

Cartografía Catastral Urbana

Diego Alfonso Erba
Miguel Águila

Indice

Introducción	2
1 Conceptos Básicos	3
1.1 Escalas.....	6
1.2 Forma y dimensiones de la Tierra.....	8
1.3 Sistemas de Coordenadas	12
1.4 Proyecciones Cartográficas	18
2 Bases Cartográficas Urbanas	19
2.1 Bases Cartográficas Masivas.....	20
2.2 Bases Cartográficas Compiladas	36
3 Cartografía Temática Urbana.....	40
3.1 Mapeos temáticos a partir de aerofotografías e imágenes satelitales...	40
3.2 Cartogramas	42

Introducción

Una de las primeras inquietudes del hombre fue conocer el espacio en el cual desarrollaría sus actividades. Determinar la forma y dimensiones de la Tierra, tanto como representarla gráficamente fue una necesidad, especialmente a partir de la conquista de nuevos territorios. A lo largo de los años la evolución tecnológica que impactó a todas las áreas del conocimiento ha alcanzado con particular énfasis a las disciplinas relacionadas con la Mensuración y Representación del territorio.

Gran parte de los estudios y proyectos urbanos necesita de cartografía de detalle a nivel de parcela siendo que ese tipo de documento normalmente se encuentra bajo la responsabilidad del Catastro Territorial.

En mayor o menor medida prácticamente todos los procedimientos geotecnológicos son aplicables a los mapeos urbanos en general y a los catastrales en particular. Escoger el mas apropiado es fundamental y aunque la elección debería estar condicionada por la escala y la precisión requeridos, normalmente el factor económico es determinante.

La existencia de una base cartográfica única es esencial para el establecimiento de un Catastro moderno y Multifinalitario y los documentos que la componen deberían ser elaborados de acuerdo a estándares establecidos por una normativa específica en cada jurisdicción. Estas afirmaciones llevan a pensar que existe un modelo de base cartográfica que podría ser adoptado por todos los Catastros Territoriales y por todas las instituciones involucradas con la obra cartográfica urbana, lo cual no verdadero. Esto se debe a que existen Catastros con diferentes fines y niveles de evolución siendo imposible definir un patrón cartográfico único para todas las ciudades. En este sentido, es importante destacar que, aunque es deseable, no siempre se necesita cartografía digital, ni de alta precisión para tener información cartográfica confiable del medio urbano. Los grandes proyectos de cartografía digital son muy jóvenes en América Latina y si bien se afianzan rápidamente, aún existen jurisdicciones que ni siquiera cuentan con energía eléctrica!

La popularización de la cartografía digital ha causado (y aún causa) profundas transformaciones tecnológicas, metodológicas y filosóficas en las instituciones. Algunos cartógrafos

consideran que ya no es necesario discutir que sistema de proyección cartográfica será adoptado en un determinado proyecto o jurisdicción, siendo suficiente definir las técnicas y los productos que se utilizaran para el mapeo (escalas de las aerofotos, imágenes de alta resolución, apoyo terrestre), puesto que entre ellos se encuentran las mayores fuentes de precisión/deformación de los productos finales. Transformar un documento cartográfico digital que fue dibujado bajo un determinado sistema de coordenadas para otro y/o cambiar el elipsoide de referencia es una operación simple para los modernos aplicativos informáticos disponibles en el mercado, pero una vez que fue definida la escala de representación, no puede ser alterada¹

En la mayoría de las jurisdicciones latinoamericanas las bases cartográficas urbanas se estructuran por alguno de los siguientes métodos: compilación de planos, levantamientos topográficos o restituciones aerofotogramétricas, encontrándose cartografía temática elaborada a partir de productos de teledetección. En este capítulo se describen algunos métodos comúnmente utilizados para la generación de cartografía catastral urbana. La muy somera descripción que se hace sobre las técnicas y productos cartográficos disponibles busca destacar sus particularidades, pero no tiene la pretensión de desarrollar una descripción profusa y acabada de cada una de ellas.

1 Conceptos Básicos

Es importante destacar desde el inicio que no existe un único tipo de documento cartográfico. La distinción conceptual mas importante que se debe hacer es entre **carta base** (también denominada base cartográfica) y **carta temática**.

La Base Cartográfica es una representación que contiene los elementos planialtimétricos fundamentales de una porción del territorio, dibujada según convenciones predeterminadas y elaborada con alta precisión métrica para servir como referencia a estudios, proyectos y a la confección de Cartas Temáticas. Esta base puede ser un **plano**, una **carta** o un **mapa**, términos estos que en el lenguaje coloquial muchas veces son utilizados como sinónimos y, si bien para

¹ Aunque los aplicativos de cartografía digital permiten “ampliar la escala” de los documentos en el momento de imprimir o de plotearlos, su precisión continúa siendo la misma que la del documento original. Por esa razón no hay mejora en la calidad métrica, sino solamente una mejor visualización.

muchos técnicos y usuarios la definición académica puede no ser importante, su diferenciación semántica es relevante puesto que cada documento tiene una aplicación diferente.

Entre los numerosos criterios que existen para clasificar a los documentos cartográficos el que toma como base a la **escala** de dibujo define como: plano a toda representación realizada en escalas mayores a 1:10.000, cartas a los documentos generados en escalas que varían de 1:10.000 hasta 1:1.000.000 y mapas a las representaciones en escala inferior a 1:1.000.000². Otra forma de clasificarlos es según la técnica utilizada para su elaboración considerando: planos a aquellos que usan datos topográficos y cartas a los generados por Fotogrametría.

Evidentemente las bases cartográficas urbanas son las mas exigentes³ puesto que deben tener una estructura geométrica precisa y escala adecuada para la visualización de las parcelas y servir de base para cualquier sistema de información territorial.

La importancia de la correcta definición de los parámetros de una base cartográfica urbana puede ser resumida en cuatro puntos⁴:

- la elección de una estructura geométrica más precisa y exacta de la necesaria significará que una parte de los recursos financieros destinados a implantar el sistema puede haber sido desperdiciada,
- una determinación que proporcione una estructura geométrica menos precisa que lo necesario, resultará también en desperdicio de recursos destinados a la implantación pues el documento no será apto para todas las aplicaciones,
- cualquier imperfección solo será percibida a largo plazo,
- elecciones equivocadas podrán generar problemas insuperables en el desarrollo del sistema pues una vez que se adopte un método será cada vez más difícil y caro alterarlo.

Los conceptos vertidos pueden ser mejor entendidos a través de un ejemplo. El Sistema Cartográfico Nacional brasileño contempla el conjunto de procedimientos que tienen por finalidad la representación del espacio territorial de forma sistemática, por medio de cartas generales, continuas, homogéneas y articuladas, elaboradas selectiva y progresivamente en escalas standard de

² Estos valores fueron colocados solo para que el lector tenga una referencia pues los criterios de clasificación varían de acuerdo a la visión de diferentes autores y al marco legal de cada jurisdicción.

³ El costo de elaboración de una base cartográfica es directamente proporcional a su escala.

⁴ Adaptado de un texto de un texto de la Comissão de Cartografia - COCAR, Brasil, 1984.

1:1.000.000, 1:250.000, 1:500.000, 1:100.000, 1:50.000 y 1:25.000⁵. Obviamente, ninguna de estas escalas satisface a los requerimientos de la cartografía catastral urbana y siendo que en el país cada municipio tiene potestad para organizar su sistema catastral y consecuentemente poder para definir la estructura de su cartografía, es frecuentemente encontrar levantamientos topográficos o restituciones fotogramétricas en escala 1:10.000 para todo el municipio y 1:2.000 del área urbana⁶, además de los manzaneros constituidos de croquis (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1 – Estructura de la Cartografía Municipal en Brasil

Documento	Escala 1:	Elementos representados	Uso
Carta General del Municipio	10.000 a 5.000	Curvas de nivel, hidrografía, vegetación, sistema viario, edificaciones, calles, límites jurisdiccionales	Desarrollo del Plan Director Municipal y definición de estrategias en todas las áreas de gobierno y privadas
Carta de Referencia Catastral	10.000 a 5.000	Solamente planimetría, identificación de la nomenclatura catastral, loteos y zonas tributarias	Base para la organización del Catastro Municipal
Carta de Valores	10.000 a 5.000	Valores de terreno por manzana	Gestión fiscal del impuesto predial
Plano Catastral Municipal	2.000 a 1.000	Restituciones efectuadas en capas de información correspondientes a uso del suelo urbano	Dar apoyo al Planeamiento Urbano y a la gestión de todas las áreas del Catastro Territorial
Plano de Cuadra (manzanero)	1.000 a 500	Calles, límites de lotes, proyección de las construcciones, todas con la nomenclatura catastral correspondiente	Gestión detallada del catastro
Plano de Topográfico	1.000 a 250	Calles, límites de lotes, proyección de las construcciones, croquis según título de propiedad	Descripción de la parcela para su incorporación al Registro de Inmuebles

⁵ Adaptado de <http://www.ibge.gov.br> en 17/08/2004.

⁶ La norma brasileña NBR 14166 - REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL - especifica la escala 1:1000 solamente, pero es muy común encontrar restituciones fotogramétricas en escala 1:2000 en los municipios del país, puesto que sus mapas fueron elaborados antes de esa norma.

1.1 Escalas

La representación gráfica de una determinada área, con todos sus detalles, es una de las finalidades de la mayoría de los levantamientos topográficos, geodésicos y fotogramétricos. Transferir para el “papel” los datos levantados en el terreno o extraídos de los productos aerofotográficos o de teledetección exige la determinación de una relación de proporcionalidad entre las dimensiones de los objetos reales (en el terreno) y en el dibujo (carta). Esa relación matemática se denomina **escala** y su elección es de fundamental importancia para la apariencia del mapa y su potencial como instrumento de comunicación.

La escala varía en un universo continuo, de grande a pequeña. Los mapas en escala grande muestran pequeñas porciones de la superficie terrestre e información detallada. Los mapas en escala pequeña muestran grandes áreas y detalles limitados. La cantidad de detalles geográficos que se requiera determinará la selección de la escala que satisfaga el propósito de la carta. Normalmente la escala que se utilice será un compromiso entre los tres factores enunciados: área, uso del mapa, nivel de detalle.

Las escalas podrán ser consignadas en forma numérica o gráfica.

La escala numérica representa la relación entre dimensiones lineales en el gráfico (d) y en el terreno (D) mediante la fórmula general:

$$\text{Escala} = \frac{d}{D}$$

donde: **d**= distancia en la carta y **D** = distancia en el terreno del mismo segmento.

Para facilitar la interpretación de los documentos cartográficos la escala se representa mediante una relación de numerador 1, de la forma:

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

donde el denominador **M** se considera el módulo de la escala. No obstante, como muestra el Cuadro 1, M adopta valores estándar en cada jurisdicción, pudiendo adoptar la fórmula general:

$$M = N \cdot 10^2$$

Para los Planos Topográficos, por ejemplo, N asume usualmente valores: 1, 10, 100, 2, 20, 5 e 50; siendo adoptados también en algunos casos: 2.5, 25, 7.5 e 75.

