

Geodesia y Cartografía en Cuba

JULIO CABRERA
QUINONES
MARCOS F.
PACHECO PÉREZ, y
PEDRO MARTÍNEZ
FERNÁNDEZ

La revista «Geodesia y Cartografía» es una publicación cubana de carácter trimestral, con una larga trayectoria profesional y divulgativa. El Organismo editor es el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, heredado del Instituto Geográfico Nacional (1948) y del Instituto Cubano de Cartografía y Catastro (1955). Creado en 1967, este Organismo es el encargado de asumir y desarrollar en Cuba las tareas del Servicio Cartográfico Nacional. Los largos años de experiencia acumulada convierten a este Instituto en un pionero de la tecnología del país, cumpliendo misiones tales como: la creación, mantenimiento y actualización de las redes geodésicas nacionales y

los mapas topográficos en sus diferentes escalas; la creación y actualización del Catastro Nacional; la realización de los trabajos de fotogrametría aplicada; la elaboración de todo tipo de obras cartográficas (atlas, guías, mapas geográficos, aeronáuticos, meteorológicos, de recursos naturales, escolares, históricos, turísticos, etc.) y el procesamiento de la información de teledetección.

«Catastro» considera de interés difundir esta labor, precisamente en el número monográfico dedicado a Latinoamérica, para lo que ha seleccionado dos de los artículos ya publicados en la mencionada revista.

Por lo que se refiere al Catastro

Nacional de la República de Cuba, simplemente señalar que se elabora a escala 1:10.000, representándose todas las parcelas superiores a 2.500 m² así como otras aún menores para las que se emplean símbolos y rótulos que señalan los usos y destinos de las tierras. En las áreas de parcelas extendidas, la escala es 1:25.000. En Cuba se está efectuando el Catastro del territorio rural correspondiente a 110 municipios, lo que constituye el 70% del territorio nacional. Se prevé su terminación para 1992. La creación y actualización de este Catastro se realiza en forma automatizada con sistemas creados por el propio Instituto de Geodesia y Cartografía.



Resultados obtenidos en la introducción de las técnicas digitales en la mapificación topográfica y catastral

En los últimos años se han producido resultados de significativa importancia en el campo de la electrónica, la óptica y la mecánica de precisión que han permitido el surgimiento de nuevas generaciones de equipos geodésicos y cartográficos, a la vez el empleo de las computadoras personales en la solución de tareas geodésicas y cartográficas se ha convertido en una práctica cotidiana. Mientras esto ocurría, en nuestro país se han incrementado anualmente las necesidades de la mapificación topográfica y catastrales, sin que hasta el presente se operaran cambios sustanciales en las tecnologías que se aplican en estas esferas de trabajo.

Por esta razón, desde finales del pasado quinquenio se ha venido trabajando en la creación de un conjunto de tecnologías sustentadas en el empleo de las posibilidades de las técnicas digitales en la mapificación topográfica y catastral, para lo cual se desarrolló el Sistema Gráfico Interactivo para la mapificación (SISGRAF), de cuyas primeras experiencias trata el presente artículo.

Concepción general del sistema SISGRAF

El proceso de introducción de las técnicas digitales en la mapificación topográfica y catastral ha sido concebido como un proceso gradual al que se le dio un fuerte impulso en el presente quinquenio.

Actualmente existe en el país un gran parque de equipos topográficos y geodésicos convencionales, se realizan trabajos fotogramétricos en todas las dependencias del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía y numerosos organismos e instituciones poseen sus propios servicios topográficos, por lo

cual todo el desarrollo tecnológico proyectado debe realizarse bajo criterios más generales.

El Sistema Gráfico Informativo SISGRAF se caracteriza por dos condiciones fundamentales, su flexibilidad y sencillez, abordando las líneas temáticas siguientes:

- Mapificación catastral.
- Levantamientos topográficos y fotogramétricos a grandes escalas.
- Levantamientos fotogramétricos terrestres.

Para la obtención de los datos se utiliza la digitalización, los registros topográficos convencionales y automatizados, los registradores de datos fotogramétricos y la información obtenida de fuentes complementarias. El procesamiento básico del sistema es realizado en computadoras personales, aunque para algunas aplicaciones se combina este tipo de procesamiento con el empleo de ordenadores de gran capacidad. Como salidas del sistema se emplean según el caso los *displays* gráficos y alfanuméricos, las impresoras de líneas y los ploteadores automáticos.

