cualquier valor dentro de los números reales). La intersección de dichas rectas generan vértices con coordenadas (E, N) y los ejes de referencia son las rectas $E=0$ y $N=0$. El vértice origen de las coordenadas es la intersección de las rectas $E=0$ y $N=0$ (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Plano de coordenadas

Para el manejo de los sistemas de coordenadas se simplifica y se trabaja una malla de vértices generados a partir de las dos rectas $E=0$ y $N=0$ (ver gráfica 2).



Gráfica 2. Malla de puntos

De esta forma, se obtiene una grilla de puntos tan densa como se requiera, la cual está formada por parejas de números reales, que toman valores, dependiendo de su posición en el plano y pueden tomar valores con tantos decimales como lo permita el programa cartográfico que se utilice.

Para ilustrar mejor estos conceptos en la figura 6, se muestra una línea que contiene cuatro vértices, llevándola a un formato digital en DXF⁶; el archivo resultante será como el que se muestra en la tabla 5. En la figura 7 se muestran dos líneas que contiene cuatro vértices cada una. Si estas líneas se llevan a

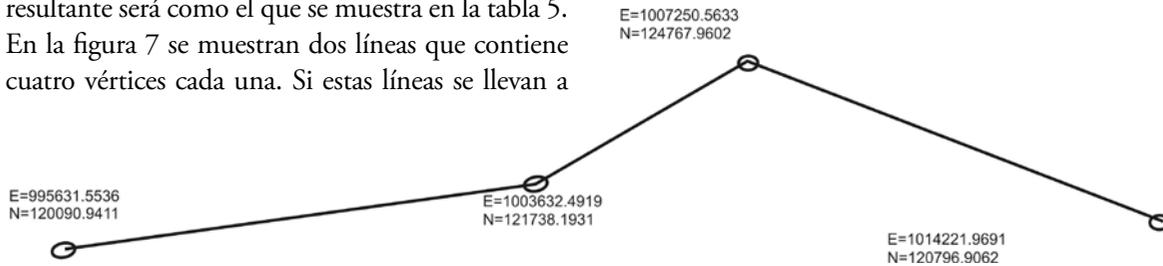


Figura 6. Una línea formada por cuatro vértices cada una, las cuales se representan en un archivo digital en la tabla 5

⁶ Es un formato de intercambio de información cartográfica digital utilizado en los programas CAD. Este formato es propio de AUTOCAD.

Tabla 5. Fragmento del código de un archivo digital en formato DXF

```
100
AcDbPolyline
90
4
70
128
10
995631.5536
20
120090.9411
10
1003632.4919
20
121738.1931
10
1007250.5633
20
124767.9601
10
1014221.9691
20
120796.9062
0
ENDSEC
```

Figura 7. Dos líneas formadas por 4 vértices cada una, las cuales se representan en un archivo digital en la tabla 5.2

```
E=1007250.5633
N=124767.9602

E=995631.5536
N=120090.9411
E=1003632.4919
N=121738.1931

E=1000051.0203
N=117787.9457
E=1005876.5644
N=116271.3784

E=1013507.5458
N=116295.4509

E=995799.6291
N=113535.9970
```

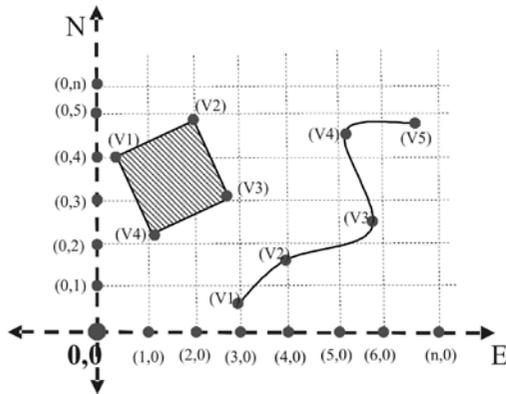
```
1
995631.5536, 120090.9411
1003632.4919, 121738.1931
1007250.5633, 124767.9602
1014221.9691, 120796.9062
END

2
995799.6291, 113535.9970
1000051.0203, 117787.9457
1005876.5644, 116271.3784
1013507.5458, 116295.4509
END
END
```

Tabla 6. Archivo digital de dos líneas con cuatro vértices cada una, en formato GENERATE

un formato digital en GENERATE⁷ el archivo resultante será el que se muestra en la tabla 6.

