

TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS PARA LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y SU DESARROLLO URBANÍSTICO. APLICACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN DE GUADALAJARA-ESPAÑA Y TEGUCIGALPA-HONDURAS.

*Francisco Maza Vázquez**

RESUMEN

Es un hecho constatable que la cartografía y el urbanismo está íntimamente relacionado. El desarrollo tecnológico experimentado en la Cartografía y en disciplinas afines como la geodesia, la topografía, los Modelos Digitales del Terreno, la fotogrametría, la teledetección y la gestión de las bases de datos relacionadas, utilizando como herramienta los S.I.G's, nos han permitido cartografiar, con la precisión requerida, el Término Municipal de Guadalajara-España para la ordenación del Plan 2000 y su desarrollo. Todas ellas pretendemos ponerlas en práctica para la ordenación territorial de Tegucigalpa-Honduras, realizando como paso previo su Red G. P. S.

Palabras clave: Cartografía, Urbanismo, Geodesia, Ordenación Territorial.

ABSTRACT:

It is an indisputable fact that cartography and urban planning are inextricably linked. Technological development experienced in cartography and related disciplines, such as geodesy, surveying, Digital Terrain Models, photogrammetry, remote sensing and management of related databases using GIS as the tool, has enabled us to map with required precision the municipality of Guadalajara

* Ingeniero en Geodesia y Cartografía. Doctor por la Universidad de Alcalá, Campus Universitario de Guadalajara. Universidad de Alcalá, Escuela de Arquitectura Técnica. Calle Cifuentes. 28003 – Guadalajara (España), francisco.maza@uah.es

Fecha recepción: 12 de enero del 2010

Fecha aprobación: 10 de mayo del 2010

(Spain) to manage the Plan 2000 and its development. The intention now is to implement in Tegucigalpa (Honduras) the same regional land use planning using the GPS network.

Key words: Cartography. Urban Planning. Geodesy. Regional Land Use Planning.

1. Introducción

La sociedad actual se encuentra inmersa en una gran cantidad de problemas mayoritariamente geográficos, tanto físicos como humanos, que afectan al espacio, como por ejemplo los problemas de urbanización (carencia de infraestructuras, disponibilidad de suelo) y de crecimiento de población de una ciudad, factores éstos que son consecuencia de la actuación de los seres humanos (Estébanez, J., 1988).

El territorio en general, es dinámico, lo que hoy existe, mañana desaparecerá y será sustituido como consecuencia de hipotéticas catástrofes o diversas actividades humanas en un proceso de renovación social permanente; y la ciudad en particular, es una realidad en continua evolución. Es considerada como fábrica del hombre, y precisamente por ello, objeto de transformaciones que se configuran en el tiempo (Rossi, 1995). La ciudad es una obra permanentemente inconclusa (Lynch, 1998), es un ente con expresiones diferentes en cada etapa de su construcción. Asimismo, todo elemento incluido en el engranaje urbano y considerado como parte activa en la transformación permanente de la ciudad debe ser, primero proyectado, utilizando cualquiera de los instrumentos de planeamiento, y posteriormente analizado y valorado según la influencia específica y las repercusiones, si las hubiera, en la organización espacial de la que es partícipe.

La tarea de planificar un territorio, el análisis de su organización y evolución se puede estudiar desde distintos puntos de vista. Resulta un tema tan sugestivo, amplio y difuso que es difícil de abordar para un solo hombre, si se tiene en cuenta la masa de saberes que habría de acumular (Chueca Goitia F, 1993); es decir el urbanismo es una tarea multidisciplinar en la que deben de intervenir arquitectos, ingenieros, topógrafos, geógrafos, cartógrafos, economistas, abogados, analistas de imágenes, informáticos, otros, pero lo que resulta incuestionable es que la ordenación territorial debe de venir plasmada sobre una cartografía, y en la ejecución de ésta se debe tener en consideración sus dos elementos fundamentales:

- *El espacio, y*
- **La tierra, su forma y dimensiones. La geodesia la estudia en profundidad.**

Por tanto, *el espacio y la geodesia* son los dos conceptos fundamentales y básicos que hay que tener en cuenta en las representaciones cartográficas. Su importancia se pone de manifiesto a través del estudio que se hace de ellas para conocer las distintas fisionomías de la ciudad o de conocer su desarrollo urbanístico, y en multitud de ocasiones las conclusiones a las que se llegan tienen más calado y profundidad que las que pueden aportar los historiadores con otro tipo de documentos.

En este estudio se pretende realizar un análisis de las diferentes técnicas metodológicas utilizadas en las representaciones cartográficas para la ordenación del territorio y análisis de su desarrollo urbanístico, separándolas según su contenido y calidad métrica empleada en su ejecución. Ello nos ha conducido a efectuar una valoración de todos los documentos gráficos que intervienen en un Plan de Ordenación, en este caso de Guadalajara (España).

2. **Objetivos propuestos**

El análisis de las técnicas actuales para la ejecución de la Cartografía que se va a utilizar en la ordenación territorial y su desarrollo urbanístico, así como la utilización de la metodología adecuada para alcanzar la precisión requerida, es el objetivo específico de este estudio. El proceso a seguir, utilizando una u otra metodología, debe culminar con la puesta a disposición de una base cartográfica precisa y veraz del territorio que se desea ordenar, pues una cartografía errónea nos puede llevar a una deficiente planificación y tomar decisiones que pueden resultar nefastas en la evolución del territorio.

De otra parte, el objetivo general que debe prevalecer en cualquier ordenación es la dirección por la que discurre el desarrollo urbano y sus necesidades en el ámbito del territorio. Para ello obligatoriamente nos apoyamos en documentos gráficos, en planos topográficos y en la cartografía proveniente de los Planes de Ordenación anteriores.

Es decir, el trabajo planificador en el aspecto cartográfico se fundamenta en:

- la elaboración de la cartografía sobre la que se sustenta el planeamiento, y
- el estudio y valoración de las fuentes cartográficas antiguas, de documentos gráficos históricos, de la ordenación territorial anterior a los Planes de Ordenación Urbana, de la cartografía de los Planes de Ordenación y de la cartografía proveniente de sus instrumentos de planeamiento.

En definitiva, se debe aportar un análisis de desarrollo del territorio a estudiar, basándose en los documentos cartográficos. En este sentido, también la obtención de fotografías históricas y/o oblicuas y la generación de archivos fotográficos repletos de instantáneas ejecutadas en fechas diferentes ayudan a esclarecer y analizar el tejido urbano. Sin embargo el punto de partida para el conocimiento de una ciudad o territorio, debe de partir a la fuerza del análisis de los planos topográficos.

El análisis en la evolución de un territorio lo pondremos en práctica observando la cartografía de los distintos Planes de Ordenación, que afectan a ese territorio, con la secuencia de los mapas y la cronología en la cual se nos muestra, claramente, el avance de los conocimientos que se van produciendo en un lugar determinado. Por ello, para cualquier estudio basado en la planificación de un territorio, se pueden presentar distintas imágenes del ámbito que se pretende analizar ejecutadas en fechas diferentes. De la observación y del estudio realizado a través de ellas, seremos capaces de resolver múltiples incógnitas, de ámbito espacial, que se han ido produciendo en el área de estudio con el paso del tiempo. La técnica de mapas sucesivos y superpuestos para conocimiento del territorio es la base del método propuesto Mc Harg hace cuatro décadas (1969). La concepción de mapas sucesivos implica un avance hacia la síntesis de fenómenos y relaciones. En este sentido, Long (1974-75) expone que la *Cartografía* proporciona diversas expresiones gráficas en la que intervienen criterios y parámetros cartográficos diversos, integrados en tantas realidades territoriales como sea posible.

3. Técnicas cartográficas empleadas en la ordenación urbanística de Guadalajara

3.1. Las vistas y las fotografías aéreas oblicuas

Son los primeros documentos gráficos que nos conducen al conocimiento de una ciudad. El análisis realizado sobre ellas (figuras 1 y 2, vista y fotografía oblicua) nos muestra la visión del territorio o ciudad, en nuestro caso de Guadalajara, centrándose en los focos o monumentos más importantes existentes; si bien, como es lógico, no gozan de un carácter métrico; sí nos dan respuestas espaciales de la ocupación poblacional y arquitectónica. Su valor fundamental es que pueden ser las primeras representaciones gráficas del ámbito a ordenar.

Figura 1. Vista de Guadalajara realizada por Pier Marie Baldi en el año 1668. Fuente: Archivo Municipal.



Figura 2. Fotografía oblicua de la Ciudad de Guadalajara en el año 1999.
Fuente: Ayuntamiento de Guadalajara.