Los trabajos fueron divididos para su realización en tres etapas y se previó la obtención e introducción gradual de los resultados alcanzados.

La primera etapa ya concluida, estuvo dirigida al establecimiento de la infraestructura de trabajo necesaria para la creación del sistema, mediante la cual quedaron solucionadas las tareas siguientes:

- Solución de los enlaces físicos y lógicos del equipamiento base empleado en el sistema.
- Trazado automatizado de bases para los mapas topográficos y catastrales.
- Ploteo de puntos de forma automatizada.

La segunda etapa de trabajo se encuentra en pleno desarrollo y comprende la creación de una generación de tecnologías que utilizan las posibilidades del equipamiento informático y los modelos digitales del terreno, en combina-

ción con los instrumentos convencionales existentes en el país.

La tercera etapa se desarrollará en lo fundamental en el quinquenio 1991-1995 y comprende una profundización en el proceso de automatización de la mapificación a partir de la introducción de nuevas generaciones de medios técnicos, la introducción a escala productiva del procesamiento digital, de imágenes, los sistemas *scanner* y las técnicas de bases de datos, con la transformación de las nuevas tecnologías de sistemas CAD/CAM a sistemas informativos geográficos de amplias posibilidades.

Resultados alcanzados en el quinquenio 1986-1990

Hasta el presente se han desarrollado diferentes subsistemas de los que comprende el sistema SISGRAF que han pasado de inmediato a su explotación desde el punto de vista productivo. Entre estos subsistemas pueden señalarse los siguientes:

- REDMAP: Permite la realización de bases matemáticas para la mapificación topográfica y catastral (1:500.000-1:500) e incluye diferentes variantes de ploteo de coordenadas sobre diferentes tipos de soportes. El trazado de las bases se hace sobre la base del cálculo de los valores teóricos para cada hoja de mapa atendiendo a su ubicación dentro de nuestra proyección.

- COMAR: Subsistema interactivo de digitalización que permite la realización de este proceso de forma rápida, para la cual se combina un digitalizador automatizado con las posibilidades gráficas y de cálculo de una computadora personal. En este subsistema el técnico interactúa con el plano y utiliza tanto la computadora personal como el sistema de teclas que posee el digitalizador, lo que permite disminuir al mínimo los errores en este proceso. Para la introducción en producción de este subsistema fue necesario desarrollar una solución fuera de línea para la transferencia de información desde la computadora



personal a la computadora de gran capacidad que sustenta el sistema de cálculos de superficies que emplea actualmente el Catastro Nacional.

- **AREAGRAF:** Subsistema para el dibujo y grabado automatizado de los mapas catastrales de los territorios rurales a medianas escalas. El subsistema está asociado a una línea tecnológica nueva que incluye la aplicación combinada del subsistema COMAR (para la digitalización) y la utilización de los sistemas de Catastro desarrollados para máquinas del SUMCE.

- **SAFTE:** Permite el estudio de deformaciones a partir de la elaboración de las mediciones realizadas sobre fotografías terrestres y la representación de las mismas de forma gráfica. En este subsistema se incluye una solución parcial a la confección automatizada de planos arquitecturales confeccionados por el método fotogramétrico terrestre, además, se realizan cálculos de áreas, volúmenes y representaciones gráficas de los desplazamientos.

- **PERFIGRA:** Subsistema que permite el trazado de perfiles topográficos (y con otros fines) con posibilidades para introducir variaciones de escalas en la representación en los dos ejes de coordenadas.

En la actualidad se encuentra en su etapa final de realización el subsistema TOPOGRAF que está destinado a la confección de planos a grandes escalas a partir de mediciones de tipo taquimétrico. El subsistema presupone una nueva tecnología de levantamiento que incluye novedosos criterios de registro de la información primaria en el que se utiliza indistintamente el registro manual y el automatizado.