Como complemento de la escala numérica existe a **escala gráfica** la cual es una representación que permite determinar dimensiones reales a partir de la comparación de distancias obtenidas sobre un documento cartográfico. La escala gráfica juega un papel fundamental en las ampliaciones y reducciones de cartas pues acompaña el cambio de tamaño que se realiza usando medios ópticos, electrónicos o mecánicos como fotocopadoras, escaneo/ploteo, pantógrafos, entre otros⁷. La Figura 5.1 es un modelo entre tantos que existen para representar la escala gráfica.



Figura 5.1 - Escala Gráfica

De lo expuesto puede concluirse que, siendo la escala una fracción, aquellas que presentan un denominador pequeño son **escalas grandes** mientras que aquellas que poseen un número grande como denominador son **escalas pequeñas**. Un ejemplo muestra claramente esta relación. Una escala 1:100 es mayor que una 1:1.000 lo cual significa que al adoptarla es posible representar con mayor detalle (diez veces más) los objetos del terreno. No obstante, si se pretende representar la misma área en ambas escalas será necesario “mas papel” en la primera que en la segunda.

Ante la eventualidad de reducir de una escala grande a una pequeña es importante tener en cuenta que algunos objetos de la carta podrán desaparecer exigiendo un estudio cuidadoso por parte del cartógrafo para no perder detalles relevantes (este proceso se denomina **generalización cartográfica**).

Determinados objetos que no pueden ser dibujados en una escala pero que son fundamentales para ciertos estudios pasan a ser representados mediante símbolos. En escalas

⁷ En cada caso es necesario tener claro que los cambios de escala alteran la precisión original del documento cartográfico y que cada método o instrumento utilizado para ese fin presenta diferentes niveles de calidad.

grandes, por ejemplo, una ciudad (“mancha urbana”) puede ser representada con precisión mediante un polígono de dimensiones proporcionales a su tamaño real, mientras que en las escalas menores pueden representarse por puntos cuyo tamaño no necesariamente tiene relación directa con el área de la ciudad a la escala del mapa, sino con su importancia económica o población de la misma.

La escala, simbología y proyección cartográfica utilizadas están relacionadas y la selección de cada una tendrá un efecto importante en el producto cartográfico final. Por este motivo, la definición de la escala es una de las decisiones más importantes que debe tomar un cartógrafo en un proceso cartográfico⁸.

1.2 Forma y dimensiones de la Tierra⁹

La superficie de la Tierra es visiblemente irregular debido a la presencia de montañas, depresiones, valles, cerros y tantas otras formas de relieve. Sin embargo, esas irregularidades pueden ser consideradas insignificantes al compararlas con las dimensiones del planeta, pues los aproximadamente 20 km que separan el punto más alto (monte Everest en el Himalaya con casi 9km de altura) de la profundidad máxima (fosa abisal de las Marianas en el Océano Pacífico con 11km de profundidad), corresponden a menos del 0.3% del radio considerado medio de la “esfera terrestre”. Esto se comprueba al observar una fotografía del planeta, pues “mirando desde lejos” la superficie terrestre parece lisa y, a primera vista, esférica (Figura 5.2).

Para definir la forma del planeta se convino en prolongar la superficie de los mares en calma por debajo de los continentes. La superficie resultante recibió el nombre de **Gеоиде** el cual, contrariamente a lo que se imagina, es irregular. Por definición, el Geoide se genera por un líquido en reposo que es perpendicular a la dirección de la vertical en cada punto. Así, debido a las

⁸ Es destacar que a pesar de esta afirmación clara y precisa, gran parte de los proyectos de cartografía catastral urbana definen la escala de los productos en función de los recursos disponibles, dejando a los criterios técnicos en segundo plano.

⁹ Tópico basado en el libro: **Topografía para Estudiantes de Arquitectura, Engenharia e Geologia**. ERBA, D. (organizador). Editora Unisinos. São Leopoldo- RS. 2003.

variaciones en intensidad y dirección de la gravedad, surgen imperfecciones en la superficie tal como lo muestra la Figura 5.3.



Figura 5.2 – “Esfera” terrestre

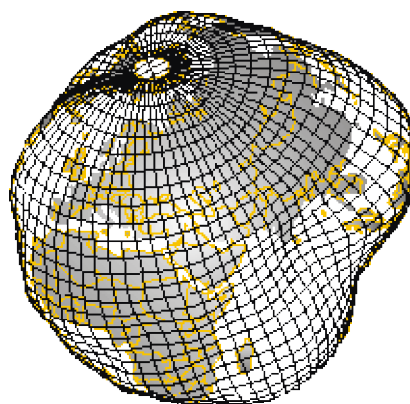


Figura 5.3 - Geoide

Las irregularidades del Geoide no siguen una ley matemática siendo imposible determinar una fórmula que lo describa con exactitud. Por ello fue necesario efectuar innumerables estudios para encontrar un ente geométrico que se le aproximase y pudiese ser usado como sistema de referencia. Se concluyó que el ente geométrico mas próximo a la forma física de la Tierra es un **elipsoide**.

El elipsoide es una superficie de revolución generada a partir de la rotación de una elipse sobre uno de sus dos semiejes (el mayor o el menor) y está determinado cuando se conocen los parámetros provenientes de la elipse que lo generó:

$$\alpha = \text{achatamiento} = \frac{a-b}{a}, \text{ donde } a = \text{semieje mayor y } b = \text{semieje menor.}$$

El Elipsoide Terrestre definido como Global es el que más se aproxima al Geoide, es geocéntrico y formado por la rotación de una elipse en torno al eje que pasa por los Polos Norte y Sur geográficos (Figura 5.4).

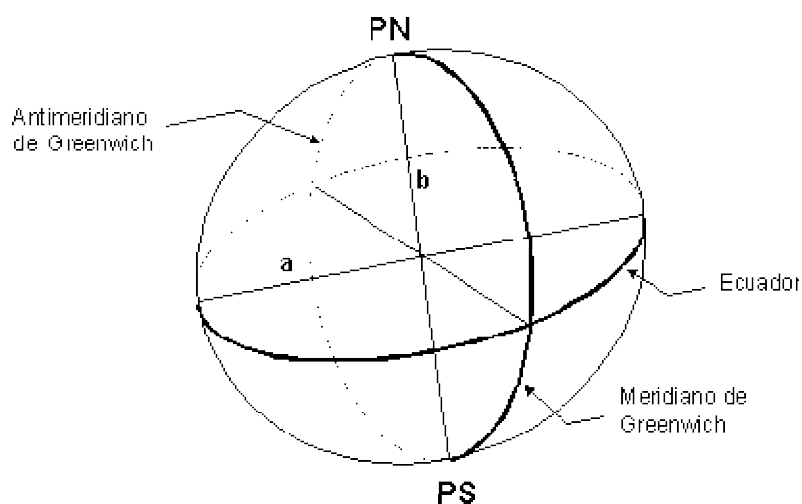


Figura 5.4 – Elipsoide de revolución

Las diferencias existentes entre el Geoide y el Elipsoide tienen particularidades en cada continente, en cada país y en cada porción de la Tierra. De esta forma para cubrir las necesidades de cada localidad pueden ser adoptados Elipsoides Locales que se ajustan mejor al Geoide que el Elipsoide Global. El centro geométrico de un Elipsoide Local no coincide con el Centro de Masa de la Tierra pero el Elipsoide Global usado para el posicionamiento de puntos topográficos por satélite utilizando el Sistema de Posicionamiento Global – GPS, si es geocéntrico. La Figura 5.5 ilustra la disposición de las tres superficies: el Geoide, el Elipsoide Global y un Elipsoide Local.

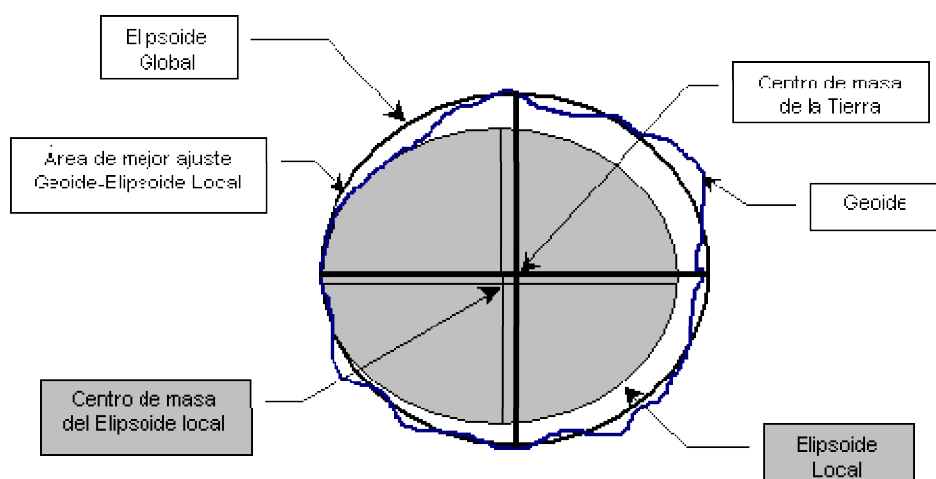


Figura 5.5 – Posiciones relativas del geoide y de diferentes elipsoides

De esta forma son tres las superficies de interés para las ciencias métricas: la superficie física (aquella sobre la cual el hombre desarrolla sus actividades y constituye el objeto a ser descrito en la Cartografía), el Geoide (superficie equipotencial de fundamental importancia para los levantamientos altimétricos de grandes áreas) y el Elipsoide (que posee parámetros conocidos y se aproxima mucho al Geoide). De acuerdo a su conveniencia cada país adopta un elipsoide propio para la elaboración de sus productos cartográficos existiendo, no obstante, proyectos como el SIRGAS (**S**istema de **R**eferencia **G**eodésica de las **A**méricas) que busca definir las características de un elipsoide común para toda América a partir de la determinación de la forma del geoide mediante el uso de tecnología GPS (en principio para Sud América y posteriormente para toda América).

La Figura 5.6 ilustra con mayor detalle, mediante un corte, las posiciones relativas de las superficies representadas en la Figura 5.5.

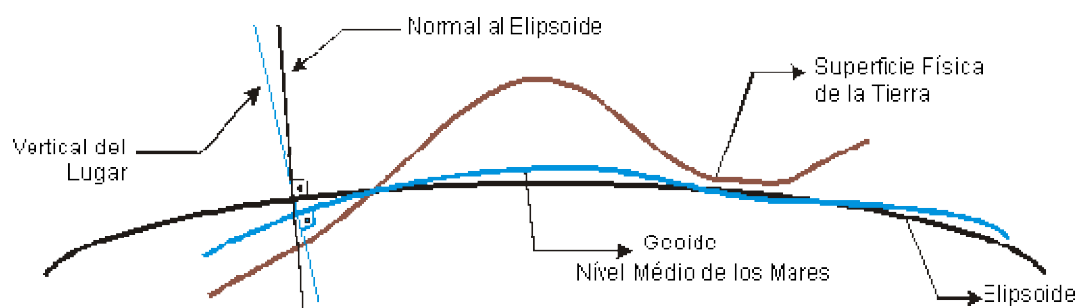


Figura 5.6 –Superficies física y de de referencia

El posicionamiento de puntos que pertenecen a la superficie terrestre exige la definición y materialización de un sistema de coordenadas único, particularmente cuando se pretende estructurar un Catastro Multifinalitario.