Los objetos del paisaje, son plasmados en un mapa digital mediante coordenadas, como se muestra en la gráfica 3



Gráfica 3. Coordenadas de objetos

Para el polígono que representa una construcción las coordenadas de los vértices son:

$$V1=(0.4,4.0), V2=(2.0,4.8), \\ V3=(2.8,3.1), V4=(1.3,2.3).$$

Para el objeto con geometría de línea que representa una vía, las coordenadas de los vértices son:

$$V1=(3.0,0.6), V2=(4.0,1.7), V3=(5.8,2.4), \\ V4=(5.2,4.7), V5=(6.7,4.7).$$

Los valores de las coordenadas dependen del punto origen en este caso el origen tiene coordenadas (0,0).

6. Procedimiento para la obtención de las coordenadas

Las coordenadas de terreno permiten georreferenciar, orientar y escalar un mapa y son obtenidas mediante el procedimiento denominado fotocontrol⁸. Para obtener las coordenadas se identifican detalles finos en objetos perfectamente identifica-

⁷ Es un formato de intercambio de información cartográfica digital, la información gráfica y los atributos se almacenan en tablas en formato texto. Las tablas se ligan mediante un identificador común; dicho formato fue utilizado en los programas que manejan información geoespacial estructurada.

⁸ Proceso mediante el cual, con base en los puntos obtenidos en terreno, se determinan las coordenadas de elementos registrados en las aerofotografías, con el fin de fijar en posición real, es decir, al terreno la maqueta espacial ortogonal.

bles en el terreno y si se aplican técnicas de posicionamiento global satelital GPS, se les determina coordenadas geográficas.

Las coordenadas obtenidas con GPS son sometidas a un posproceso, con el propósito de que las coordenadas y los vectores que las unen sean consistentes entre sí. En el proceso se obtiene una pequeña red que se ajusta al terreno y que está anclada en los puntos de fotocontrol (ver figura 8).

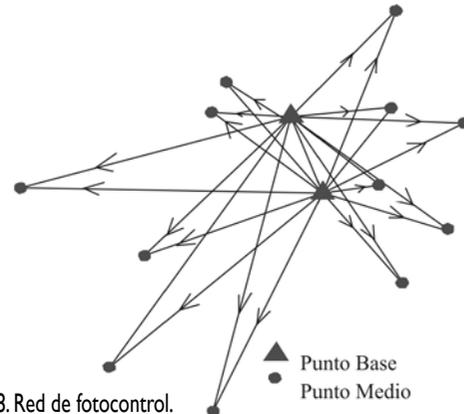


Figura 8. Red de fotocontrol.

Plano de ciudad o centro poblado	Área (km ²)	No. de puntos	Promedio de puntos/km ²
Bucaramanga	54	4.056.626	75.377
Girardot	24	2.296.717	95.697

Tabla 7. Número de puntos que componen un mapa de cartografía básica de una zona urbana

Con las coordenadas de terreno ajustadas, se realiza el proceso de aerotriangulación⁹ y se obtienen coordenadas de terreno para mínimo cuatro puntos para cada modelo estereoscópico¹⁰. En la actualidad, con los procesos de aerotriangulación digital, mediante correlación automática de imágenes, es posible obtener cientos de puntos en cada modelo estereoscópico y miles para un proyecto.

Hallados los parámetros necesarios para orientar las aerofotografías, se utilizan instrumentos especializados para realizar la restitución, que consiste en fotointerpretar, clasificar y capturar los objetos

⁹ Proceso mediante el cual se extiende el control a modelos estereoscópicos que no tienen control de campo en un bloque de fotografías aéreas.

¹⁰ Es formado con dos imágenes o aerofotografías, las cuales contienen los mismos rasgos del paisaje vistos desde dos ángulos distintos, lo que permite formar y ver en tres dimensiones el terreno.

o elementos planimétricos y altimétricos presentes en las aerofotografías que forman el modelo estereoscópico, para poder obtener directamente un archivo digital de la información cartográfica capturada. De esta manera, los elementos presentes en la superficie terrestre —ya sean naturales o culturales— son capturados en formato digital y se representan por polígonos, líneas o puntos.

Un polígono es una línea cerrada y una línea es una sucesión de puntos; por tal razón un mapa, tanto análogo como digital, no es más que un gran número de puntos en tres dimensiones con coordenadas X, Y, Z. Los valores de dichas coordenadas dependen del sistema de referencia y del origen asumido, como ya se indicó en el numeral 5.

El número de puntos que componen un mapa depende de los siguientes aspectos: tipo de terreno, el número de objetos naturales y culturales presentes en el mapa y la escala de captura. Adicionalmente, influye el software utilizado, el criterio y la experiencia del técnico que realiza la compilación o restitución. En la tabla 7 se muestra un ejemplo.