También se trabaja en otras líneas tecnológicas del sistema que aún no están terminadas, como son:

- **COSMAP:** Este subsistema estuvo dirigido inicialmente a la actualización de mapas a medianas y pequeñas escalas. En este caso ha sido diseñada una tecnología para que a partir de la digitalización de un fotoplano o un mapa se

crea un modelo con las coordenadas de los nuevos elementos que son necesarios incorporar al mapa para su actualización, proceso realizado posteriormente de forma automatizada. Actualmente se trabaja en ampliar estos objetivos de trabajo para hacer más universal el subsistema.

- **AEROGRAF:** Este subsistema está dirigido a la confección de planos a grandes escalas a partir de mediciones fotogramétricas, asociada a una tecnología para la creación de este tipo de planes en la que se utiliza el registro de la información simultáneamente con el proceso de restitución y esta última actúa como elemento de control. Sobre dicha base se crea un modelo digital del terreno y posteriormente se procede a la confección de los planos.

- **TOPOPAQ:** Este subsistema es un paquete de programas para el cálculo topográfico que da respuesta a las necesidades tanto del ICGC como de los diferentes organismos de la Economía Nacional que realizan estos trabajos.

- El sistema SISGRAF se ha desarrollado fundamentalmente en lenguaje BASIC orientado a ordenadores personales compatibles con la línea IBM y se ha tratado en todos los casos la adopción de variantes tecnológicas para la obtención de resultados que pueden introducirse de forma rápida en el proceso productivo, y a la vez, se asegura la continuación de los trabajos correspondientes a la tercera etapa del desarrollo de las técnicas digitales previstas para el próximo quinquenio.

Conclusiones

La introducción de las técnicas digitales en la mapificación topográfica y catastral, como se ha señalado anteriormente, se ha estructurado de forma escalonada sobre la base del desarrollo del sistema SISGRAF. Este sistema compuesto por un conjunto de aplicaciones que funcionan de forma independiente aunque guardan relación entre sí, esto permite el desarrollo de los trabajos con un buen nivel de flexibilidad.

Las tecnologías actualmente desarrolladas tienen como objetivo principal la combinación de los medios técnicos convencionales con los informáticos, garantizándose de esta forma la utilización racional del parque de equipos con que cuenta nuestro país para el desarrollo de los trabajos topográficos.

En lo que resta del presente año concluirán en lo fundamental, las tareas señaladas a la segunda etapa de desarrollo de las técnicas digitales en nuestro país, creándose de esta forma las condiciones para el surgimiento de una nueva generación de tecnologías para dar respuesta a las crecientes exigencias existentes en esta importante esfera de trabajo. ■

Julio Cabrera Quiñones
Ingeniero

Aplicación parcial de la automatización en la confección de mapas a grandes escalas por restitución fotogramétrica análoga

Existe en la actualidad una tendencia mundial hacia la introducción paulatina de la automatización en la esfera de la fotogrametría a través del empleo de las computadoras y de medios técnicos «inteligentes» que han revolucionado el quehacer de los diferentes tipos de mapas. La materialización de estas técnicas complejas debe hacerse gradualmente, pues ello permite preparar a los técnicos y explotar de forma racional el equipamiento que se posee en la etapa de introducción. Inicialmente donde más se aplica la automatización es en el dibujo, lo cual se combina con la creación de pequeñas bases de datos. Se puede definir de forma sintética y en orden de complejidad tecnológica las tendencias siguientes:

- Fotogrametría analógica: digital, dibujo automatizado.
- Fotogrametría analítica: digital, dibujo automatizado.
- Fotogrametría digital: dibujo automatizado.

Las tendencias van aparejadas con estadios de desarrollo propios de la institución geodésica en cuestión, pues dependen primeramente de los medios técnicos (Hardware) y luego del aseguramiento programático (Software). Los programas pueden ser creados aquí con mayor o menor dificultad, pero no así los medios técnicos los que además son muy especializados y caros. En la mayoría de los casos hay que adquirirlos en países capitalistas y, existe la dificultad del bloqueo impuesto a nuestro país para la compra de equipos de alta tecnología. Para las condiciones del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC) esto podía ser un obstáculo en su modernización del equipamiento estereofotogramétrico, el cual debe responder a las exigencias del desarrollo actual y próximo del país. Por ello debe pensarse en todas las alternativas y en los plazos posibles para alcanzar este obligado propósito.