1.3 Sistemas de Coordenadas

Existen numerosos sistemas de coordenadas¹⁰ que pueden ser utilizados para referenciar o para georeferenciar objetos territoriales. La adopción de un sistema único para toda la jurisdicción catastral es fundamental pues es a partir de su implementación que los citados objetos se relacionan en el espacio urbano y en el plano de representación cartográfica.

Ciertamente el sistema mas conocido y aplicado es el de **coordenadas rectangulares** o **cartesianas**, según el cual la posición de un punto topográfico P queda perfectamente determinada mediante un par de números que indican las distancias de sus proyecciones a cada eje (x_p e y_p), hasta el origen del sistema (Figura 5.7).

¹⁰ valores lineales o angulares que indican la posición ocupada por un punto en un sistema de referencia.

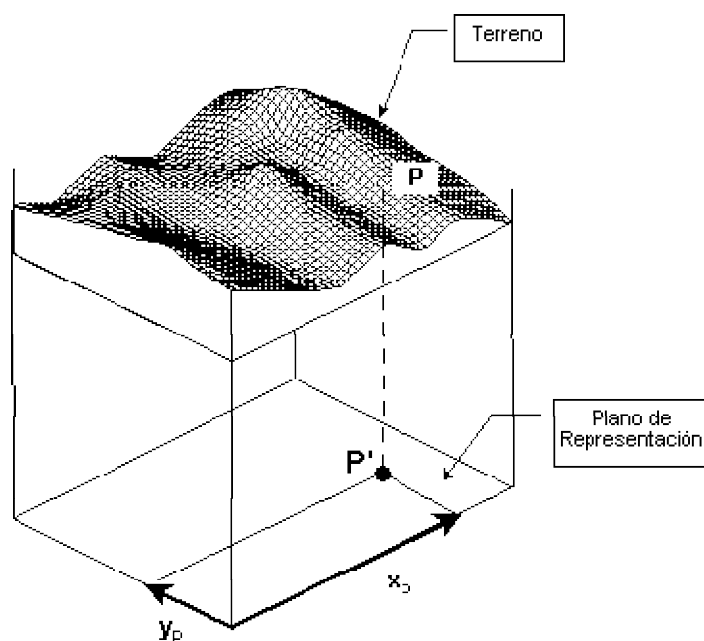


Figura 5.7 – Sistema de Coordenadas Rectangulares

El posicionamiento de puntos topográficos sobre el elipsoide es ciertamente mas complejo por tratarse de una superficie curva. En ese caso se utiliza el sistema de **coordenadas geográficas**, las cuales son angulares (y no planas como las coordenadas rectangulares).

Las coordenadas geográficas las cuales corresponden a ángulos diedros que tienen como referencia meridianos y paralelos. Los meridianos son secciones elípticas que surgen de la intersección del elipsoide con a planos que contienen el eje de rotación de la Tierra. Los paralelos son círculos resultantes de la intersección del elipsoide com planos perpendiculares al eje de rotación. La Latitud Geodésica (ϕ) corresponde al ángulo formado entre la normal del observador y el plano del Ecuador, varía de 0° a 90° en el hemisferio norte y de 0° a -90° en el hemisferio sur. La Longitud Geodésica (λ) corresponde al ángulo diedro formado entre el Meridiano de Greenwich y el

meridiano del observador, varía de 0° a 180° al este del citado meridiano y de 0° a -180° al oeste del mismo.

Por cada punto de la superficie terrestre pasa un meridiano y un paralelo, los cuales definen su posición. La Figura 5.8 ilustra un punto topográfico genérico P cuya posición queda definida mediante las coordenadas de latitud y longitud mas la tercera coordenada denominada **altura geométrica** (h) que va desde P (en la superficie terrestre) hasta su proyección (P') en la superficie de referencia (elipsoide)¹¹.

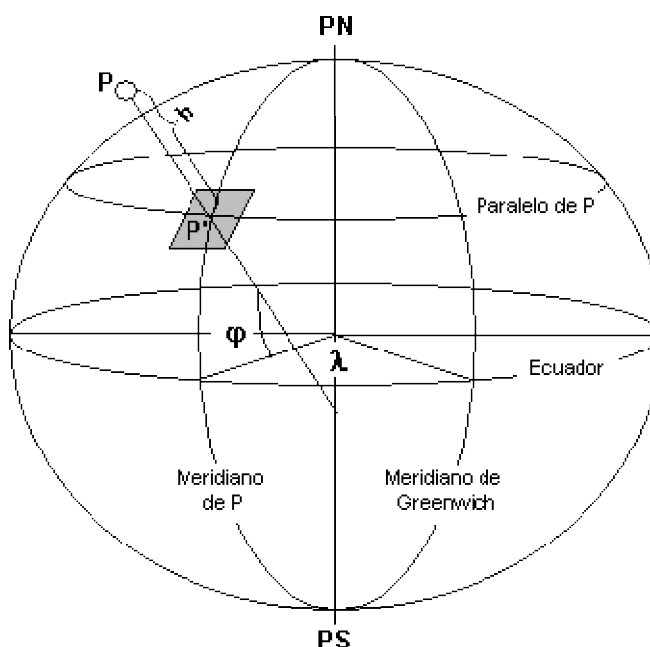


Figura 5.8 – Sistema de Coordenadas Geodésicas

¹¹ Cuando se levantan puntos para elaborar una carta altimétrica (normalmente representada con curvas de nivel), lo que interesa es determinar la **altura ortométrica**, la cual puede ser obtenida como diferencia entre esta última y la ondulación geoidal (distancia entre el Geoide y el elipsoide en cada punto topográfico), tal como muestra la Figura 5.6. La ondulación geoidal es determinada a partir de mediciones gravimétricas realizadas normalmente por los Institutos Geográficos nacionales.

1.3.1 Red de Apoyo

Para la elaboración de una base cartográfica única que pueda ser utilizada por todas las instituciones involucradas con las cuestiones urbanas, es fundamental definir un sistema de coordenadas único. En el ámbito catastral el sistema de referencia materializado en el terreno es conocido como red de apoyo.

Una **red de referencia catastral** está orientada a establecer la infraestructura de apoyo geodésico y topográfico que proporcione la estandarización y sistematización de los levantamientos ejecutados en cualquier escala, por cualquier método y por agentes públicos o privados. Debe servir de apoyo a todos los proyectos y su implementación, al Catastro Territorial y a la administración de obras, siendo constituida por puntos materializados en el terreno cuyas coordenadas estén referenciadas a un sistema geodésico y a un mismo sistema de representación cartográfica.

1.3.2 Sistema Local

Un **sistema local** es utilizado en algunas jurisdicciones para georreferenciar parcelas y puede ser definido como el sistema de representación plana de las posiciones relativas de puntos levantados por métodos topográficos, que tiene como origen un punto de coordenadas locales arbitrarias o (de preferencia) geodésicas conocidas. Todas las distancias y todos los ángulos son determinados en verdadera magnitud sobre el plano local o sobre un plano tangente al elipsoide de referencia del sistema geodésico adoptado, respectivamente.

1.3.3 El Sistema UTM

El sistema de proyección Transversal Universal de Mercator (UTM) se usa ampliamente en América Latina y es el resultado de la modificación de la proyección Transversa de Mercator (TM) que también se conoce como proyección de Gauss Krüger. Esta proyección fue idealizada por el belga Gerard Kramer (Mercator), a partir de modificaciones efectuadas a la proyección conforme de Gauss.

Las coordenadas UTM se obtienen a partir de coordenadas geográficas de puntos seleccionados, usando fórmulas complejas. La ventaja principal del sistema UTM es su condición de proyección conforme es decir que los ángulos de las figuras representadas no se alteran, preservando la forma. Otra ventaja es la facilidad para la interpretación de las distancias ya que las coordenadas se expresan en metros y las deformaciones que presentan son conocidas y pueden determinarse en cada punto de interés.

El sistema UTM utiliza como superficie de proyección 60 cilindros transversos y secantes (en algunos países el cilindro es tangente) a la superficie de referencia (Figura 5.9).

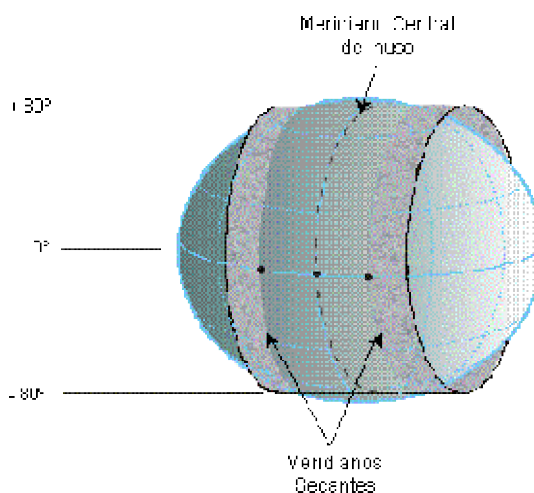


Figura 5.9 – Disposición del cilindro de proyección en el Sistema UTM utilizado en Brasil

En el sistema brasileño de cada cilindro se utilizan fajas (husos UTM) de 6° de amplitud de longitud, contados a partir del antimeridiano de Greenwich. Los Meridianos Centrales de cada huso están localizados en longitudes múltiplos de 6° incrementados en 3° y sobre este meridiano las distancias se presentan deformadas según el coeficiente $K_0 = 0.9996$. (por ello las distancias en el terreno se reducirán en esa zona tal como muestra la Figura 5.10).

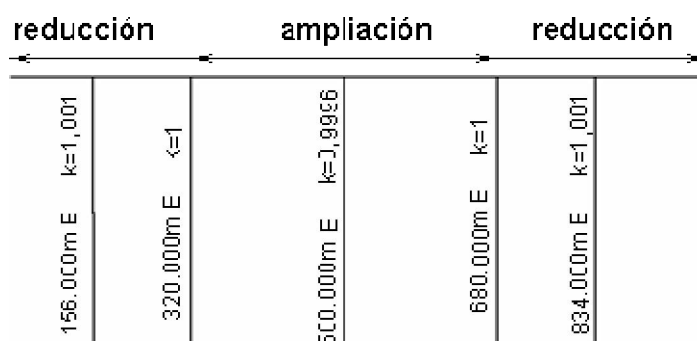


Figura 5.10 - Coeficientes en un huso UTM en el sistema brasileño

En cada huso se encuentra un punto singular que es la intersección de su Meridiano Central con la línea del Ecuador y las coordenadas UTM de ese punto son E(este)=500.000m y N(norte)=10.000.000m en el hemisferio Sur y N(norte)=0m en el hemisferio Norte. La Figura 5.10, a título de ejemplo, muestra la distribución de los husos UTM en Brasil.

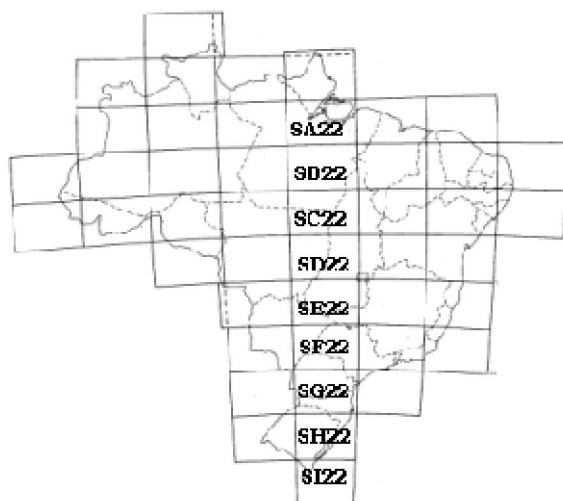


Figura 5.10 – Distribución de los husos UTM en Brasil, destaque para el huso 22.