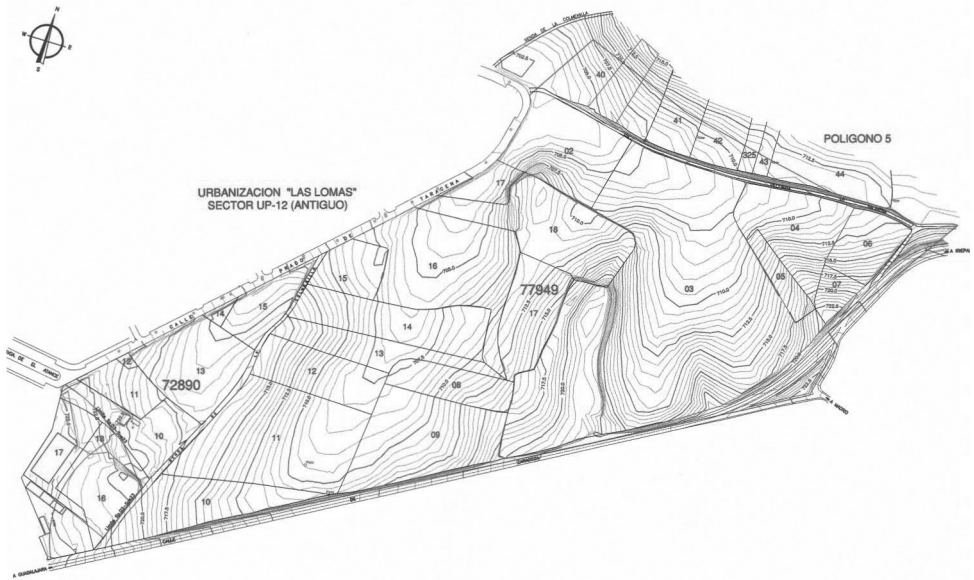
3.2. La cartografía obtenida por procedimientos de topografía clásica

Es la documentación gráfica más precisa en un Plan de Ordenación, complementa los archivos fotográficos y las imágenes pictóricas o “vistas” para conocimiento del territorio. Con esta metodología se utiliza procedimientos técnicos apropiados, e incluso los aparatos topográficos y estaciones totales empleados facilitan y enriquecen la calidad métrica de las representaciones realizadas a escalas por lo general grande, 1:500 ó 1:200 (figura 3).

En el caso de la Ciudad de Guadalajara, mediante la redacción de la ordenanza de normas cartográficas, aprobada por el Ayuntamiento en sesión plenaria celebrada el día 28 de febrero de 2003 y publicada en el Diario Oficial de la Provincia el día 8 de septiembre del mismo año, se

hace necesario, a la hora de desarrollar Planes Parciales, Especiales, Estudios de Detalle, Estudio de Alineaciones y Rasantes, Proyectos de Delimitación de Unidades de Ejecución o de su Modificación, Proyectos de Reparcelación, Compensación, de Ejecución de Obras de Nueva Planta y cualquier otra de naturaleza análoga efectuar un levantamiento topográfico enlazado en coordenadas X, Y, Z a la red topográfica implantada en el municipio, con el fin de que quede cualquier actuación urbanística georreferenciada y sirva de base, a la vez, para una perfecta ordenación y delimitación de la misma.

Figura 3. Plano topográfico, a escala 1:500, del sector SP- 03 del P.O.M. de Guadalajara.

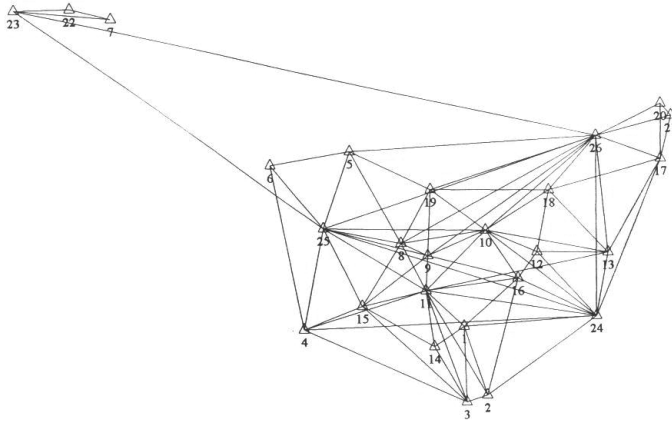


Fuente: Elaboración propia

El apoyo en la red topográfica municipal (figura 4) permite el perfecto desarrollo de cada uno de los sectores y unidades de ejecución del Plan de Ordenación Municipal (P.O.M.). Facilita el encaje y coincidencia centimétrica, como si de un “puzle” se tratara, en la fase de ejecución material de la obra y ayuda al desarrollo estructural y de infraestructuras

que precisa cualquier proyecto relacionado con los cambios espaciales que se producen.

Figura 4. Red topográfica correspondiente a la cartografía de Guadalajara.



Fuente: Sección Cartografía del Ayuntamiento de Guadalajara.

3.3. Cartografía realizada por métodos fotogramétricos. Orto-fotos

Fue a mediados del siglo pasado, cuando el profesor francés de Astronomía y Geodesia en L'Ecole de Polytechnique de París, Aimé Laussedat, se sirvió por primera vez de fotografías aéreas para efectuar levantamientos topográficos. Su obra *Recherchessur les instruments, les méthodes et de dessin topographique* (1899) nos enseña cómo con los pares estereográficos y mediante un dispositivo, se podían trazar perfectamente curvas de nivel y de detalle del terreno a partir de los clichés. Nace así la fotogrametría o ciencia que permite obtener planos taquimétricos con la aplicación de la perspectiva cónica a partir de fotografías del terreno.

La fotogrametría es la técnica que permite la obtención de las coordenadas de puntos concretos de un objeto en el espacio mediante su restitución a partir de un mínimo de dos imágenes perspectivas –fotogramas- de ese objeto. La posición de un punto del objeto en el espacio se obtiene con la intersección de los rayos que unen el centro de proyección de cada una de las

imágenes perspectivas con los puntos homólogos de cada una de las imágenes; siempre que éstas se sitúen en la posición desde la que fueron realizadas con respecto al objeto que se pretende restituir. Un modelo fotogramétrico (figura 5) lo constituyen un par de fotografías estereoscópicas de las que conocemos su posición y orientación relativa en el espacio. (Cundari, C., 1983). La restitución de modelos estereoscópicos de vuelos realizados a diferentes escalas ha sido la fuente cartográfica principal que se puso a disposición del equipo redactor del Plan de Ordenación de Guadalajara.

Figura 5. Modelos estereoscópicos de vuelo realizado en Guadalajara a escala 1/5000.



Fuente: Ayuntamiento de Guadalajara.

En definitiva, se trata de transformar la proyección cónica, que resulta de una fotografía, en una proyección ortogonal. Las ortofotos son un producto cartográfico que a una las características de las fotografías aéreas, de las que se han eliminado los errores propios de una proyección cónica, con las cualidades geométricas de un plano. Son, por tanto, una representación fidedigna del territorio que representan, y de gran utilidad para la ordenación y el análisis de paisajes y de recursos naturales y de infraestructuras. Al tratarse de imágenes reales del territorio no necesitan ser interpretadas, por lo que su lectura es mucho más sencilla que los tradicionales mapas topográficos.

Para la generación de ortofotos en Guadalajara se partió de un vuelo con los fotogramas escaneados a escala 1:20.000, un recubrimiento longitudinal $p=60\%$, un recubrimiento transversal $q=30\%$ coincidiendo el eje de cada pasada con el eje de las hojas 1/5.000, película color y cámara de focal 152,912 milímetros.

Las ortofotos digitales, utilizadas como soporte y herramienta en el desarrollo del sector, ayudan a plasmar soluciones técnicas capaces de encauzar, por ejemplo el desarrollo viario de una determinada zona con el fin de que no se llegue a comprometer el sistema de circulación existente en ella. El encaje de las vías propuestas con las existentes resulta imprescindible para su estudio y las ortofotos, como fuentes de información, facilitan el análisis de su investigación (Figura 6).

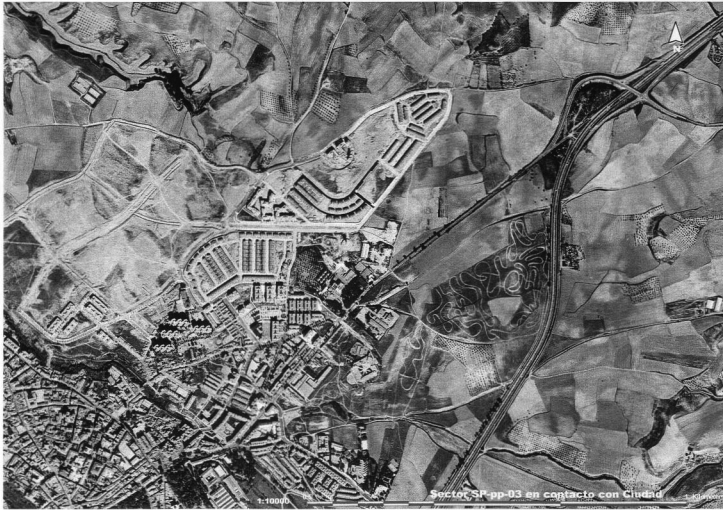
Figura 6. Propuesta de desarrollo urbano de la red viaria, sobre ortofoto, en sector SP pp 09 de Guadalajara.



Fuente: P.O.M. del año 2000

Además, la existencia y análisis de ortofotos utilizándolas como herramienta base en el análisis del proceso de desarrollo de un determinado sector urbanístico, calificado como programado (ver figura 7) y por tanto apto para urbanizar, nos permite un control técnico geométrico más preciso e incluso un encaje planimétrico y altimétrico en el mapa de la Ciudad.