Un mapa en formato digital no es más que una cantidad de números ordenados y codificados en forma de dígitos y almacenados en un archivo digital. Se puede decir que cuando el hombre llevó los mapas a simples números, también llevó el paisaje que existe sobre la superficie terrestre a simples números; tal vez, lo anterior sea el mayor avance que se ha tenido en el arte cartográfico, ya que esto permite que se realice modelación, medición, y predicción con alta precisión utilizando las bases de datos cartográficas digitales.

7. Obtención de la cartografía

La cartografía básica a escala 1:2000 se obtiene por el método fotogramétrico¹¹; sin embargo, como el propósito de este artículo es destacar los aspectos geométricos utilizados en la elaboración de la cartografía, no se profundizará en el proceso de obtención de la misma, sólo se muestra el proceso general (ver diagrama 1).

¹¹ Método utilizado para elaborar mapas a partir de aerofotografías a las que se les conoce bien los parámetros geométricos y, por lo tanto, se pueden orientar en equipos de restitución apropiados y vectorizar los objetos presentes en dichas aerofotografías.

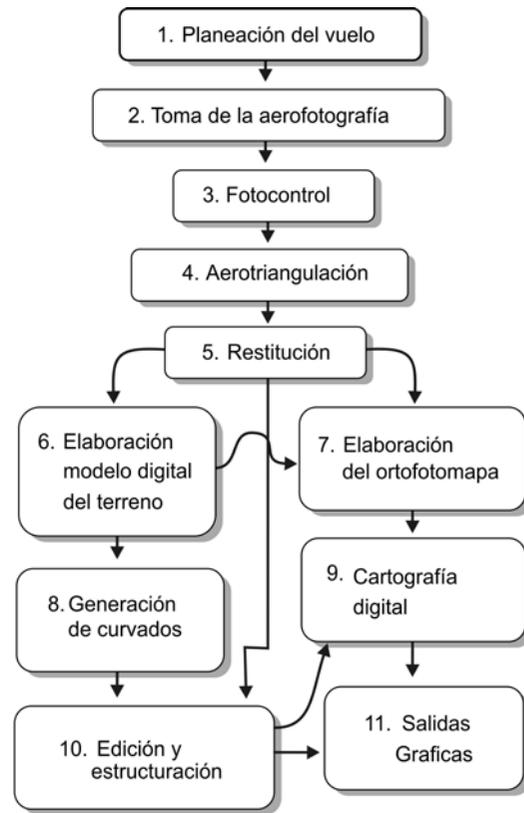


Diagrama 1. Diagrama básico de la elaboración de la cartografía básica

8. Contenido de la cartografía

En un plano cartográfico a escala 1:2.000 un usuario encuentra la mayoría de los objetos presentes en el paisaje. La información capturada y almacenada que se muestra en un mapa digital o análogo es compilada de manera ordenada. Se establece un catálogo de objetos y un modelo de datos; estas herramientas permiten que la información se agrupe en temas, subtemas y objetos, lo que permite darle un manejo ordenado y fácil (ver tabla 8).

Tema	Objeto
Superficies de agua	Banco de arena, canal doble, canal sencillo, cienaga, drenaje doble, drenaje sencillo, embalse, humedal, isla, jagüey, laguna, línea costera, madre vieja, manantial, Manglar, pantano
Transporte terrestre	Ciclo ruta, teleférico, camino, carretera, ferrocarril, funicular, metro
Puntos de control	Punto de cota fotogramétrica, punto estereoscópico

(Continúa)

Tema	Objeto
Elementos básicos del DTM	Línea de quiebre, línea de forma, punto de masa, modelo de elevación
Edificación obra civil	Área de desecho, cantera, cementerio, central energía, cerca de alambre, cerca viva, compuerta, construcción, dique, faro, instalación minería, límite manzana, malecón, muro, parque, piscina, planta de tratamiento, pozo, presa, silos, tanque, terraplén, zona deportiva
Instalaciones construcciones para transporte	Alcantarilla, antena, paso a nivel, peaje, puente férreo, puente peatonal, puente vehicular, red alta tensión, torre, tubería, túnel
Cobertura vegetal	Árbol, bosque, cultivo, grupo de árboles, matorral, zona verde
Transporte aéreo	Aeropuerto, helipuerto, pista de aterrizaje

Tabla 8. Se muestran los temas y objetos que están presentes en un mapa cartográfico básico a escala 1:2000.

9. Precisión de la cartografía

De manera amplia se debe hablar de calidad de cartografía. El término calidad de datos cartográficos involucra al menos cinco elementos de calidad, que son los aspectos que se deben tener en cuenta en la valoración de un producto cartográfico, a saber: grado de totalidad, consistencia lógica, consistencia temática, exactitud posicional y exactitud temporal. En este artículo veremos el elemento *exactitud en posición*, ya que nos ocupa principalmente la parte geométrica y matemática de la cartografía (los elementos restantes mencionados se pueden consultar en la Norma Técnica 5043 de ICONTEC).