En este artículo se propone con los medios técnicos que poseemos en la actualidad, la introducción de la automatización en los trabajos de restitución estereofotogramétrica, tarea totalmente novedosa y compleja en nuestro país. Para apoyar esta propuesta realizamos un experimento con un proyecto existente, del cual incluimos información en este artículo.

Análisis del método a emplear

En los gráficos adjuntos se muestra el esquema de dos métodos: el clásico y el semiautomático de restitución, con el objetivo de establecer un análisis entre ambos, así como las ventajas de la introducción de las técnicas digitales.

Cada uno de estos esquemas tecnológicos comienza con el terreno y termina con el producto cartográfico definitivo, para pasar en su confección por varias fases y formas. Del método convencional hay que destacar que cuando se pasa de la fase de original a lápiz a la de original a tinta hay pérdidas de precisión, no así en el caso del método semiautomático que de un producto a otro se hace de forma digital sin ninguna pérdida de exactitud.

En la restitución semiautomática, el terreno se plasma sobre una fotografía en forma analógica y el producto cartográfico es su expresión gráfica, pero existe su igual en forma digital archivado en una banda magnética u otro portador, lo cual da amplias posibilidades para los trabajos de actualización y elaboración de mapas temáticos así como la reproducción a diferentes escalas a pedido. Además, al eliminar el entintado manual permite que los operadores se dediquen a otras tareas menos fatigosas. Se puede añadir también, que mejora la calidad y aumenta notablemente la productividad. En cifras obtenidas en la producción, se estima que los trabajos de cartografiado constituyen el 23% del total de los procesos productivos para crear el plano por métodos fotogramétricos por lo que la aplicación del dibujo automatiza-

do significará una reducción sensible de los gastos de tiempo y de materiales fotográficos. Hay otras ventajas como es la posibilidad de aumentar entre 9 y 15 veces la relación entre la fotografía y el mapa, lo cual es un factor importante para aumentar la productividad del estereorestituidor y esto también provoca considerables ahorros en el levantamiento aéreo, el control fotográfico y otros procesos.

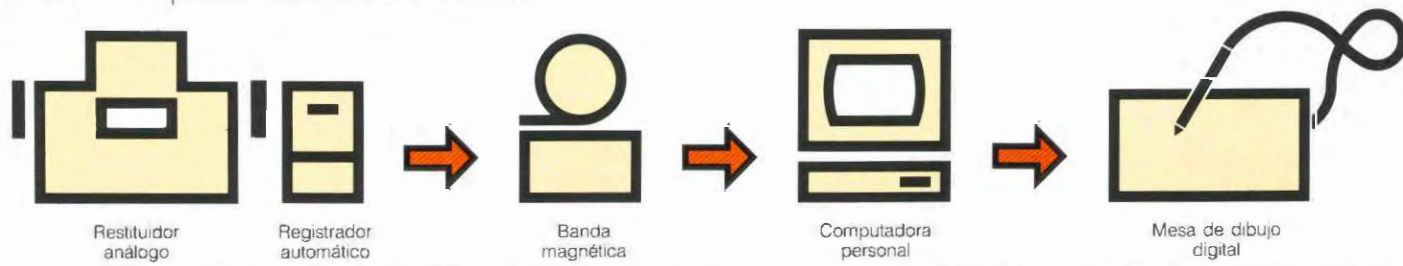
El modo recomendable de explotar el equipamiento que se posee en el Instituto es mediante el empleo de la mesa de dibujo como un puesto de trabajo automatizado que recibe los datos de una batería de equipos estereorestituidores, esta configuración de trabajo recibe el nombre de «fuera de línea». De forma esquemática la arquitectura de los medios técnicos empleados se muestra en el gráfico adjunto.