Figura 7. Ortofoto del Sector SP-03 y de contacto con la zona nor-este de la Ciudad de Guadalajara.



Elaboración propia.

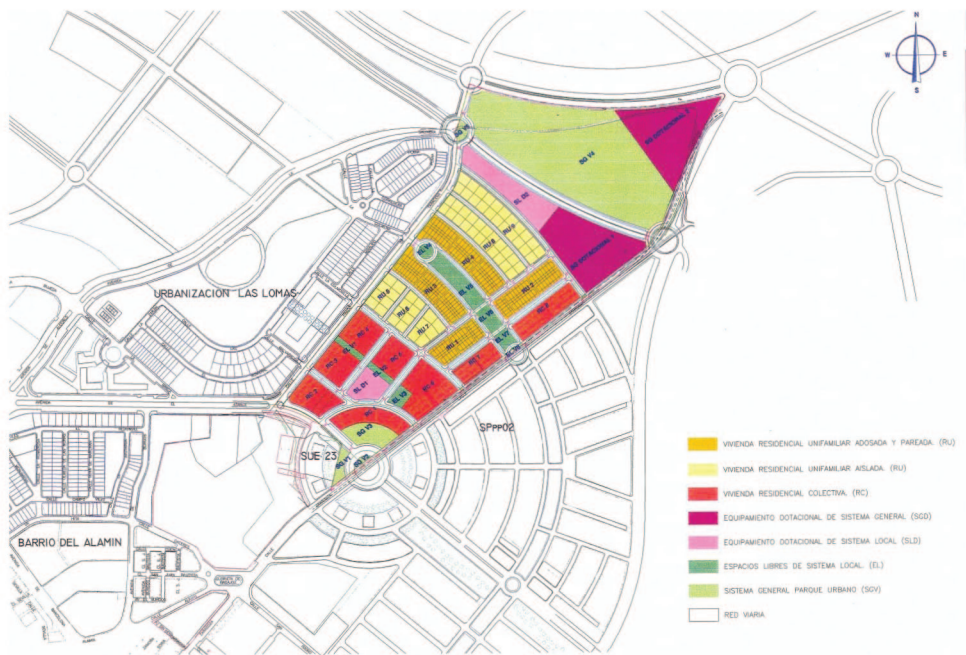
La puesta a disposición de la ortofoto y su levantamiento topográfico nos muestra el estado inicial de los terrenos. Para alcanzar la “ordenación de conjunto”, enlazado con los sectores colindantes, son necesarios una gran cantidad de procedimientos que nos capacitan para demostrar que aquella (la ordenación) se ajusta al replanteo realizado sobre el terreno y que a la vez es coincidente con lo grafiado en el plano (Ver figura 8). Todo ello avalado por un sin fin de archivos y modelos matemáticos que aunque no sean perceptivos ni visibles demuestran la precisión técnica del trabajo cartográfico realizado y por tanto garantizan la fiabilidad en la geometría de los datos aportados (Maza, F. 2000) ayudan además a un mejor análisis del terreno cartografiado.

3.4. Los modelos digitales del terreno (MDT)

La construcción de Modelos Digitales del Terreno (MDT) no ha pasado desapercibida en este trabajo (figura 9), al incorporar la información topográfica en el manejo de la cartografía digital. Los MDT son modelos matemáticos de tipo simbólico del objeto que se quiere representar.

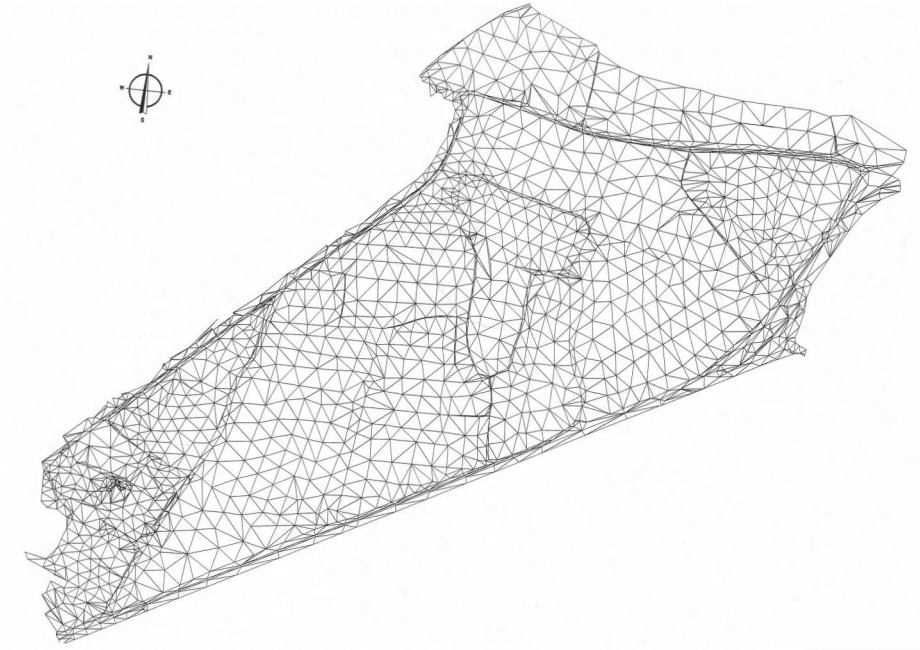
Según Felicísimo (1994), un Modelo Digital del Terreno se define como: “un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio”. Esta definición añade un nuevo concepto y es que los modelos son digitales, es decir, están codificados en capas, lo que permite un tratamiento informático.

Figura 8. Plano de ordenación del Sector SP-03 y encaje con la Ciudad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Modelo Digital del Terreno con triángulos TIN del Sector SP-03 de Guadalajara.



Elaboración propia

3.5. Las imágenes de satélite

Los programas de teledetección espacial facilitan el manejo de imágenes que igualmente son utilizados para el análisis territorial. Las imágenes de satélite constituyen hoy día una herramienta clave y fiable para el análisis de espacios tan dinámicos como son los espacios urbanos. La utilización de imágenes de satélite presenta, como valor añadido, la ventaja importantísima de la actualización, ya que se podrían analizar cambios de espacios urbanos prácticamente cada 20-30 días, dependiendo de la frecuencia “resolución” temporal del satélite (Chuvienco, 1995). Incluso, dependiendo de las características de las imágenes, en cuanto a resolución espacial se refiere, se podría realizar análisis mucho más detallados que no se centran en el espacio urbano en general, sino en los cambios concretos referentes a los espacios residenciales, comerciales e industriales.

La utilización de imágenes de satélites presenta ventajas e inconvenientes con respecto a la utilización de fotografías aéreas, aunque el tratamiento y metodología cuando hacemos uso de unas y otras es completamente diferente. Inclusive, el resultado de una cartografía realizada por procedimientos fotogramétricos analógicos ó analíticos es vectorial (“vector”), mientras que el tratamiento de imágenes de satélite es rasterizado (“raster”). De la misma forma, en una comparación más profunda, en cuanto a ventajas e inconvenientes, podemos resaltar:

1. Una sola imagen LANDSAT cubre todo el término municipal de Guadalajara, mientras que para cubrir el mismo ámbito de aplicación, con fotografías aéreas, son necesarios un gran número de *contactos*, dependiendo del denominador de la escala.
2. La disponibilidad de imágenes de satélite de forma periódica hace más dinámicos y naturales los estudios relacionados con fenómenos de evolución y transformación del espacio.
3. Las escalas de trabajo son numerosas y mayores, si se utilizan las fotografías aéreas (hasta la disponibilidad de imágenes de mayor resolución espacial, 1 o 2 metros).
4. La clasificación digital de espacios urbanos ahorra mucho trabajo de fotointerpretación y trabajo de campo con la utilización de imágenes de satélite; pero existen dificultades al clasificar automáticamente estos espacios debido a la gran variedad de respuestas espectrales existentes en el casco urbano de la ciudad.

La imagen utilizada en nuestro trabajo (figura 10) para el análisis territorial se ha realizado a partir de una serie de escenas del sensor pancromático del satélite SPOT. Para obtener el color natural se ha mezclado informáticamente con las bandas visibles del satélite LANDSAT. La familia de satélites denominada LANDSAT, de la serie ERTS (*Earts Resource Technollogy Satellite*), constituye el proyecto de teledetección espacial más prestigioso desarrollado hasta el momento. La fecha de adquisición de la imagen presentada en este trabajo es del primer semestre del año 2004. Sobre la imagen se ha insertado la cartografía y Plan de Ordenación Municipal vigente de Guadalajara, con todos los instrumentos de planeamiento y Alternativas Técnicas presentadas hasta esa fecha. Para

la rectificación se ha utilizado la cartografía 1:5000 de los municipios que componen el Corredor del Henares de Guadalajara, la cartografía del Ayuntamiento de Guadalajara, y un modelo digital del terreno con paso de malla de 10 x 10 metros.

Figura 10. Imagen de satélite de Guadalajara y entorno.



Fuente: Sección de Cartografía del Ayuntamiento de Guadalajara

3.6. La relación de la Base de Datos Gráfica con la Base de Datos Alfanumérica

Los datos relativos al territorio son los que tienen una mayor incidencia en el análisis de la ordenación urbana. La ubicación geográfica de esos datos exige la disponibilidad de un sistema que permita su tratamiento espacial.