1.4 Proyecciones Cartográficas

Aunque la Tierra no es una esfera perfecta, el globo terráqueo es la representación tridimensional que más se aproxima a su forma real. Sin embargo para la mayoría de los trabajos técnicos esa representación no es de interés pues los profesionales y administradores necesitan representaciones planas sobre las cuales medir, proyectar y desarrollar estudios.

La mayor dificultad de la cartografía es transferir todo lo que existe en una superficie curva del planeta sobre una superficie plana como la carta. Aún cuando se realiza un análisis superficial es posible percibir que esa transferencia será imperfecta, sin fidelidad y presenta alteraciones.

No hay ninguna proyección que elimine todos los tipos de deformación resultantes de la transformación de una esfera en un plano. Cualquier sistema provoca deformaciones en la representación. Es como intentar aplastar una pelota de plástico, el resultado serán rasgaduras y pliegues en la superficie. Por ello es necesario que el técnico sepa definir las características de la carta a ser elaborada de forma que ésta pueda cumplir con los objetivos buscados.

Al momento de decidir, las preguntas que surgen son:

- ¿debe conservarse la forma verdadera de las áreas a representarse (conformidad)?
- ¿no debe alterarse la relación entre las áreas (equivalencia)?
- ¿debe ser constante la relación entre la distancia entre dos puntos en la carta y las correspondientes en el terreno (equidistancia)?
- ¿los círculos máximos deben representarse mediante líneas rectas?

Las diferentes proyecciones cartográficas fueron desarrolladas a lo largo de la historia para dar respuesta a esas preguntas. Para cada necesidad, hay una **proyección cartográfica**¹² que

¹² Una proyección cartográfica es el sistema que utilizamos para poder representar un punto de la Tierra sobre una superficie plana. Sabiendo que la esfera no puede representarse en un plano se hace necesaria la utilización de otras formas geométricas que si posean esta cualidad: son las llamadas superficies desarrollables. Estas son el cilindro y el cono. De forma muy sencilla podemos decir que una proyección cartográfica consiste en introducir la esfera terrestre dentro de una de estas figuras, proyectar los puntos de la superficie terrestre sobre ellas y luego proceder a su desarrollo; es decir, desplegar el cilindro o el cono sobre el que se ha realizado la proyección para obtener una superficie plana: el mapa. Aunque aquí se ha descrito este proceso de forma muy elemental se trata de una operación que requiere cálculos muy elaborados y que presenta determinadas características a tener en cuenta. La mas importante de ellas es que no debemos olvidar que una

permite generar el documento cartográfico minimizando las distorsiones de acuerdo a los requerimientos del usuario y que responda a sus necesidades.

Existen diferentes criterios para clasificar a las proyecciones siendo uno de los mas utilizados el que adopta la superficie de proyección y define a las **proyecciones planas, cilíndricas y cónicas**. Las proyecciones planas se usan para representar pequeñas áreas, de forma tal que los puntos a ser representados no se aparten demasiado del punto de tangencia (Figura 5.11 a). Las proyecciones cilíndricas se aplican ventajosamente en el mapeo de grandes áreas localizadas a lo largo de fajas próximas al círculo de tangencia o próximas a las áreas secantes (Figura 5.11 b). Finalmente, las proyecciones cónicas se adecuan para representar, por ejemplo, las áreas polares donde las proyecciones cilíndricas no son apropiadas por la deformación (Figura 5.11 c)

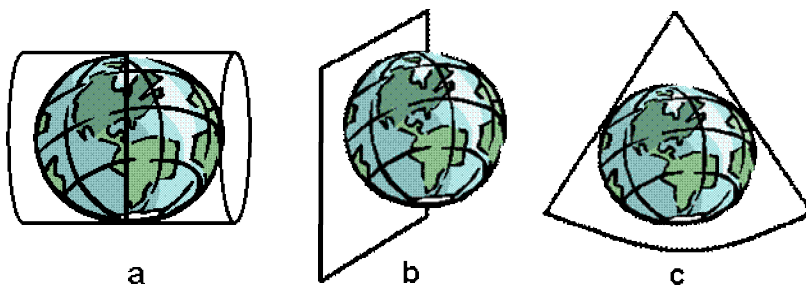


Figura 5.11 – Superficies de proyección cartográfica

2 Bases Cartográficas Urbanas

Evidentemente no es lo mismo mapear una pequeña ciudad que una gran urbe. En términos cartográficos el tamaño del área acaba influenciando el método de levantamiento¹³. Normalmente los métodos topográficos son utilizados para levantamientos de ciudades de “reducido” número de

proyección cartográfica es un modelo de la realidad, una aproximación mas o menos exacta de la realidad. (<http://www.raig.com/cursoGPS.aspx?link=6>)

¹³ Todos los métodos pueden ser aplicados en todas las áreas y no son excluyentes, no obstante para cada situación existe uno que se considera “mas apropiado” y con mejor relación costo-beneficio.

parcelas y de poca extensión donde frecuentemente la influencia de la curvatura terrestre no es significativa, reservándose los levantamientos fotogramétricos con apoyo GPS para las grandes áreas. En ambos casos el sistema de coordenadas adoptado puede ser el mismo, aunque normalmente la Topografía utiliza sistemas de Coordenadas Locales y la Fotogrametría adopta coordenadas UTM, Lambert o Gauss Krüger¹⁴.

Otro elemento que condiciona la elección del método de mapeo es la escala en la cual se desea obtener el documento cartográfico. Parece bastante lógico que las representaciones cartográficas de una jurisdicción se realicen primeramente en escalas pequeñas, evolucionando para escalas de detalle (como son las urbanas), pero esta “lógica” no siempre es seguida.

Si bien la amplia mayoría de los Catastros Urbanos latinoamericanos cuenta con cartografía en escalas que varían entre 1:500 y 1:2.000, esto no significa que los trabajos de actualización (o de elaboración de la primera base cartográfica) deban realizarse siempre en esas escalas.

Los ítems siguientes presentan algunas consideraciones importantes que deberían ser tenidas en cuenta en el momento de decidir que técnicas utilizar, que sistemas de referencia adoptar y que de proyección cartográfica es mas apropiada.

2.1 Bases Cartográficas Masivas

En el contexto de la presente obra se consideran masivas a las bases cartográficas elaboradas para toda la ciudad en un período “corto”. A continuación (aunque de forma muy somera) se describen algunas de las técnicas que pueden ser utilizadas para el mapeo de toda un área urbana las cuales pueden ser utilizadas para elaborar la primera base cartográfica catastral bien como para actualizar alguna existente.

¹⁴ Estos 3 sistemas son los mas comunes en Latinoamérica.

2.1.1 Topografía¹⁵

Mucho antes que existieran las fotografías y las imágenes de satélite, las mediciones de las parcelas eran realizadas por métodos rudimentarios, usando instrumentos simples como las escuadras ópticas y cintas métricas, manteniendo siempre el objetivo de describir la realidad física del área levantada mediante dibujos sobre un plano de representación. Así, describir lugares fue una de las principales preocupaciones del hombre y esta necesidad abrió espacio para la creación y el desarrollo de una nueva área de estudio: la **Topografía**¹⁶. Esta ciencia que tiene como objetivo estudiar y desarrollar métodos e instrumentos destinados a levantar y procesar datos del terreno a partir de los cuales sea posible representar gráficamente la realidad física en un documento cartográfico.

Para la representación de la superficie física la **Topología**¹⁷ utiliza un plano sobre el cual cada punto topográfico se proyecta ortogonalmente. Este plano no tiene existencia física real, es una abstracción utilizada por el Topógrafo para poder representar, en dos dimensiones, las tres dimensiones espaciales del terreno. Este plano puede ser “visto” como el correspondiente a la hoja de papel usada para el dibujo.

La Figura 5.12 muestra los puntos topográficos A, B, C, D (vértices de una parcela catastral) distribuidos espacialmente sobre la superficie terrestre y sus proyecciones correspondientes A', B', C', D', las cuales pueden ser determinadas a partir de coordenadas planas (x,y)¹⁸.

¹⁵ Tópico basado en el Capítulo 1 del libro: **Topografía para Estudiantes de Arquitectura, Engenharia e Geologia**. ERBA, D. (organizador). Editora Unisinos. São Leopoldo- RS, Brasil, 2003.

¹⁶ del griego *topos* (τοπος): lugar y *graphein* (γραφειν): descripción.

¹⁷ La necesidad de efectuar una serie de convenciones que permitan representar de forma clara y comprensible el terreno ha hecho surgir un área específica de la Topografía llamada Topología Terrestre que tiene como principal objetivo estudiar las formas de relevamiento, estableciendo modelos que lo representen. Este concepto está directamente relacionado con el Dibujo Topográfico el que se ocupa de transferir al plano todos los detalles obtenidos en los levantamientos.

¹⁸ Hay casos en que el conocimiento de las posiciones de los puntos topográficos en el plano de representación (x,y) satisfacen las necesidades de los técnicos, como por ejemplo en el mapeo de los límites parcelarios que componen el Catastro Territorial. Sin embargo, la mayoría de los proyectos de ingeniería, tales como obras viales, aeropuertos, complejos habitacionales, canales, tuberías, etc., exigen que sean determinadas las posiciones espaciales (x, y, z) de los citados puntos topográficos.

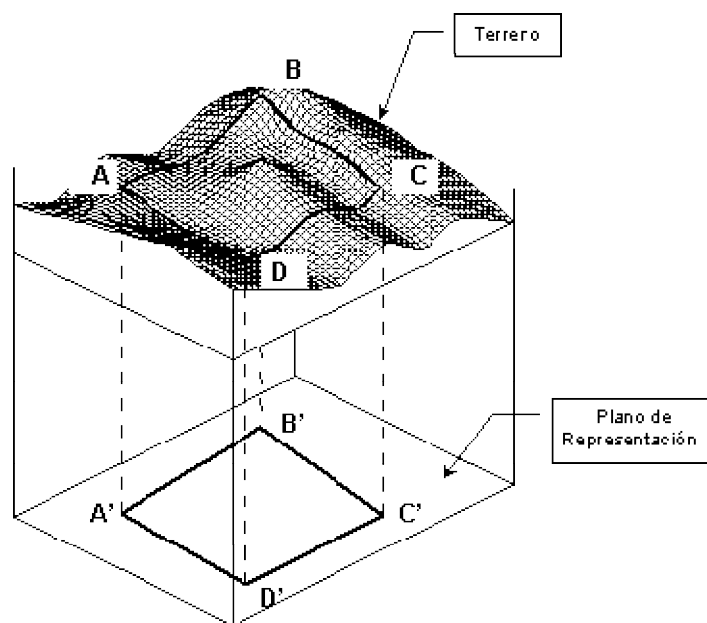


Figura 5.12 – Representación de una parcela catastral en el plano topográfico

La Topografía es aplicable siempre y cuando las deformaciones provocadas por la proyección de la superficie curva de la Tierra sobre el plano de representación sean despreciables. En los casos en que las técnicas topográficas no son apropiadas deben ser utilizadas la **Geodesia** y la **Fotogrametría** para el levantamiento y representación de parte de la superficie terrestre.