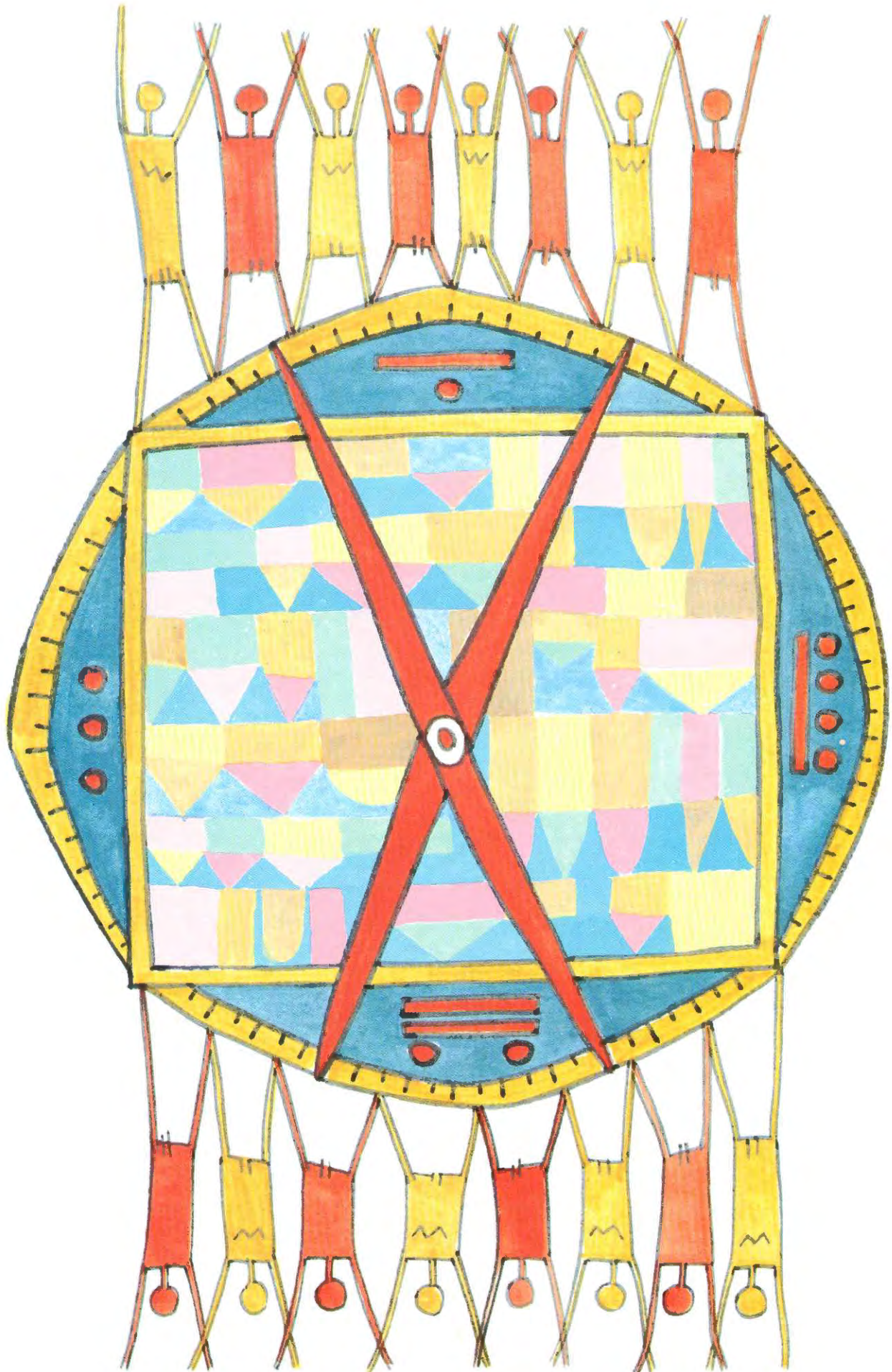
El Instituto posee equipos suizos y soviéticos que reúnen los requisitos de precisión para ejecutar los trabajos a grandes escalas, aunque para digitalizar automáticamente sobre algún soporte se necesitan registradores de coordenadas que puedan ser acoplados a los instrumentos fotogramétricos.

Este tipo de experiencia con los equipos suizos es positiva, pues es posible adaptarles registradores de coordenadas como el EK-22 y similares. En el caso de los instrumentos soviéticos no se ha ejecutado este acoplamiento.

Las ventajas antes expuestas dan, sin lugar a dudas, una preferencia total por el método semiautomático de restitución estereofotogramétrica.

Gráfico 1. Arquitectura de medios técnicos





Metodología para la aplicación parcial del dibujo automatizado

La concepción del subsistema recoge de forma inicial la idea de llegar al dibujo automatizado. Esta tecnología sólo permite llegar a crear un original de línea sin poder obtener diferenciación de la información lo cual no es ventajoso para poder crear las bases de datos y el tratamiento de ficheros diferenciados en clases y grupos de acuerdo al tipo de información que se digitalice.