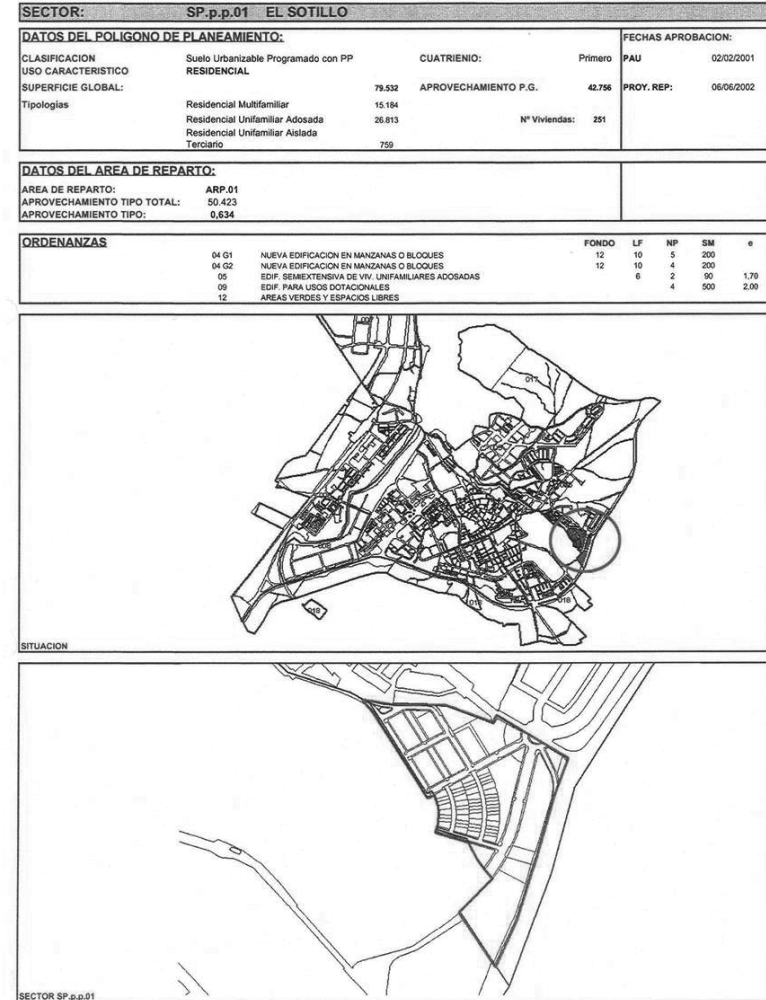
El desarrollo actual de la informática, tanto a nivel de procesadores terminales como de programas, ha propiciado la implantación de bases de datos de información territorial (Bosque, 1997). La filosofía básica de un sistema de información territorial reside en la unidad e inamovilidad del

territorio (Lanero, 2001). Del conjunto de datos geográficos disponibles de un territorio, por un lado, se dispone de datos gráficos y por otro de datos alfanuméricos; la conjunción de los dos en un sistema informático es lo que denominamos base de datos relacionales en un sistema territorial o Sistema de Información Geográfica (SIG). (Bosque Sendra, J. y García, R.C., 2000). Si la cartografía es elemento importante en el Sistema de Información Geográfica, no lo es menos la información alfanumérica, cuyo contenido no tiene límite físico. La elaboración y la relación de estas bases de datos gráfica y alfanumérica es imprescindible para el análisis de planificación territorial.

El desarrollo de la base de datos gráfica se realiza siguiendo todas las condiciones que vengan impuestas desde la fase de diseño: elementos u objetos a considerar para la obtención de la representación del territorio antiguo y real, precisiones, sistema de referencia, resolución, estructura de almacenamiento, número de dígitos, organización en ficheros, directorios por hojas, etc.

Para ello, se ha contado con cualquiera de los métodos existentes para la generación de BD gráficas: digitalización, captura directa de datos - taquimetría, GPS, restitución numérica, conversión e integración de ficheros ya existentes, etc. El desarrollo de la Base de Datos alfanumérica consiste en la cumplimentación de todos aquellos campos de las tablas sobre los cuales se disponga de información fidedigna y convenientemente chequeada. En la Base de Datos relacionada que nos proporciona como herramienta el Sistema de Información Geográfica, los datos alfanuméricos y los datos gráficos se gestionan de manera conjunta. En el proyecto ejecutado los datos alfanuméricos que se han incorporado al sistema son los que refleja el Plan de Ordenación de Guadalajara del año 2000 en todas las áreas de expansión prevista. Son éstos, los sectores de suelo programado (S. P.) y las unidades de ejecución (U.E.), que recogen aquéllos parámetros urbanísticos con incidencia en la evolución espacial, como lo son: la extensión superficial de cada uno de los sectores que participan en esa evolución, crecimiento y ocupación, la edificabilidad otorgada a cada uno de ellos, la clasificación y calificación del suelo, ya fuera residencial, terciario o industrial, el uso, la tipología de vivienda y aprovechamiento o las zonas verdes. Como ejemplo se incorpora la ficha urbanística correspondiente al sector SP p p 01 situado en el Paraje El Sotillo de Guadalajara (Figura 11).

Figura 11. Ficha urbanística con incorporación de la base gráfica y alfanumérica relacionadas.

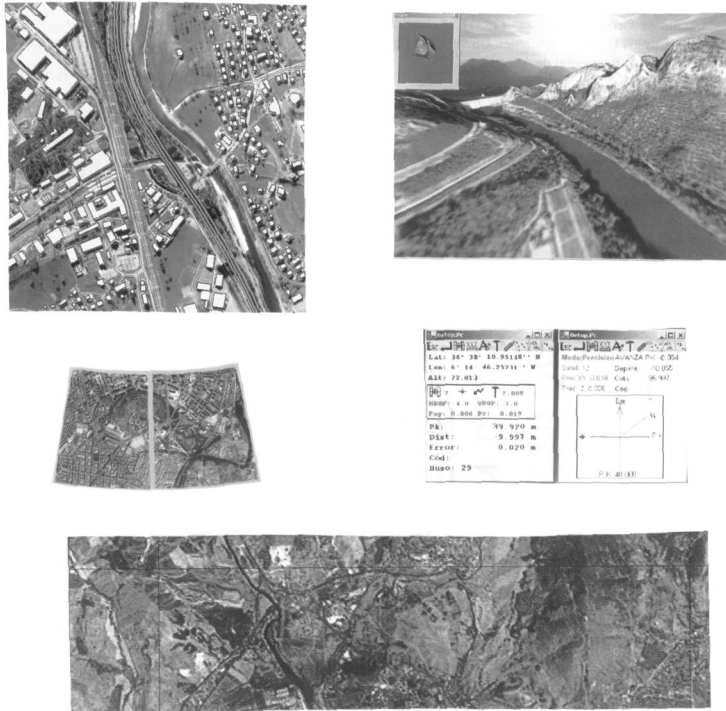


Elaboración propia.

El desarrollo experimentado por las fuentes de información metodológicas que nos proporcionan las vistas o fotografías aéreas oblicuas, la cartografía, la topografía, la fotogrametría, las imágenes de satélite, los Modelos Digitales del Terreno y el auge de técnicas que permite el análisis

y gestión de las bases de datos relacionadas, utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica (figura 12) son técnicas que nos permiten estudios profundos para la planificación de un territorio, elección de su modelo territorial y su desarrollo.

Figura 12. Técnicas utilizadas en la metodología cartográfica.



Elaboración propia

3.7. Red Topográfica-Geodésica de Guadalajara

De otra parte, la geodesia nos proporciona la red básica de apoyo de los elementos reflejados en la cartografía que va a ser utilizada en la planificación territorial, y asimismo nos posibilita el perfecto encaje de futuros desarrollos urbanísticos, como ya se comentó anteriormente. El establecimiento de la Red Geodésica de Guadalajara se hizo con la ayuda de un instrumental de última generación que recoge una serie de ventajas sobre los convencionales.

Partiendo de esta Red se ha obtenido con la precisión que nos ofrece la tecnología actual, una cartografía precisa que además se utilizó como base tanto para la ejecución de la cartografía como para insertar posteriormente los desarrollos urbanísticos del Plan de Ordenación del año 2000 de la Ciudad de Guadalajara.

El Proyecto partió de la Red Geodésica Nacional de España. Desde los vértices geodésicos más cercanos pertenecientes a la red Regente se dotaron de coordenadas a vértices que envuelven la Ciudad de Guadalajara y que sirvieron como arranque de coordenadas para el resto del estudio realizado. Sirva como ejemplo el vértice que se muestra en la figura 13.

La red Regente está formada por una serie de vértices geodésicos (uno o dos por cada hoja del MTN50) observados mediante técnicas GPS por el Instituto Geográfico Nacional. Así, estos vértices gozan de coordenadas en dos sistemas diferentes: el ED50 (European Datum 1950) y el WGS84 (World Geodetic System 1984). Entre estos dos sistemas de coordenadas se puede realizar una transformación tridimensional de Helmert. Con esta transformación, y con los observables GPS se han obtenido las coordenadas de partida del Proyecto.