2.1.2 Geodesia y GPS

La **Geodesia**¹⁹ es una ciencia que tiene la finalidad determinar la forma y dimensiones de la Tierra y comprende el estudio de las operaciones o medidas, así como los procedimientos de

¹⁹ del griego *geo* (γῆ): tierra y *daiein* (δαίειν): dividir.

cálculo aplicados para determinarlas esas medidas y el campo gravitacional del planeta²⁰. Hasta hace pocos años las mediciones geodésicas contemplaban observaciones a cuerpos celestes con teodolitos astronómicos (instrumentos que miden ángulos con altísima precisión). Actualmente esos instrumentos están prácticamente en desuso y las Coordenadas Geodésicas se determinan a través del **Sistema GPS**.

El sistema GPS²¹ está compuesto por tres segmentos: espacial, de control y del usuario (Figura 5.13).

El **segmento espacial** del GPS provee cobertura mundial de forma que en cualquier parte del globo terrestre, durante las 24 horas del día, se encuentren por lo menos cuatro satélites visibles con alturas superiores a los 15° respecto del horizonte. En algunas zonas de la Tierra es posible obtener 8 o más satélites visibles al mismo tiempo, principalmente en las zonas próximas al Ecuador.

El **segmento de control** está constituido por una estación master de control y cinco estaciones terrestres con los siguientes objetivos:

- § rastrear los satélites GPS y suministrar periódicamente sus posiciones,
- § corregir las efemérides transmitidas y los errores de los relojes atómicos instalados en los satélites,
- § determinar el “tiempo” GPS,
- § predecir las efemérides y el comportamiento de los relojes de los satélites y
- § actualizar periódicamente los mensajes de navegación para cada satélite.

La *Master Control Station* está localizada en Colorado Springs, EEUU y otras cinco estaciones de control terrestre se encuentran en Hawái (Océano Pacífico), Isla Ascensión (Atlántico Sur), Isla Diego García (Océano Índico) y en Kwajalein (Atlántico Norte).

²⁰ SILVA, I., ERWES, H., SEGANTINE, P. C. L. (2001). *Introdução à Geomática*. Setor Gráfico da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 100p.

²¹ Es común que se denomine GPS al instrumento utilizado para hacer las mediciones y aunque en realidad no es totalmente inapropiado, es importante dejar claro que GPS es todo el sistema compuesto por los 3 segmentos y lo que se utiliza para medir es un instrumento denominado **receptor**.

El **segmento de usuario** comprende el conjunto de usuarios civiles y militares del sistema GPS. Se trata fundamentalmente de receptores que poseen la capacidad las medidas de pseudo-distancias y de fase, con base en las dos frecuencias L1 y L2, transmitidas por los satélites. Los receptores de código C/A pueden brindar precisiones en el entorno de 30cm, los receptores de Portadora de Fase obtienen precisiones entre 10-30 cm y los receptores de doble frecuencia alcanzan precisiones sub-centimétricas aplicando correcciones diferenciales.

Figura 5.13 – Segmentos del sistema GPS²²

Con la puesta a punto del sistema GPS en aplicaciones de ingeniería, también se desarrollaron las técnicas y métodos de observación con el objetivo de determinar coordenadas geográficas asociadas a un sistema de referencia de coordenadas con origen en el centro de masa de la Tierra - CMT (este sistema de referencia corresponde al sistema WGS-84). La selección del método de observación en los levantamientos con el sistema GPS depende de las necesidades particulares de cada proyecto, especialmente en lo que se refiere al nivel de precisión que se desea obtener.

²² Aguila, M., Pérez A., Pérez Rodino, R., *Las nuevas técnicas fotogramétricas en el manejo forestal*. Depto. Geomática, Inst. Agrimensura, Fac. de Ingeniería. Montevideo, Uruguay.

El posicionamiento de puntos puede realizarse básicamente a través de los siguientes métodos²³:

- **posicionamiento absoluto estático**: el rastreo de señales se da a través de un único receptor que trabaja de forma autónoma y que permanece estacionado sobre un punto topográfico por un determinado período²⁴. Este método se usa cuando la zona de trabajo no posee ningún punto de coordenadas conocidas en el sistema de referencia, razón por la cual no se aplica ningún tipo de corrección a las coordenadas determinadas por el GPS.
- **posicionamiento absoluto móvil**: un único receptor opera en movimiento y las coordenadas de las posiciones sucesivas que representan su trayectoria determinadas por el sistema.
- **posicionamiento diferencial estático**: dos o más receptores permanecen fijos en las estaciones durante toda la sesión de medición, uno se posiciona en la **estación base** (punto del cual se conocen las coordenadas en el sistema de referencia adoptado) y otro se coloca en la **estación remota** (punto del cual se desea determinar las coordenadas). El tiempo de observación varía mucho de acuerdo a la capacidad del receptor utilizado (frecuencias L1 o L1/L2²⁵), a la longitud de la línea base (distancia entre los receptores) y a las características del programa usado para el post-proceso. Este tipo de levantamiento se usa para el establecimiento de redes geodésicas de apoyo. Con instrumentos de doble frecuencia y corrección diferencial, se logran precisiones subcentimétricas
- **posicionamiento diferencial móvil**: el modo de operación es similar al posicionamiento diferencial estático, siendo que en este caso el receptor remoto está en movimiento durante la medición. Una ventaja de este método es que no requiere largos períodos de observación. El proceso de corrección diferencial puede ser realizado en tiempo real

²³ Este tema fue adaptado de Huerta, E, Mangiaterra, A & Noguera, G. *GPS Posicionamiento Satelital*. UNR Editora, Universidad Nacional de Rosario, Argentina, 2005.

²⁴ La precisión de las coordenadas obtenidas dependerá del tiempo de medición. De acuerdo al Servicio de Posicionamiento Estándar será de 10m en la horizontal y 15m en la vertical. Para llegar a una precisión de 1.5m a 3m es necesario usar un rastreador que reciba las señales de la portadora L1 y del código C/A con un tiempo de rastreo (observación) considerable.

²⁵ Los satélites emiten diferentes señales que permite aplicar métodos y consecuentemente obtener precisiones diferentes: la portadora L1, modulada por los códigos C/A y P y la portadora L2 modulada por el código P.

(durante las observaciones) o mediante el aplicativo de post-proceso. Con instrumentos de doble frecuencia y corrección diferencial, se logran precisiones submétricas

La Figura 5.14 muestra esquemáticamente la forma como se opera en el terreno cuando se trabaja con algún método diferencial (en el caso absoluto no existiría la estación base).

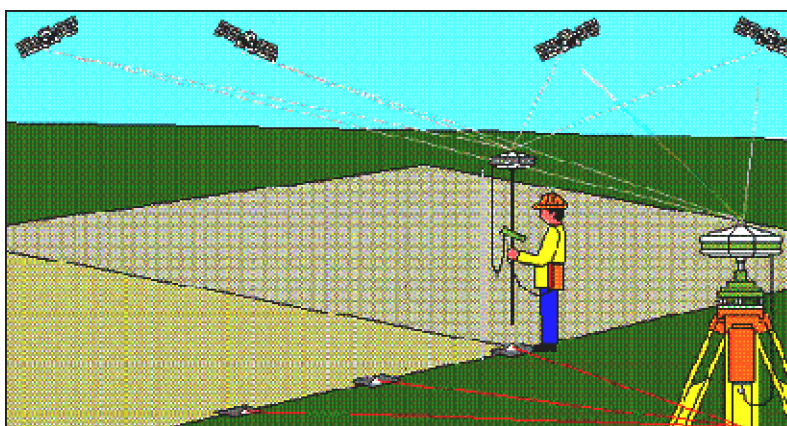


Figura 5.14 - Levantamiento GPS mediante el método diferencial

Fuente: catálogo de equipamientos LEICA

2.1.3 Fotointerpretación y Fotogrametría

A principio cualquier persona tiene habilidad para identificar objetos en una fotografía. No es necesario ser un gran especialista para identificar un río, casas, carreteras, bosques, entre otros, pero cuando la información extraída de la fotografía se va a utilizar con fines científicos o de estudios sobre los cuales serán tomadas decisiones, la simple identificación no es suficiente.

Puede denominarse **interpretación**²⁶ al proceso por medio del cual determinados objetos son identificados en las aerofotografías. No existe una única forma de interpretar puesto que hay diferentes tipos de fotografías (blanco y negro, color, infrarrojas, entre otras), diferentes escalas y

²⁶ Existen considerables diferencias en las técnicas aplicadas al trabajar con aerofotografías y con imágenes satelitales, por ese motivo reciben las denominaciones de Fotointerpretación e Interpretación de Imágenes respectivamente. Cuando esta última es visual las técnicas utilizadas son muy similares a las de Fotointerpretación, pero cuando las imágenes satelitales se procesan en formato digital en una computadora la interpretación puede ser automática o supervisada.

relieves y sobre todo diferente nivel de preparación del interprete. De esta manera, y en términos muy generales puede afirmarse que existen tres niveles:

- **Fotolectura:** proceso básico de identificación de objetos que no requiere ninguna especialización, no usa las propiedades estereoscópicas²⁷ de las aerofotografías ni exige trabajos de campo para verificación.
- **Fotoanálisis:** en este caso el fotointérprete debe saber usar estereoscopios para tener una visión tridimensional del área que está analizando, además de utilizar instrumentos que permiten realizar medidas aproximadas sobre las aerofotografías. Su experiencia es fundamental en la identificación de pequeños detalles que normalmente pasan desapercibidos durante la Fotolectura.
- **Fotointerpretación:** proceso que exige, además de los atributos propios del fotoanálisis, una gran experiencia por parte del profesional que lo desarrolla y trabajos de campo para verificar algunas hipótesis creadas a partir de la deducción derivada del estudio de las aerofotografías.

El Cuadro 5.2 muestra la relación de los procesos y el nivel que el observador debería tener para participar en cada uno de ellos.

²⁷ La estereoscopia es la capacidad humana de ver en tercera dimensión, originada en el hecho de tener dos ojos ante los cuales el mismo objeto se ve desde direcciones distintas. Aplicado al uso de fotografías aéreas, será necesario contar con un par de fotografías que cubran una zona común (área estereoscópica) presentando a cada ojo la zona correspondiente de cada fotografía (al ojo izquierdo la foto izquierda y al ojo derecho la foto derecha) mediante diversos procedimientos de observación.

Cuadro 5.2 – Proceso de interpretación

Proceso	Técnica	Elementos Identificados		Nivel del Observador
Fotolectura	sin estereoscopia	Rio	Bosque	Básico
Fotoanálisis	con estereoscopia + deducción	Contaminado	Eucaliptos	Técnico
Fotointerpretación	con estereoscopia + deducción + reambulación	Contaminación química	Atacados por hongos	Profesional Especialista

El objetivo primordial de la **Fotointerpretación** es identificar objetos con el mayor nivel de detalle posible. No se preocupa demasiado con la cuestión métrica, no obstante, como fue apuntado, el fotointérprete debe saber utilizar algunos instrumentos básicos de medición aunque no de alta precisión. La ciencia que se ocupa de estudiar y desarrollar métodos e instrumentos apropiados para obtener medidas precisas y confiables sobre las aerofotografías es la **Fotogrametría**²⁸.