La exactitud en posición de un mapa se divide en dos componentes: la posición relativa y la posición absoluta. La precisión en posición relativa hace referencia a la consistencia de las coordenadas de los vectores en el mapa, es decir, la magnitud y dirección de los vectores medidos en el mapa deben ser iguales a las obtenidas al medir los objetos en el terreno. Ejemplo: el ancho de una vía en el terreno es $X \pm \Delta X$ metros, en el mapa dicha distancia debe ser metros, con menor a la tolerancia admitida en las especificaciones del mapa.

La precisión absoluta de un mapa fotogramétrico depende de la exactitud con la que se determinen las coordenadas del terreno, las cuales se determinan en el proceso llamado fotocontrol. En

razón de que las coordenadas obtenidas en campo sirven para escalar y para nivelar la maqueta estereoscópica, es decir, fijarla en su posición real, el fotocontrol debe ser determinado con la rigurosidad que exige la precisión.

En gran parte, la calidad del fotocontrol depende de la calidad de la aerofotografía utilizada. Sin embargo, no se debe perder de vista que se está tomando un objeto con volumen que puede estar formado por múltiples píxeles y así se tome un detalle fino, al leer sobre éste la coordenada en la aerotriangulación, dicha lectura se debe comparar con el valor adimensional (valor matemático) de la coordenada de GPS, lo cual, de entrada, involucra una discrepancia que será directamente proporcional a lo fino que se pueda escoger el detalle del objeto en terreno.

En la actualidad, con los sistemas geodésicos satelitales y con los sistemas inerciales, las cámaras fotográficas digitales los sistemas y productos Lidar, los arduos procesos de fotocontrol tienden a desaparecer. No obstante, mientras no se tenga una base altimétrica fina o un modelo geoidal eficiente, será necesario recurrir al fotocontrol para garantizar la precisión en posición de la cartografía básica a escalas grandes.

En Colombia la precisión en posición en tres dimensiones de la cartografía oficial a escala 1:2000 se está midiendo y los valores obtenidos son siempre con un EMC¹² menor a 60 cm, para todos los productos. La posición de los vectores en el mapa, con sus correspondientes en terreno, tiene discrepancias en el 90% de los casos, por debajo de dicho EMC. Sin embargo, no solamente se garantiza la exactitud en posición del producto, sino también la calidad integral de la cartografía fotogramétrica básica a escala 1:2000.

10. Usos de la cartografía

La cartografía a escala 1:2000, objeto de este artículo, tiene múltiples usos, así: en primer lugar, tal vez el más importante y que utiliza masivamente la cartografía es el Catastro; los sistemas catastrales urbanos están montados sobre cartografía a escalas

¹² Error Medio Cuadrático.

grandes, especialmente 1:2.000; debido a que las características de la proyección utilizada para obtener dicha cartografía, permite llevar las áreas de la superficie terrestre a un plano sin deformarlas.

En segundo lugar, existen múltiples aplicaciones, entre las que se mencionan las siguientes: las oficinas de planeación de los municipios, empresas de servicios públicos, obras civiles, estudios de mercado, análisis de redes, estudios de migraciones, empresas fabricantes de carros, etc. y así se podrían mencionar centenares.

Conclusiones

- En proceso de elaboración de cartografía de precisión se aplican la matemática y la geometría como herramientas fundamentales para lograr que los mapas se puedan utilizar en trabajos de ingeniería, en los que se requieren precisiones submétricas.
- El conocimiento de las matemáticas básicas empleadas en la elaboración de cartografía debe ser bien conocida por los técnicos y por los productores de cartografía de precisión.
- Un mapa en formato digital no es más que una gran cantidad de números ordenados y codificados en forma de dígitos y almacenados en un archivo digital.

Referencias bibliográficas

- [1] Crone, G.R. (1966) Historia de los mapas.
- [2] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (Octubre de 2004) Aspectos prácticos de la adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia.
- [3] Casa de la cultura ecuatoriana.(Febrero de 1988) La misión Geodésica Francesa.
- [4] Charles H. Deetz y Adams, Oscar S.. Elementos de proyección de mapas. Lerma García, José Luis. Fotogrametría moderna: analítica y digital.

Autor

Edilberto Niño Niño

Colombiano, Ingeniero Catastral y Geodesta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá (Colombia). Especialista en Astronomía, de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). Especialista en Sistemas de Información Geográfica, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá (Colombia). Es coordinador de la Unidad de Adquisición de Datos Geospaciales Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia), con diez años de servicio.

Correo electrónico: enino@igac.gov.co