Figura 13. Receptor GPS estacionado sobre vértice ubicado en Glorieta de Alcorlo de Guadalajara.



Elaboración propia

Figura 14. En primer término, la estación fija de referencia. Al fondo el campanario de la fachada principal del Ayuntamiento de Guadalajara



Además, el Ayuntamiento de Guadalajara, quiso adelantarse al contenido del Real Decreto 1071/2007 sobre cartografía, que regula el sistema geodésico de referencia oficial en España y ha implantado el Sistema ETRS89 en la nueva red del Municipio. Esto significa que toda la cartografía existente hasta la fecha deberá adaptarse al nuevo sistema europeo antes del día 1 de Enero de 2015. El Ayuntamiento de Guadalajara, de esta forma, pretende ser pionero en el campo de la Cartografía.

En la práctica, los GPS utilizados realizan una transformación aproximada entre el sistema actual y el antiguo. Esto acarrea los consiguientes errores de transformación y la necesidad de la constante “calibración” de mapas por parte de los usuarios antes de su carga en los receptores. Una vez se unifique el sistema de referencia para toda Europa, permitirá aumentar la precisión final de las aplicaciones al no ser necesaria ninguna transformación de coordenadas. Además en el ámbito de la topografía permitirá la conexión de cartografías oficiales de diferentes países, redes geodésicas y la utilización del nuevo sistema de posicionamiento por satélite europeo denominado Galileo. El nuevo sistema de referencia equivale al sistema GPS en plano, manteniendo las altitudes con respecto al nivel medio del mar en Alicante. GPS es el sistema operado por las fuerzas armadas de los

EEUU, si bien actualmente se han acuñado las siglas GNSS para designar los sistemas por satélites incluyendo el Glonass Ruso.

Toda la Red Topográfica del Municipio de Guadalajara se encuentra actualmente referida a este nuevo sistema de coordenadas oficiales denominado ETRS89, mientras que la cartografía resultante está disponible en ambos sistemas.

El adelanto de los procesos de transformación de la cartografía municipal va a permitir al Ayuntamiento desarrollar las labores administrativas, catastrales, fiscales y urbanísticas sobre el nuevo sistema de referencia, facilitando la integración de los proyectos más novedosos desarrollados en el nuevo marco geodésico. En el proyecto ejecutado por el Ayuntamiento destaca el vuelo digital de todo el Término Municipal de Guadalajara. Basándose en este vuelo fotogramétrico el Ayuntamiento cuenta con cartografía a escala 1:500 del casco antiguo, a escala 1:1.000 del todo el casco urbano consolidado y de los barrios de Usanos, Valdenoches, Iriepal y Taracena, así como de la zona de expansión urbana, la zona del AVE y la urbanización “El Clavín”. A escala 1:5.000 se cuenta con cartografía de todo el término municipal.

Figura 15. Fachada principal del Ayuntamiento de Guadalajara. La flecha señala el lugar de preinstalación de la estación fija de referencia GPS.



Fuente: Elaboración propia

También se ha realizado la preinstalación y puesta en funcionamiento en pruebas, de una estación fija de referencia GPS con emisión de correcciones diferenciales mediante radio y telefonía GSM. Este vértice de referencia, dotado de un equipo de la marca Leica, se ha instalado en la terraza del Ayuntamiento de Guadalajara, junto al Departamento de Topografía y Cartografía, (figuras 14 y 15) y se ha enlazado a la red geodésica oficial a través de los vértices de la red regente más cercanos y del radio-observatorio de Yebes. Las pruebas realizadas han permitido trabajar con un GPS móvil enlazando mediante radio convencional hasta la Ronda Norte y la Urbanización “El Clavín” con precisiones de 2 cm. en tiempo real.

En las zonas donde la radio no alcanza se han realizado enlaces mediante telefonía móvil con la unidad base, alcanzando precisiones similares tanto en el páramo alcarreño (zona de la Estación del AVE), como en Usanos.

3.7.1 Instrumentos utilizados

Para la ejecución de los trabajos de campo se ha utilizado el siguiente instrumental:

- Cuatro receptores bifrecuencia ASHTECH modelos FX y Z-Surveyor, con precisión de 2 cm + 2 ppm, para el enlace con la red geodésica;
- Una estación total Leica modelo TCR-703, con medida directa de distancias sin prisma reflector, de precisión angular de 10 segundos centesimales, y longitudinal de 1 cm + 5 ppm;
- Material auxiliar diverso: trípodes, jalones y equipo de iluminación autónomo compuesto por baterías de larga duración y tubos fluorescentes.

3.7.2 Cálculo

Para el cálculo de las observaciones GPS y la obtención de los valores de las líneas base, se ha utilizado la aplicación GPPS suministrada por la casa ASHTECH. En el cálculo con GPPS, se han establecido unos criterios de actuación, de manera que se ha impuesto un ángulo mínimo de elevación de 10° para la recepción de señales de satélites, por debajo de los cuales la máscara rechazará automáticamente la información recibida de los mismos.

Además se ha fijado en 10 las iteraciones máximas a realizar en el cálculo, junto con un criterio de convergencia de 0,01. Cuando los parámetros estadísticos del cálculo han indicado que la determinación de la observación no es aceptable, se ha optado por omitir aquellos satélites que han mostrado peores resultados. Una vez obtenidos estos valores y en función de las coordenadas de los puntos fijos, se realizó, con la aplicación informática **GPSRED**, una compensación de las observaciones por el método de mínimos cuadrados. Para referir las observaciones GPS al sistema oficial ED-50 la aplicación GPSRED transforma las coordenadas UTM conocidas de los vértices geodésicos (x, y) a geográficas (ω , λ), determinando también el coeficiente de anamorfosis lineal y la convergencia de meridianos en los puntos a transformar. A continuación determina la ondulación del geoide N de los puntos mediante una interpolación polinómica de una carta propia del geoide elaborada para España, Portugal, Islas Baleares y Canarias respecto del sistema geodésico ED-50, determinándose la altitud sobre el elipsoide h, de la forma: $h = H + N$. Se obtienen así las coordenadas (ω , λ , h) de los puntos de la red geodésica. Luego transforma las coordenadas geodésicas (ω , λ , h) a coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en el sistema geodésico local ED-50.

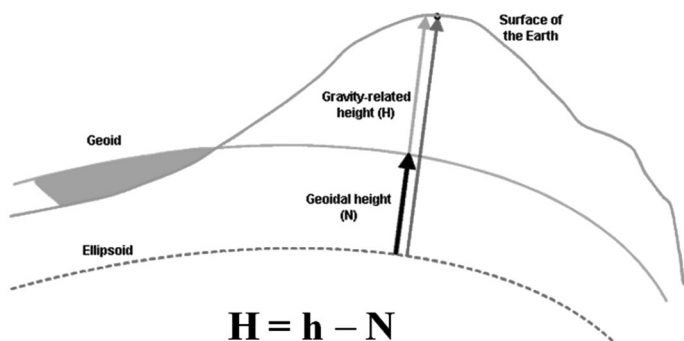
La aplicación, al determinar los vértices geodésicos por su número, calcula las diferencias de coordenadas cartesianas en el sistema ED-50.

$$(DX, DY, DZ)^{ED-50}$$

Una vez obtenidos estos incrementos y con los resultantes de la observación en campo en el sistema WGS 84 se determinan los parámetros de transformación y escala de una transformación de Helmert tridimensional que relaciona ambos sistemas de referencia. Para ello utiliza el método de mínimos cuadrados para la determinación de los parámetros óptimos de transformación realizando el w-test de Baarda sobre los residuos tipificados para la detección de errores groseros, obteniéndose así las coordenadas (ω , λ , h) de los puntos de la red geodésica. De esta manera transforma las líneas-base al sistema geodésico de referencia ED-50 mediante la aplicación de los parámetros de transformación estimados. Con estas líneas-base transformadas la aplicación calcula coordenadas cartesianas (X, Y, Z) de todos los puntos observados, tomando como puntos de arranque los vértices geodésicos.

Al tener ya coordenadas cartesianas en ED-50 el programa puede realizar una transformación de éstas coordenadas en coordenadas geodésicas (ω, λ, h), transformando a continuación las altitudes sobre el elipsoide h en altitudes sobre el geode H , mediante la expresión $H=h-N$ (ver figura 16), con una precisión de 1 p.p.m.

Figura 16. Relación entre la altura ortométrica (H) y elipsoidal (h) en la ondulación del geode (N).



Finalmente, la aplicación transforma las coordenadas geodésicas (ω, λ, H) en coordenadas UTM (X, Y, H) y realiza una compensación por mínimos cuadrados de las observaciones realizadas, efectuando para ello un ajuste diferenciado entre la altimetría y la planimetría.

El error mediocadrático establecido en la compensación planimétrica fue de 0.01 metros y 5 ppm. Para las distancias GPS y 0.01 m. y 5 segundos centesimales para las direcciones; mientras que se estableció un error kilométrico de 0.02 metros y un error a priori de la misma magnitud para la compensación altimétrica.