La Fotogrametría es más antigua que el avión habiendo iniciado con levantamientos terrestres. Actualmente la **Fotogrametría Terrestre** se usa principalmente en proyectos de restauración de edificios, conservación de patrimonio histórico, entre otros, motivos por los cuales también es conocida como Fotogrametría Arquitectural o de Corta Distancia. Paralelamente, la Fotogrametría que trabaja con aerofotografías es denominada, obviamente, **Fotogrametría Aérea** (también denominada Aerofotogrametría).

Para poder visualizar el terreno físico y representarlo, la Fotogrametría aprovecha la posibilidad que da la proyección óptica de dos fotografías aéreas consecutivas (par estereoscópico). La correcta orientación del par en un instrumento (**restituidor**) que permite colocarlas en la misma

²⁸ De acuerdo con la *American Society of Photogrammetry* la Fotogrametría es el arte, la ciencia y tecnología para obtener información confiable acerca de los objetos físicos y del medio ambiente a través del proceso de grabación, medición e interpretación de fotografías y grabaciones de arreglos de energía electromagnética radiante y otros fenómenos (Rolf, P. *Elements of Photogrammetry*).

posición relativa en que se encontraba la cámara fotogramétrica en el momento de cada toma permite visualizar el modelo tridimensional del terreno sobre el cual se realizan mediciones precisas y el mapeo. con los llamados restituidores (stereo plotters) de las que se puede derivar cartografía.

La restitución **fotogramétrica** comenzó siendo **analógica**, utilizando restituidores óptico-mecánicos. A partir de la década del 50 la aparición de la computadora permitió un riguroso tratamiento de la solución de los cálculos fotogramétricos y poco a poco aparecen restituidores mixtos donde se usan las técnicas analógicas y las digitales, surgiendo la **fotogrametría analítica**. Actualmente las técnicas fotogramétricas usadas son digitales en gran medida. La **fotogrametría digital** es aquella que hace uso de imágenes digitales o digitalizadas, aún cuando la base de su operación es la misma que aquella de la fotogrametría analítica.

En el campo de la aerofotogrametría, las fotos obtenidas con cámaras montadas en aeronaves. Las fotografías obtenidas con el eje óptico de la cámara aproximadamente vertical (inclinación menor de 4°) se denominan **fotografías verticales** y se utiliza en trabajos de mapeo de precisión. Las fotos aéreas con inclinaciones superiores a los 4° se conocen como oblicuas y se emplean normalmente en labores de reconocimiento, para tomas panorámicas de identificación de detalles de vegetación, hidrografía, vías de acceso, etc. Son usadas también como ayuda al planeamiento de coberturas con fotos verticales y aún para mapeos preliminares.

Dentro del concepto de fotografías oblicuas, existen las **oblicuas bajas** con un ángulo de inclinación relativamente pequeño y las **oblicuas altas**, en las que aparece la imagen del horizonte (Figura 5.15).

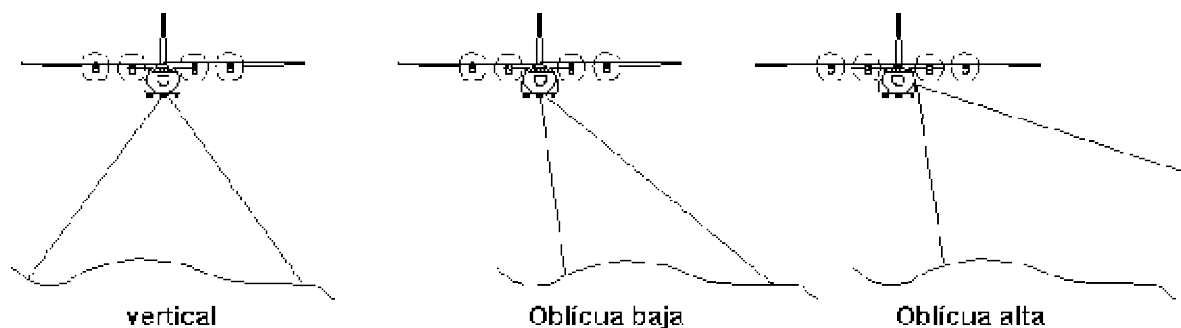


Figura 5.15 - Tipos de Aerofotografías

La carta en que se desea obtener carta catastral por restitución fotogramétrica condiciona la escala a que deben ser tomadas las aerofotografías la cual, a su vez, depende de la altura de vuelo y de la distancia focal de la cámara fotogramétrica. Así, como muestra la Figura 5.16 la definición de estas dos dimensiones debe ser muy criteriosa, exigiendo una rigurosa programación denominada **plan de vuelo**.

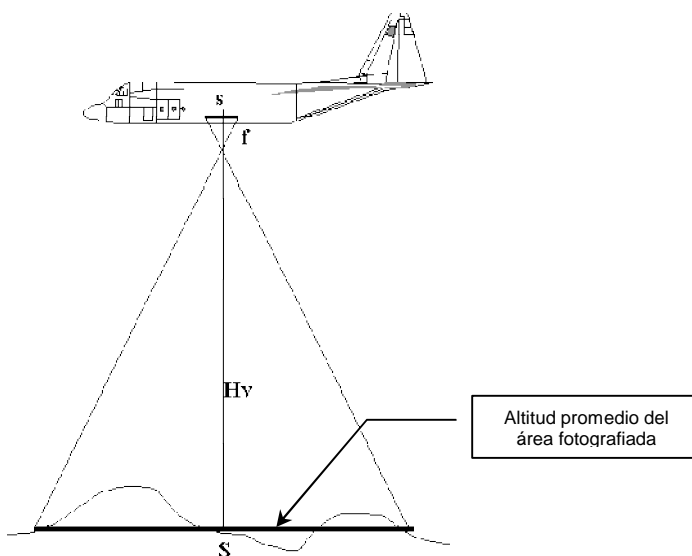


Figura 5.16 – Relación distancia focal – altura de vuelo

Para calcular H_v se analizan triángulos semejantes, resultando.

$$Esc = \frac{s}{S} = \frac{f}{H_v}$$

El citado plan de vuelo contempla además la definición de las denominadas **líneas de vuelo** las cuales deben ser programadas de manera que haya una correcta cobertura del terreno.

Como fue apuntado, para la restitución estereoscópica de un par de fotografías es imprescindible que cierta porción del terreno fotografiado sea común a las dos fotos, es decir que haya superposición entre las dos fotografías. Esa superposición debe darse dentro de cada faja fotográfica y entre ellas.

Se denomina **recubrimiento longitudinal** entre fotografías consecutivas a la superposición que existe entre ellas. Teóricamente un recubrimiento longitudinal de 50%, sería suficiente para garantizar la cobertura estereoscópica del área fotografiada, sin embargo sólo podría ser valedero si la altura de vuelo estuviera rigurosamente controlada y los desniveles del terreno fueran despreciables. En la práctica estas condiciones son imposibles de asegurar, principalmente la altura de vuelo uniforme en razón de las perturbaciones atmosféricas, adoptándose un recubrimiento longitudinal de 60% mínimo que puede llegar hasta 80% (Figura 5.17)

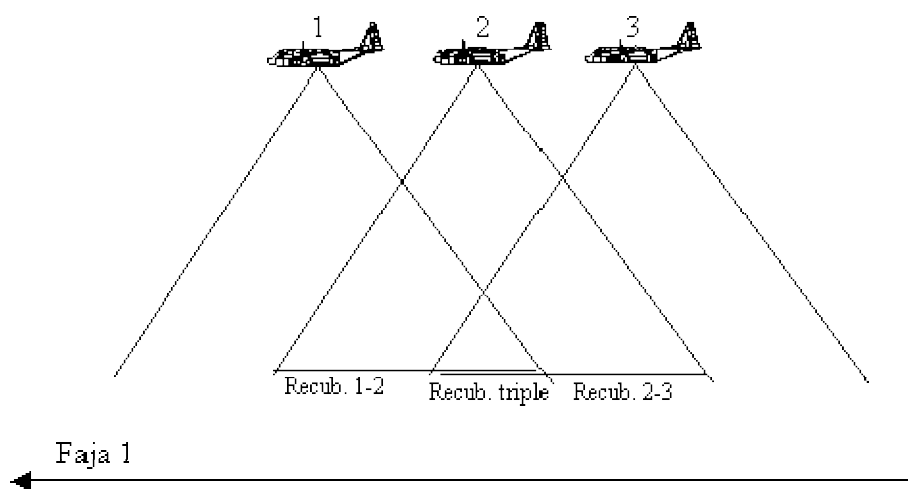
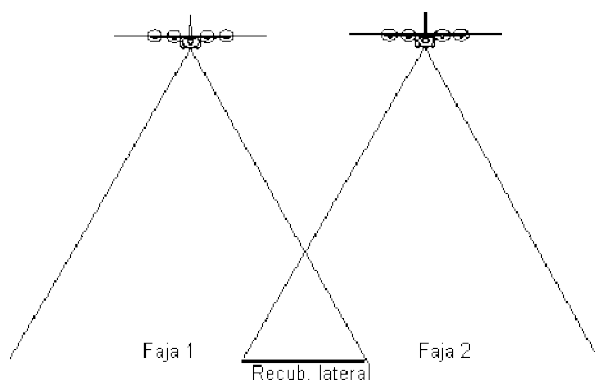


Figura 5.17 – recubrimiento longitudinal

El **recubrimiento transversal** (o lateral) entre fajas consecutivas es importante para conseguir la cobertura fotográfica sin huecos (áreas no cubiertas), adoptándose entre un 15% y 30% de recubrimiento lateral (Figura 5.18)

Figura 5.18 – recubrimiento transversal



2.1.4 ¡Una fotografía no es una carta!

La elaboración de una carta urbana presupone la proyección ortogonal de cada punto topográfico sobre un plano y la representación final correspondería a una “mirada desde arriba” de la ciudad. Probablemente esta visión lleve a considerar que una fotografía aérea es un documento cartográfico sobre el cual se puede medir directamente, lo cual es absolutamente falso y fácil de comprender.

Las fotografías son tomadas con cámaras que producen una proyección cónica del terreno, no ortogonal. Esto significa que cada uno de los infinitos rayos de luz reflejados que provienen de los objetos fotografiados, pasa por el punto central de la lente y continua por la cámara oscura hasta imprimir la película provocando una gran distorsión que aumenta radialmente hacia el borde de la fotografía (Figura 5.19).