Para el cálculo de las poligonales se ha empleado el paquete informático GEORED: este es un sistema lógico para el cálculo, diseño, ajuste y análisis de redes geodésicas y topográficas, basado en técnicas de estimación mínimos cuadrados y sistemas gráficos, y destinado a cubrir las necesidades actuales en el proyecto y ajuste de redes, con la incorporación de modernos métodos estadísticos que permiten efectuar, de forma

rigurosa, el control de calidad y análisis de la precisión y fiabilidad de los trabajos geodésicos y topográficos. Consta de ocho módulos, que permiten el tratamiento y compensación de redes planimétricas sobre la superficie de referencia (geoide o elipsoide), redes de nivelación geométrica y trigonométrica, proyecto y diseño de redes con la aplicación de técnicas de simulación y optimización, que determinan parámetros de precisión y fiabilidad de acuerdo a configuraciones establecidas a priori.

El ajuste de las redes observadas conlleva la posibilidad de obtener una solución única que cumple ciertos requisitos geométricos y de optimización, con la posibilidad de introducir en un cálculo único todas las observaciones efectuadas en campo y el correspondiente control de calidad (detección de errores groseros y deficiencias de configuración).

Resultados: El hecho de haber referenciado la cartografía del Plan de Ordenación Municipal a Red Topográfica implantada en su territorio ha propiciado que los resultados alcanzados sean altamente satisfactorios, tanto en la ejecución de la ordenación como en la fase de su desarrollo. El control geométrico y encaje en el “puzle” territorial de las obras infraestructurales realizadas en los sectores urbanísticos no hubiera podido llevarse a efecto sin la existencia de la Red.

4. Red GPS Tegucigalpa

4.1. Consideraciones previas

De la misma forma y como fase inicial para la planificación territorial de Tegucigalpa, se quiere establecer una red geodésica mediante tecnologías GPS y enlace con las redes de referencia oficial de Centroamérica que sirva como base de apoyo geodésico y topográfico, y que de servicio a todos los usuarios del GPS. Se pretende en primera instancia que al menos un vértice de esta red sirva para establecer en un futuro cercano una red GPS a nivel Nacional enlazada con las redes nacionales colindantes.

Tegucigalpa es la capital de Honduras y la ciudad más grande del país. Ubicada al pie del cerro El Picacho (1240 msnm) en una cuenca formada por el río Grande o Choluteca, a unos 990 msnm. Su población estimada para el 2006 es de 1.250.000 habitantes. Junto con Comayagüela, constituye la capital de Honduras. Mientras Tegucigalpa se encuentra a la margen derecha del río Grande o Choluteca, Comayagüela está en el

sector occidental de la ciudad y próxima al aeropuerto. Ambas ciudades se localizan en el municipio del Distrito Central, sede constitucional del Gobierno de la República de Honduras.

Honduras y, más en concreto, su capital la ciudad de Tegucigalpa, no cuenta con una red geodésica fijada mediante el uso del GPS, siendo este recurso vital para el desarrollo económico de cualquier región, ya que éste es de vital importancia no solo para la elaboración y actualización de cartografía de todo tipo, sino también en la gestión y ordenamiento del territorio, así como en diferentes aplicaciones tales como: Geodesia, Geodinámica y Astronomía, Topografía, Fotogrametría, Teledetección, Cartografía y SIG. No obstante, en el año 1999 y de acuerdo al programa de reconstrucción en América Central originado por el Huracán Mitch, el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos de América (NGS) se encargó de desarrollar un marco geodésico con precisión adecuada para la navegación terrestre, marítima y aérea; trabajos de cartografía y topografía; catálogo o inventario de recursos naturales; operaciones de socorro en todo tipo de desastres; levantamientos de ingeniería y catastro; y aplicaciones del Sistemas de Información Geográfica (SIG) (<http://www.ngs.noaa.gov/PROJECTS/Mitch/plan112399.htm>).

Para ejecutar el Proyecto, y como paso previo, se deberá determinar el sistema de referencia más adecuado para el cálculo de la Red de Alta Precisión del Término Municipal de Tegucigalpa, enlazando con el vértice TEGU de la red SIRGAS2000, coordenadas ITRF2000:

HONDURAS						
Estación	X [m]	sigma [m]	Y [m]	sigma [m]	Z [m]	sigma [m]
TEGU	301697,362	0,001	-6181025,101	0,003	1542919,857	0,001

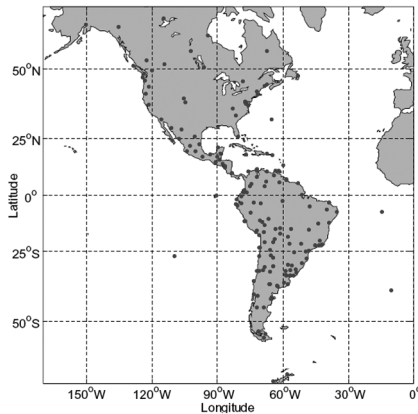
4.2. Sistema de Referencia

En principio, parece aconsejable utilizar el sistema de referencia SIRGAS2000, que es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Su definición corresponde con el Sistema Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRS: International Terrestrial Reference System) y su realización es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRF: International Terrestrial Reference Frame).

SIRGAS se inició en la Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur celebrada en Asunción, Paraguay, en 1993. Esta Conferencia fue convocada y patrocinada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), actualmente, National Geospatial-Intelligence Agency (NGA).

Figura 17. Estaciones ocupadas durante la Campaña SIRGAS 2000 GPS

**Estaciones ocupadas durante la Campaña
SIRGAS 2000 GPS (184 en total)**



El nombre inicial de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) fue cambiado en febrero de 2001 a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas por la recomendación de la Organización de las Naciones Unidas en su Séptima Conferencia Cartográfica de las Américas (Nueva York, enero 22 al 26 de 2001) sobre la adopción de SIRGAS como sistema de referencia oficial en todos los países de las Américas. Además SIRGAS participa en la Comisión 1 (Reference Frames) de la IAG, a través de la Subcomisión 1.3 (Regional Reference Frames) como responsable del Marco de Referencia Regional para Sur y Centro América. SIRGAS es la base para el desarrollo de proyectos comprometidos con la generación y utilización de información georreferenciada en la región, a nivel nacional e internacional. Además de proveer las coordenadas de

referencia para aplicaciones prácticas como proyectos de ingeniería, administración digital de información geográfica, infraestructuras de datos espaciales, etc., SIRGAS es la plataforma para una variedad amplia de aplicaciones científicas como observación de deformaciones de la corteza terrestre, movimientos verticales, variación del nivel del mar, estudios atmosféricos, etc. Su definición es idéntica a la definición del Sistema Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRS: International Terrestrial Reference System). Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época, son compatibles en el nivel milimétrico.

El datum geodésico SIRGAS está definido por el origen, la orientación y la escala del sistema SIRGAS. Éste, en combinación con los parámetros del elipsoide GRS80, permite la conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas.

ElipsoideGRS80

$a_{GRS80} = 6378137 \text{ m}$ (= a_{WGS84})

$f_{GRS80} = 1/298.257222101$ ($f_{WGS84} = 1/298.257223563$)

Época de referencia 2000

En definitiva y como consideraciones finales,

- El Proyecto SIRGAS comprende todas las actividades necesarias para establecer un marco de referencia moderno en el continente, compatible con las más precisas técnicas de posicionamiento actualmente disponibles.
- La adopción de un preciso y unificado marco de referencia en el continente constituye el premier paso para garantizar una infraestructura de datos espaciales consistente entre los países miembros.
- Actualmente WGS84 puede ser considerado coincidente con SIRGAS 2000. Los resultados obtenidos con GPS están automáticamente referidos a SIRGAS 2000.

- Las actividades de SIRGAS se desarrollan también en el marco de la Comisión 1 (Marcos de Referencia) y Subcomisión 1.3b (América Central y del Sur) de la AIG.

Figura 18. Estado de adopción de SIRGAS en América

Estado de adopción de SIRGAS en América				
País	Sistema de Referencia Geodésico	Datum	Época de Referencia	Adoptará SIRGAS ?
Argentina	POSGAR 94	WGS84	1993.8	Sí
Bolivia		SIRGAS95	1995.4	Adoptado
Brazil	SIRGAS2000	SIRGAS2000	2000.4	Adoptado
Canada	NAD83 CSRS			Compatible
Chile	SIRGA/CHILE	SIRGAS2000	2002.0	Adoptado
Colombia	MAGNA/SIRGAS	SIRGAS95	1995.4	Adoptado
Costa Rica	NAD27			Sí
Ecuador	SIRGAS95	SIRGAS95	1995.4	Adoptado
El Salvador	NAD27/ITRF97		1998.9	Sí
Mexico	ITRF2000		2004.0	Compatible
Uruguay	SIRGAS ROU 98	SIRGAS95	1995.4	Adoptado
Venezuela	SIRGAS/REGVEN	SIRGAS95	1995.4	Adoptado

(Fuente: Página web: <http://www.ibge.gov.br/sirgas>)

4.3. Metodología de trabajo

Uno de los objetivos más importantes de la Geodesia es la de establecer, densificar, ligar y analizar redes de posicionamiento geodésico. Por lo tanto uno de los problemas importantes que se tiene es la proyección de dichas redes, ya que estas deben de cumplir ciertas características o requerimientos, como son, por ejemplo, de precisión, confiabilidad y robustez, estos aspectos definen la calidad de una red geodésica.

Como en toda construcción de una red geodésica, ya sea con métodos clásicos o modernos (GPS), es necesario llevar una secuencia operativa que garantice que las metodologías, trabajo de campo y el procesamiento de las mediciones cumplan con los requerimientos de precisión exigidos en los documentos que norman los trabajos geodésicos. En este sentido, todo proyecto para la construcción de una red geodésica debe incluir al menos las siguientes etapas: anteproyecto, reconocimiento y proyecto definitivo, monumentación, observaciones de campo, procesamiento de las mediciones y memoria técnica final.

Se tendrá en cuenta las normas técnicas para mediciones geodésicas clásicas y GPS. El objetivo principal de la Red-GPS-Tegu es el de disponer de un apoyo geodésico de referencia local, aunque pensando a futuro en una red GPS a nivel Nacional. Se engloba en el “Orden B, Clase Única” que deben satisfacer precisiones no menores de 1:1,000,000. Dentro de este marco técnico se elabora el proyecto de la red geodésica GPS para el área metropolitana de Tegucigalpa, el cual se realizará bajo la siguiente metodología.

4.3.1 Anteproyecto

En primer lugar es necesario realizar un anteproyecto de la red GPS sobre material cartográfico existente de la zona, en donde con ayuda de conocedores del lugar se sitúan los vértices GPS, tratando de que éstos cumplan con una configuración geométrica adecuada; que la distancia entre vértices sea homogénea, que los vértices estén ubicados en zonas de fácil acceso y con un horizonte que se encuentre lo mínimo posible obstruido, en zonas con la menor interferencia posible de líneas de alta tensión, edificios, muros, en zonas geológicamente estables, etc.

4.3.2. Reconocimiento del terreno, guías y reseñas

Una vez diseñada la red GPS se llevará a cabo un reconocimiento de campo con la finalidad de verificar los vértices colocados sobre la cartografía. En esta etapa se verifica la idoneidad de la ubicación de los vértices, y de no resultar el mejor sitio para su construcción se buscaran en el terreno alternativas para su mejor ubicación. El criterio seguido para el establecimiento de los vértices GPS estará basado en una distribución geométrica apropiada para asegurar el cubrimiento local, de modo que cualquier punto ubicado dentro de la zona metropolitana de Tegucigalpa cuente con la información de cuanto menos 2 estaciones de la Red. Para tales efectos, se determinó un radio de cubrimiento de 3 km por estación. De este modo la red GPS tendrá entre 15 a 20 puntos.

Un vez que se tenga el proyecto definitivo de la red GPS se procede a la construcción física de los vértices, para lo cual se requiere un tipo de señal permanente, estable y de alta calidad.

4.3.3 Clasificación y monumentación

En este sentido se tiene pensado establecer dos tipos de monumentos según la ubicación del vértice: uno sobre el suelo, el cual deberá de quedar anclado al suelo a una profundidad tanto como sea posible, y otro sobre edificios, que deberá fijarse sobre su estructura principal. Generalmente, y cuando sea aplicable, el diseño de los monumentos para la red se ajustará a las recomendaciones descritas en el documento interno del NGS (National Geodesia Survey of USA), así como a las normativas del Instituto Geografía de España y del INEGI de México.

Red en suelo rústico: Esta Red estará enlazada directamente con los vértices geodésicos de los términos municipales colindantes, y además, mediante observaciones directas o indirectas con la red de suelo urbano, entrando en el ajuste por mínimos cuadrados de la completa del municipio. La precisión de los vértices de la red será la misma que la urbana, variando su monumentación y densificación.

Red en suelo urbano: Se tendrá en consideración las especificaciones y recomendaciones para las bases de estación GPS, sobre todo en lo referente a ocultación, interferencias, etc. La monumentación de este tipo de señal no permitirá la observación mediante centrado forzado, por lo que se deberá observar mediante jalones nivelados y estacionados mediante trípodes, y otros accesorios que garanticen el perfecto centrado.

Una vez realizada la construcción física de los vértices, se procede a las observaciones de campo.

4.3.4. Observación

Aquí se tomarán en cuenta algunas consideraciones: Por un lado, al medir la red se formaran figuras cerradas y se contará con puntos de control GPS en modo estático; por otro lado, como norma general, y con la finalidad de tener buenas observaciones de campo, se tomaran en cuenta las siguientes consideraciones: cada estación estará directamente conectada con al menos otras dos estaciones de la red; las estaciones adyacentes estarán directamente conectadas; cada estación deberá estar ocupada por lo menos dos veces bajo condiciones diferentes de configuración satelital; entre otras de menor importancia. Siempre la planeación de las observaciones se realizará en conformidad con las normas que caracterizan la medición de redes GPS de "Orden B".

Figura 19. Estimación de la muestra recibida por receptores en Centroamérica.



Fuente. <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>

Una vez realizada la planeación de las observaciones se procede a tomar las mediciones satelitales en campo, siempre regidos en el programa de observaciones elaborado. En este sentido es necesario definir el método de observación bajo el cual se medirán los vectores satelitales. En este sentido se pretende, previo a la medición de la Red-GPS-Tegu, y con la combinación de posicionamiento estático y diferencial dar coordenadas a una línea base. Dicha base formará parte de la red, se puede adelantar que estos dos vértices de apoyo estarán ubicados: uno en el Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGNH) y otro en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa en la UNAH. Como se comentó previamente, el vértice del IGNH forma parte de la red GPS CORS, sin embargo en la actualidad no está en funcionamiento. Se intentará ligar la línea base a vértices de la Red GPS CORS, la cual tiene vértices distribuidos en Centro América.

Para lograr una precisión no menor a 1:1,000,000 en estos vértices se realizarán sesiones de observación con las siguientes características: mediciones utilizando receptores GPS de dos frecuencias capaces de observar ciclos completos en L2, antenas montadas en monumentos de centradros forzoso, observación durante tres sesiones de 6 horas, una de ellas

desfasada en 4 horas, utilización de las estaciones CORS o las del INEGI como referencia, esto si es posible, entre otras.

Una vez geoposicionada la base se tomará a uno de estos vértices, por ejemplo el del IGNH, como de apoyo para de modo relativo dar coordenadas al otro vértice de la base (UNAH), con esto se alcanzarán precisiones relativas elevadas. Estos dos vértices se tomarán como de apoyo para medir los demás vértices de la red. Cuando se realice las mediciones GPS, siempre en estos dos vértices estarán en modo estático con receptores GPS mientras se realizan sesiones con al menos otros dos receptores GPS en el resto de los vértices de la red.

Para una red de “orden B”, como es el caso, se deberán realizar observaciones simultáneas de al menos tres equipos de doble frecuencia con un mínimo de dos sesiones y tiempos de observación de 2-3 horas. No obstante, se incorporarán todas las observaciones procedentes de la estación TEGU, así como un cuarto equipo estacionado de forma permanente sobre uno de los vértices de la línea base inicial (Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa – Instituto Geográfico Nacional de Honduras). De esta forma, se estará trabajando simultáneamente con la información procedente de cinco equipos, tomando datos para la medida interna de la red, y la conexión de cada uno de los puntos con el sistema de referencia expuesto.

Se observará con un mínimo de tres receptores simultáneamente y con la siguiente disposición, dos de los receptores se estacionarán en los dos vértices de la red de suelo más próximos y el tercero se irá moviendo. Sería deseable que el número de receptores aumentase a cuatro y fueran dos los que se consideraran móviles.

- Número mínimo de receptores simultáneos en observación: Tres (Cuatro recomendable)
- Metodología de observación: Estático relativo.
- Número de líneas base a cada vértice: Tres.
- Tiempo mínimo de las sesiones de observación: Receptor bifrecuencia, más de 150 minutos (Dos horas y media). No se permite el uso de receptores monofrecuencia.
- Número de sesiones de observación por vértice: Dos.
- GDOP máximo en las sesiones: Cinco.

- Desviación típica de los receptores: $\sigma = \pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ en líneas de 20 km.

Principalmente, en el procesamiento de las mediciones GPS para poder definir la calidad de la red, en la mayoría de las veces se realizará una comparación entre las precisiones obtenidas y la precisión requerida, y en base a ello se definirán si la calidad es buena o mala. Otro aspecto que puede considerarse es el estudio o análisis de las elipses de error que se determinan en cada uno de los parámetros definidos, en el examen de los residuales obtenidos y además debe considerarse el estudio de la varianza de las observaciones.

En base a lo anterior, podemos decir que un aspecto básico en el estudio de redes geodésicas es el estudio de los errores de observación, los cuales afectan a las mediciones y caracterizan o definen la calidad de la red. Como sabemos, cualquiera que sea el origen de las observaciones, siempre contendrá errores; debido a esto es necesario realizar ajustes a dichas observaciones para poder definir los parámetros finales. Un objetivo importante es la eliminación de todos los errores posibles y que los restantes no tengan un efecto significativo sobre los parámetros a determinar.