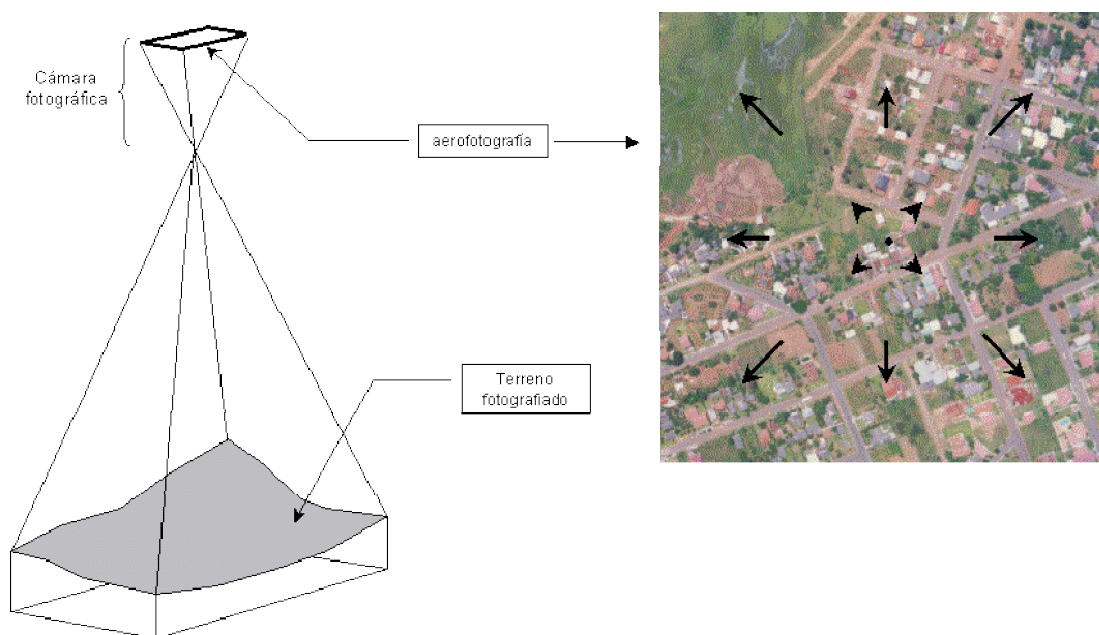


Figura 5.19 - Proyección Central y distorsiones derivadas

Las perspectiva central y el relieve del terreno causan distorsiones que repercuten en la geometría de los elementos fotografiados, las cuales pueden ser eliminadas mediante procesos fotogramétricos especiales.

El documento cartográfico resultante se denomina **ortofoto** (Figura 5.20) y sus características planimétricas permiten que sea superpuesto con cartografía digital existente y que sobre él se realicen mediciones con confiabilidad.



Figura 5.20 – Ortofotografía

Fuente: ENGEFOTO <http://www.engefoto.com/ortofotos.html> el 27 de junio de 2004

2.1.5 Restitución Fotogramétrica²⁹

Los planos generados por restitución fotogramétrica responden (de forma más o menos general) al formato presentado en la Figura 5.22. En esos documentos los datos se organizan en capas (*layers*) en las cuales cada detalle es referido a algún sistema de referencia de coordenadas adoptado por la legislación territorial.

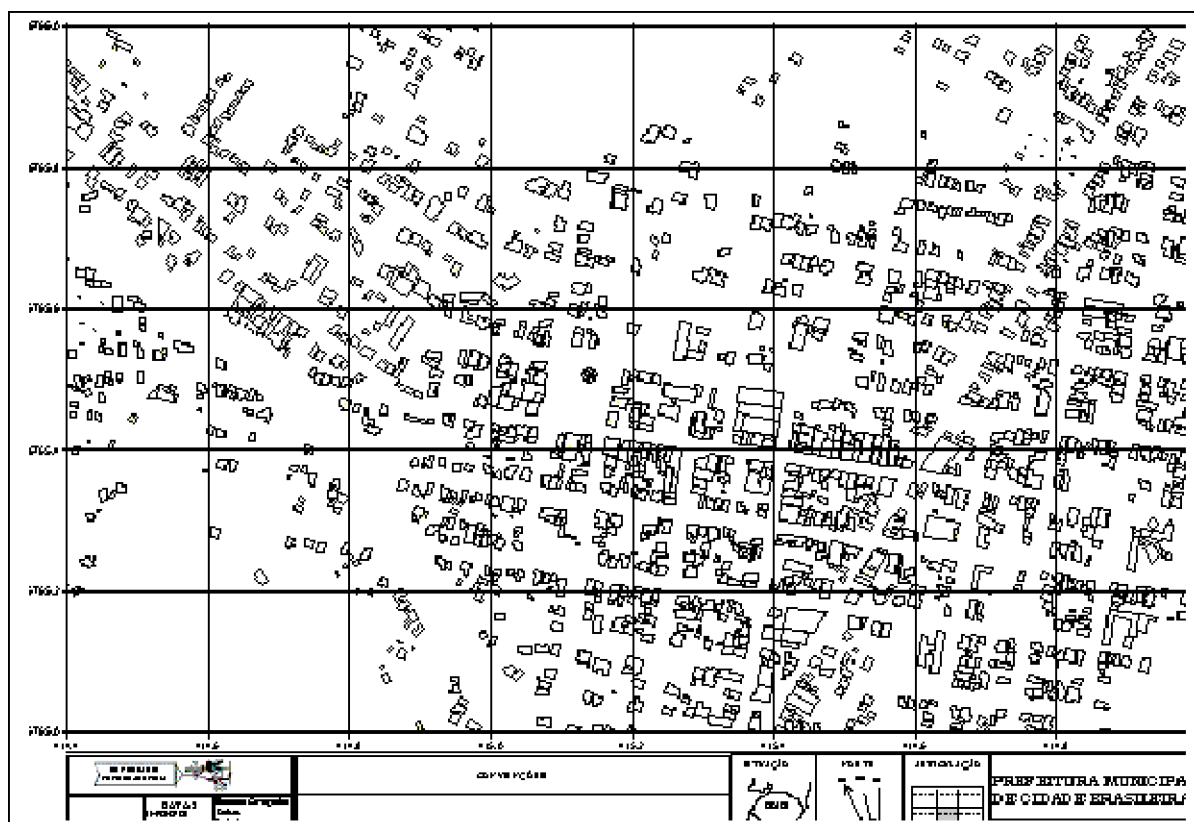


Figura 5.22 - Base cartográfica catastral

²⁹La restitución es un conjunto de operaciones destinadas a transformar la proyección central de los fotogramas en una proyección octogonal, es decir "reconstruir" (restituir) la realidad física representada en la fotografía.

2.1.6 Teledetección

Con relación a las imágenes satelitales debe observarse que, a pesar de los avances producidos en los últimos años en términos de resolución espacial, aún son inapropiadas para la realización o actualización de bases cartográficas catastrales. No obstante son muy apropiadas para la identificación de construcciones no declaradas, nuevos loteos, asentamientos irregulares e informales, además de innumerables elementos urbanos los cuales pueden ser interpretados y mapeados en una nueva capa que al superponerla con las bases cartográficas existentes permite identificar las alteraciones provenientes del dinamismo urbano.

2.2 Bases Cartográficas Compiladas

En Latinoamérica gran parte de los documentos cartográficos catastrales urbanos se estructuraron (y se actualizan) a partir de compilación de planos topográficos o de mensura. Esa gran cantidad de planos contempla una o más parcelas (muchas veces corresponden a grandes loteos completos) amarradas a diferentes objetos existentes en el terreno o aún a diferentes sistemas de coordenadas. La falta de uniformidad de sistema perjudica enormemente su y la confección de la base catastral masiva.

Muchas jurisdicciones trabajan con este sistema de compilación han reformado sus leyes catastrales pasando a exigir la georreferenciación de las parcelas a un sistema único de coordenadas hecho este que, si bien es muy loable y apropiado frecuentemente, ha causado cierta entropía entre profesionales y administradores. A pesar de esa turbulencia no hay duda de que la georreferenciación permite una mas rápida aproximación a la integración de datos.

Si bien al adoptar el método de compilación de planos la administración no hace grandes inversiones (pues recibe los datos a partir de levantamientos costeados por los particulares), la desventaja es que no existen garantías de que la velocidad de crecimiento de la ciudad sea acompañada por el número de subdivisiones de parcelas y surgimiento de nuevos loteos, razón por la cual es imposible poner una fecha a la cual la cartografía se considera actualizada. Esa “desconfianza” muchas veces lleva a realizar levantamientos específicos para atender a las necesidades de determinados proyectos urbanos (infraestructura, reasentamientos, etc.) los cuales

acaban constando caro y no se registran en el Catastro Territorial, colaborando negativamente con inversiones equivocadas y pérdida de información.

Además, si las normas catastrales no son suficientemente estrictas como para establecer sistemas de nomenclatura catastral y de representación (escalas y nivel de detalle) claros, la compilación puede estar inviabilizada por la subjetividad con que cada profesional elabora la cartografía puntual³⁰.

2.2.1 El Plano Topográfico y el Plano de Mensura

Según el Diccionario de la Real Academia Española, el término mensura proviene del latín *mensûra*, que significa “acto de medir”. Ese acto de medir presenta diferentes interpretaciones, particularmente cuando se aplica a la medición de parcelas puesto que, en estos casos, la acepción de la palabra tiene un sentido mucho más amplio y el problema deja de ser sólo técnico y pasa a ser también jurídico.

En el contexto argentino, por ejemplo, el Acto de Mensura³¹ puede ser definido como el acto de levantamiento parcelario por el cual el Agrimensor establece los límites que resultan de la aplicabilidad y extensión territorial del título dominial sin perjuicio de los límites posesorios que compruebe en el acto de relevamiento, debiendo ser exteriorizado en el **plano de mensura**, documento cartográfico que contenga el Estado de Hechos del inmueble, inscrito en el órgano pertinente del Catastro Territorial.

En Uruguay se considera Plano de Mensura al documento gráfico que expresa el alcance territorial de un derecho existente o a constituir y que incluye no sólo al derecho de propiedad o posesión, sino también al derecho de uso. Pertenecen a este grupo no sólo aquellos planos

³⁰ Esto no significa que los documentos cartográficos así generados sean de mala calidad, pero la falta de estandarización causa problemas al momento de integrar los datos catastrales con cartas elaboradas por profesionales liberales o de otras instituciones (inclusive de órganos gubernamentales y del mismo municipio).

³¹ En el siglo pasado el Agrimensor y Abogado Juan FERNANDEZ, definía la Mensura como la inteligencia del título sobre el terreno, explicando que esto trae para el profesional dos problemas: uno jurídico (la inteligencia del título y la presencia de los hechos) y otro topográfico (el procedimiento práctico para aplicar esa inteligencia sobre el terreno). Hugo ALSINA define la Mensura como la operación técnica que tiene por objetivo la localización del título sobre el terreno, trazando su forma geométrica en un plano, que es la expresión gráfica de las indicaciones contenidas en el título, comparándose el área declarada con la poseída y determinando el origen de las sobras o faltas respecto de las propiedades vecinas.

realizados para transacciones inmobiliarias, sino también los planos especiales usados como base de sentencias de prescripción y los planos de servidumbres (paso, acueducto, explotación minera, etc.). Es importante destacar que el plano de mensura no da ni quita derechos.

Evidentemente en esos países existen diferencias significativas entre el plano de mensura de características jurídico-técnicas y el plano topográfico que corresponde a la representación cartográfica de una porción de territorio sin relación con los derechos que obran sobre el mismo. El Cuadro 5.3 muestra algunas características diferenciadas en los citados documentos cartográficos.

Cuadro 3 - Características de los Planos de Mensura y Planos Topográficos

	PLANO DE MENSURA	PLANO TOPOGRÁFICO
Profesional actuante	Agrimensor	Agrimensor, Topógrafo, Técnico o Ingeniero habilitado.
Relación Jurídica entre propietario y territorio	Objeto principal	Sin importancia
Idoneidad	Jurídico-Técnica	Técnica
Objeto a representar	Limites del inmueble	Superficie terrestre
Escala y Representación	Importancia Secundaria (constan todas las medidas)	Importancia Principal

2.2.2 Levantamientos territoriales y levantamientos parcelarios

La actuación de los profesionales de la medida se traduce en forma general a la realización de **actos de levantamiento territorial**, los cuales tienen por objeto reconocer, determinar, medir y representar el espacio territorial y sus características. Cada uno de estos actos tiene objetivos diferentes y es ejecutado por órganos y profesionales distintos.