4.3.5. Cálculo y ajuste

Observaciones GPS:

Se deberán calcular las líneas base, y solo se podrán emplear aquellas en las que se hayan resuelto satisfactoriamente las ambigüedades. En el caso de que alguna señal de la red principal de suelo urbano no tuviera comprobación, esto podría suceder si se hubiera observado con las condiciones mínimas y una de las dos líneas no se pudiera resolver, se tendría que observar desde otra estación con la metodología que se estime oportuna, nuevamente con receptores GPS o bien mediante observaciones angulares y de distancia.

Una vez obtenidas todas las longitudes o líneas-base se procederá a realizar un ajuste mediante mínimos cuadrados, y aquí se puede realizar dicho ajuste de tres formas:

- a. Primero se ajuste la red en suelo rústico, considerando fijos los vértices de la línea base inicial o aquellos enlazados directamente y a través de observaciones especiales con estas;

- b. Posteriormente se procederá a ajustar la red principal de urbana manteniendo como vértices fijos la red de suelo rústico y los dos vértices de la línea base (Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa – Instituto Geográfico Nacional de Honduras)
- c. Una vez realizados los dos ajustes se procederá a realizar un tercer ajuste ponderando las dos redes con las desviaciones obtenidas en los ajuste iniciales y dejando como puntos fijos los vértices de la línea base inicial.

- Red observada con medida de ángulos y distancias:

El método que se utilizará para la observación de los itinerarios urbanos, será mediante centrado forzado, en el cual de la medida de los ejes se realizará de forma directa y recíproca, realizándose observaciones angulares acimutales y cenitales, aplicando la regla Bessel en todas las vueltas de horizonte. Se observará angularmente al pararrayos de la catedral, desde aquellas estaciones de las poligonales que sea visible.

Con independencia de cómo haya sido observada la Red en suelo rústico, la red principal de itinerarios en suelo urbano se deberá ajustar como a continuación de específica, si ha sido observada mediante técnicas clásicas de topografía, medida de ángulos y de distancias. Se podrá calcular en la proyección UTM, esto es, en coordenadas rectangulares planas, sin tener que reducir las observaciones angulares y de distancias al elipsoide que corresponda. Para efectos de planimetría se considerarán fijos todos los vértices de la Red en suelo rústico, y sobre los cuales se realizarán los cierres de los itinerarios. Se diferenciará el cálculo planimétrico del altimétrico, puesto que las redes donde se sustentan geoméricamente son distintas. En el cálculo planimétrico de la red principal urbana, se deberá ajustar mediante mínimos cuadrados, aunque previamente se deberá analizar independientemente cada uno de los itinerarios, comprobando la bondad de los cierres angulares y de coordenadas de cada uno de ellos. La tolerancia angular que deberá cumplir viene determinada por la fórmula:

- $T = \sigma \sqrt{2N}$ siendo N, el número de estaciones de la poligonal y “ σ ” la desviación típica en la medida angular acimutal α .

Una vez comprobada la tolerancia angular de todos los itinerarios se verificará la correspondiente al cierre en coordenadas planimétricas. Cualquier itinerario con independencia de ser tolerable su cierre planimétrico y del número de sus ejes, el error máximo en cada estación del itinerario no deberá rebasar el valor máximo prefijado, $\sigma_{xy} = \pm(0,040 \text{ m})$.

A continuación se procederá a realizar un ajuste en bloque mediante mínimos cuadrados, realizando con posterioridad un test estadístico de detección de errores groseros. Lógicamente las precisiones de todos los puntos de la red ajustada se mantendrán por encima de los 0,04 m en planimetría. El ajuste mediante mínimos cuadrados se realizará siguiendo el modelo estocástico, donde los criterios de pesos serán inversamente proporcionales a las varianzas de las observaciones.

4.3.6 Precisiones y memoria final

La metodología y el instrumental a emplear serán los anteriormente detallados, siempre y cuando se garanticen las precisiones que a continuación se citan, de no ser así se deberán modificar cualquiera de las dos variables hasta conseguir las mencionadas desviaciones típicas.

Desviación típica planimétrica de cualquier estación de la red principal: $\sigma_{xy} = \pm(0,040 \text{ m})$.

Desviación típica altimétrica de cualquier estación de la red principal: $\sigma_z = \pm(0,050 \text{ m})$.

Con independencia del tipo de receptor utilizado, el GDOP de las sesiones no deberá superar nunca el valor 5 y la precisión de los receptores serán de 5 mm. $\pm 1 \text{ pmm}$ en medidas de longitud de 20 km. En el caso de observaciones por topografía clásica, al comienzo y al final de los itinerarios se orientará con un mínimo de tres visuales, y la desviación típica de la media no deberá ser superior a 1,2 mgon.

Finalmente, se redactará una memoria técnica final, en la cual se mostraran la ubicación y coordenadas de los vértices, así como las precisiones obtenidas.

4.4. Impacto del proyecto para la Cooperación española

El proyecto presentado se integra en las actividades del Programa de Cooperación de la Universidad de Alcalá con Centroamérica, que cuenta con una larga trayectoria de actividades y que ha demostrado su capacidad de crear vínculos y contactos estrechos entre centros universitarios de España y Centroamérica. De este modo, se mejorará la relación entre la Universidad de Alcalá y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), integrándola en el programa general de cooperación con Centroamérica y permitiendo su relación con otros centros universitarios de esa región: el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), la Universidad de El Salvador (UES) y la Universidad Autónoma de Sinaloa, México (UAS).

4.5. Adecuación de los recursos a los objetivos

La UNAH cuenta con un plantel de profesores especialistas en los temas de las TIG, y más en concreto de la Topografía y de la Geodesia, que pueden cubrir las necesidades de medición y establecimiento de la red de puntos geodésicos. Igualmente la participación de profesores de otras Universidades latinoamericanas ayudará a mejorar las relaciones entre estos centros docentes y podrá facilitar la más segura realización de los objetivos del proyecto.

Dentro del Convenio de Cooperación Internacional suscrito por los Rectores de la Universidad de Alcalá y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y al considerarse el Proyecto presentado de interés por la Dirección del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa de la Universidad Autónoma de Honduras (OACS/UNAH), se cuenta con el aval de compromiso de la financiación, con el presupuesto del OACS/UNAH del año 2009, de la partida 12900.01, Servicios de Profesionales y Técnicos, de 8 profesores visitantes provenientes de España y los países latinoamericanos que colaboren en las fases expuestas del proyecto. Asimismo, la Dirección General de Catastro y Geografía de Honduras, a través del Instituto de la Propiedad, se ha comprometido a:

- Realizar un diseño optimizado de la Red a Observar de forma que se tenga un recubrimiento completo del territorio a estudiar.

- Hacer la monumentación de aquéllos puntos que fueran necesarios, así como una reseña completa de todos los puntos intervinientes en el proyecto.
- Efectuar la observación en los puntos de la Red con técnicos GPS. Los equipos GPS y el personal para la observación serán aquéllos de los que dispone la Gerencia de Geodesia del Instituto de la Propiedad.
- Ejecutar el cálculo y compensación con las observaciones realizadas.
- Puesta a disposición de personal técnico del Instituto de la Propiedad, material, equipos de medición, hardware y software.

Es de resaltar el compromiso asumido por parte del Director de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México, para participar en el Proyecto a través de los Profesores especialistas en Geodesia y GPS.

5. Bibliografía

- Aldo, R. (1995). La arquitectura de la ciudad. Barcelona. Editorial Gustavo Gili, S.A.
- Bosque, J. (1997). Sistemas de Información geográfica. 451 p. 2º edición corregida. Madrid: RIALP.
- Bosque, J., García, R.C. (2000). “El Uso de los SIG en la planificación territorial”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. España.
- Chueca, F. (1998). Breve historia del urbanismo. Madrid: Alianza Editorial.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ª edición. Madrid: RIALP S.A.
- Cundari, C. (1983). Teoría Della rappresentazione dello spazio architettonico. USA: Ed. Kappa.
- Estébanez, J. (1988). En VVAA. Geografía Humana. Madrid: Cátedra. S.A
- Felicísimo, A.M. (1994). Modelos Digitales del Terreno. España: Pentalfa, Oviedo.

- Lanero, A. (2001). “La gestión informatizada de las bases de datos corporativas y su integración en un S.I.G.”. Proyecto de Publicación en WEB. Libro de actas de Jornadas Técnicas sobre Topografía, Cartografía, Fotogrametría, Geodesia y Teledetección. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones.
- Long, G. (1974-1975). *Diagnostic Phyto-Écologique et ses applications*. Paris: Masson.
- Lynyh, K. (1998). *La imagen de la Ciudad*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.
- Maza, F. (2000). Ordenación y Planificación del Sector SP pp 03 correspondiente a la revisión y adaptación del Plan General de Ordenación Urbana de Guadalajara. Trabajo Fin de Carrera de Ingeniería en Geodesia y Cartografía. Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá.
- Mc HARG (1969). *Design with nature*. New York: Double Day Naturae History Oess. 203 pp.

Recursos On-Line

- SIRGAS. Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. <http://www.ibge.gov.br/sirgas>), consultado el 01 de noviembre del 2009.
- National Geodety Survey. <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>, consultado el 01 de noviembre del 2009.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Hurricane Mitch Reconstruction. <http://www.ngs.noaa.gov/PROJECTS/Mitch/plan112399.htm>, consultado el 01 de noviembre del 2009.