Los actos de levantamiento territorial pueden ser clasificados, de acuerdo con sus fines, en civiles y militares, tal como muestra el Cuadro 5.4.

Cuadro 4 - Clasificación de los actos de levantamiento territorial

Actos de levantamiento territorial	Con fines militares	
	Con fines civiles	Con fines económicos
		Geotopocartográficos
		Civiles propiamente dichos

El acto de levantamiento territorial con fines económicos tiene como objetivo determinar el valor de las parcelas el cual es utilizado en áreas urbanas (entre otras aplicaciones) para el cálculo del valor del impuesto. Para sistemas administrativos donde la institución del Catastro Territorial forma parte del cuadro de órganos gubernamentales éste es el encargado de efectuar las evaluaciones de los inmuebles por medio de sus profesionales.

Los Actos de Levantamiento Geotopocartográficos sistemáticos se traducen en la ejecución de mapas y cartas (temáticas o básicas) usadas para el desarrollo de proyectos y planeamiento.

Finalmente, los levantamientos civiles propiamente dichos pueden ser elaborados con diferentes objetivos, tal como muestra el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5 – Categorías de los actos de levantamiento parcelario

Judiciales (ejecutados por profesionales habilitados)	Deslinde por confusión de límites
	Reposición de marcos
	Mensura para información de posesión
Administrativas (ejecutadas por los profesionales que pertenecen al cuadro de la institución catastral)	Mensuras de Oficio
	Determinación de la línea de ribera
	Mensura para Expropiación
	Trazado de Ciudades
Particulares (ejecutados por profesionales habilitados)	Mensura para determinación del estado parcelario

Fuente: provincia de Santa Fe, Argentina.

3 Cartografía Temática Urbana

Normalmente los estudios urbanos y proyectos exigen representaciones espaciales de fenómenos que no fueron contemplados en la base cartográfica y que corresponden a ciertos **temas** como salud, valor de los inmuebles, áreas de protección ambiental o riesgo, redes de servicios, nivel de educación, entre otros. Justamente es a través de las **Cartas Temáticas** que la realidad urbana es presentada a la población y a los grupos de decisión y su elaboración requiere un gran nivel de abstracción y capacidad artística por parte del cartógrafo que las elabora.

A grandes rasgos puede decirse que existen dos tipos de cartas temáticas que son de utilidad en los estudios urbanos: las generadas a partir de aerofotografías o imágenes satelitales y los Cartogramas. Ambas toman como base variables visuales (color, forma, orientación, tamaño, de los objetos usados para la representación privilegiando la información semántica en detrimento de la precisión cartográfica.

3.1 Mapeos temáticos a partir de aerofotografías e imágenes satelitales

En cualquier tipo de mapeo que se realice a partir de imágenes y/o aerofotografías es fundamental definir cual es el menor objeto que se quiere representar pues este parámetro influencia la escala requerida para la aerofotografía o la imagen satelital.

Las cartas temáticas normalmente son elaboradas a partir de una base cartográfica existente sobre la cual se lanza la interpretación del tema en cuestión³².

La Figura 5.23 muestra las relaciones que existen entre las diferentes ciencias/técnicas presentadas y su relevancia en el proceso de elaboración de una carta temática.

³² Hasta hace pocos años ese lanzamiento era óptico-mecánico pero a partir del desarrollo de aplicativos informáticos especialistas y principalmente de los SIG que permiten el procesamiento de imágenes y cartas georeferenciadas y en formato digital, la preexistencia de una base cartográfica ya no es esencial puesto que la carta temática generada por interpretación visual o automática sobre la imagen puede ser relacionada con cualquier mapeo existente al usar el mismo sistema de referencia.

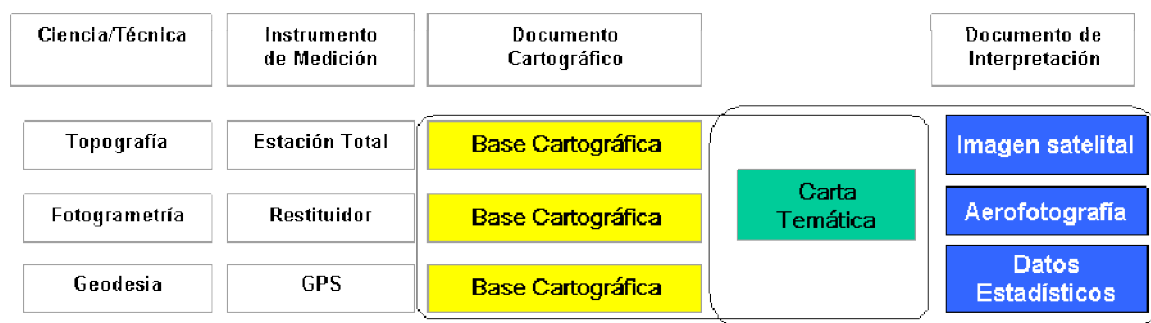


Figura 5.23 – Proceso de elaboración de cartas temáticas

Las Estaciones Totales y el GPS son apropiados para el levantamiento temático de variables correspondientes al medio físico. La posibilidad de grabar las coordenadas y los atributos de cada punto topográfico es realmente asombrosa. Los aplicativos de cartografía pueden capturar esos puntos y sus atributos y elaborar la cartografía temática con gran eficiencia y cierto grado de automatización.

El proceso de restitución fotogramétrica no se utiliza solamente para generar bases cartográficas sino también para elaborar ciertas cartas temáticas. Cada uno de los elementos temáticos (bañados, esteros, bosques, áreas inundadas, desérticas, ciudades, etc.) son mapeados en capas (*layers*) diferentes y aunque no necesariamente forman parte de la base cartográfica, su delimitación tiene alta precisión.

La generación de Cartas Temáticas a partir de imágenes satelitales presenta mas alternativas para el cartógrafo. El primer paso es georreferenciar la imagen a partir de puntos de coordenadas conocidas que pueden ser obtenidos con receptores GPS a campo o en bases cartográficas existentes.

La imagen, a diferencia de las aerofotografías, “puede ser considerada plana y la carta temática puede ser obtenida “manualmente”³³ dibujando sobre la imagen las áreas de interés. El resultado de esa interpretación visual es una carta temática vectorial.

Otra forma de obtener una carta temática a partir de imágenes es aplicar sobre ella alguno de los procesos de interpretación automática (supervisada o no supervisada), obteniéndose en este caso un documento en formato raster.

3.2 Cartogramas

Los fenómenos sociales, económicos y jurídicos no pueden ser visualizados en imágenes o aerofotografías y su mapeo puede ser realizado a través de cartas temáticas especialmente desarrolladas para esos fines, denominadas cartogramas coropléticos, isopléticos, de figuras proporcionales o de flujos.

Los **cartogramas coropléticos** (Figura 5.23–a) se utilizan para representar intensidades de una determinada variable en las diferentes unidades administrativas (como en las parcelas urbanas o sectores de la ciudad), siendo necesario definir una escala discreta de colores para cada clase.

En caso del Catastro Multifinalitario urbano, cuando se trabaja al nivel de parcela, los cartogramas coropléticos son útiles para representar el valor de cada una, identificar donde existen deudores morosos, niveles de ingreso de las familias, bien como sus problemas de salud, nivel educativo, entre otros.

Los **cartogramas isopléticos** (Figura 5.23–b) son apropiados para representar variables que presentan cambios continuos a lo largo del espacio urbano. Dentro del área económica, por ejemplo, pueden utilizarse para mostrar la variación del valor del suelo libre de mejoras a partir de la determinación de un modelo estadístico.

³³ Actualmente aún las interpretaciones visuales de imágenes se realizan en su mayoría sobre la pantalla del monitor puesto que las imágenes son adquiridas en formato digital, siendo desnecesario imprimirlas.

Los **cartogramas de figuras proporcionales** (Figura 5.23–c) se utilizan para representar datos absolutos y porcentuales. Normalmente el tamaño del objeto elegido (círculo, cuadrado, barra, etc.) representa cantidades y su subdivisión (cuando existe), el porcentaje de cada clase.

Finalmente, los **cartogramas de flujos** (Figura 5.23–d) se utilizan, como su nombre lo indica, para representar movimientos o migraciones, como por ejemplo el que corresponde a la especulación inmobiliaria que de repente abandona una zona de la ciudad y comienza a actuar en otra o de personas que prefieren vivir en diferentes barrios.

Queda claro que existe una gran variedad de alternativas para representar la realidad urbana, quedando a criterio de los grupos de planeamiento (entre los cuales necesariamente debe haber un Cartógrafo) elegir el mas apropiado para cada caso.

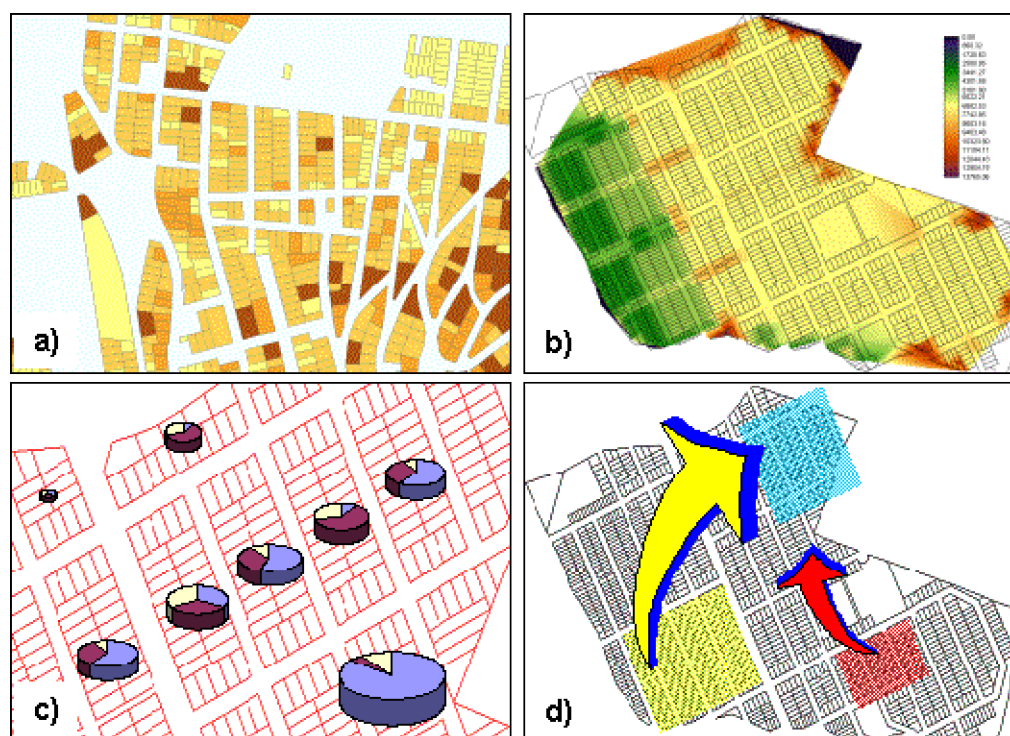


Figura 5.23 – Cartogramas