Aunque existe esta dificultad, es posible utilizar inicialmente la tecnología que posteriormente se plantea, pues en el experimento realizamos gran parte del original con la mesa de dibujo y algunos otros elementos fueron concluidos a mano. Con este fin se concibió un experimento con un proyecto ya existente de un área de la ciudad de La Habana con los datos siguientes:

- Proyecto: Habana-Metro 1.
- Modelo: 1315-17.
- Escala del modelo: 1:5.000.
- Escala del plano: 1:1.000.
- Escala de la fotografía: 1:8.000.
- Cámara aérea: AFA/TE.
- Distancia focal: 201,23 mm.

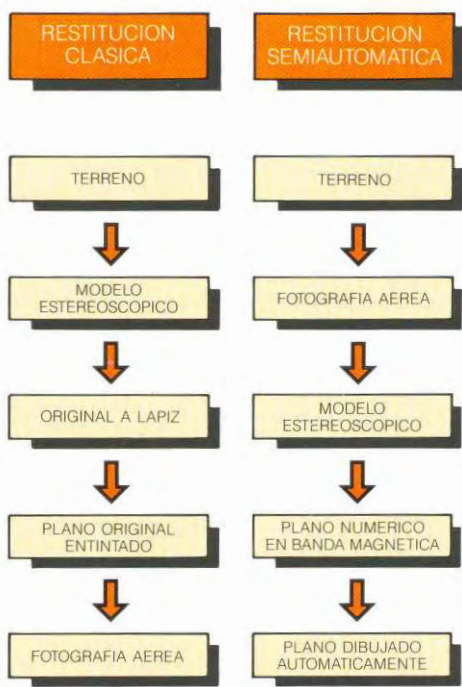
Los medios técnicos empleados en los trabajos de restitución, cálculo y dibujo son:

- Instrumento de restitución universal, WILD A-8.
- Registrador automático de coordenadas, WILD EK-22.
- Computadora para la transcodificación, SU-1035.
- Conjunto EK-30 (lector de banda magnética) y microcomputadora M-24.
- Microcomputadora M-24 y Aristo (digitalizador de mesa).
- Conjunto M-24 y TA-10 (mesa de dibujo automática).

Se restituyó y digitalizó la planimetría y las cotas de altura del modelo estereoscópico con la codificación siguiente:

- Las cuatro últimas cifras se reservaron para el número de orden.
- En el dígito correspondiente a la decena de millar se anotó: «1» (uno)

Gráfico 2. Análisis del método a emplear



para comienzo y tramo recto de la figura; «2» (dos) para comienzo y fin de curvas; «3» (tres) para fin de la figura. Para el relieve se empleó el n.º 4 y sólo para digitalizar las cotas. No se concibió digitalizar las curvas de nivel.

El registro de los puntos de detalles se hizo en un orden lógico y preestablecido por el propio operador, así como la cantidad de ellos en las figuras lineales. En estos casos debemos de tratar de digitalizar el mínimo de puntos indispensables. También es parte de la metodología de trabajo del operador registrar todos los puntos de apoyo los cuales los utilizamos en la transformación de Helmert y en el control del escalado matemático. Es correcto aclarar, que por métodos matemáticos no se puede aumentar la precisión del escalado y nivelado del modelo cuando es

considerado como datos invariables las coordenadas de los puntos de apoyo utilizados en el proceso de orientación absoluta en los restituidores análogos.

En el proceso de digitalización del estereomodelo, para el caso de áreas urbanas procedimos así:

- Definir la red vial: se dan puntos en los tramos rectos y comienzo y fin de curva.
- Con las manzanas ya definidas, se digitalizan los vértices de cada edificación tratando de completar las figuras, si éstas conforman grupos aislados o independientes si no, identificar y digitalizar los principales lados rectos, hasta cubrir todo el sector de la manzana.
- Tomar los objetos aislados de acuerdo al método antes explicado.
- Digitalizar las cotas de altura de acuerdo a los requerimientos impuestos a la representación del relieve.
- Ubicar en el dibujo de control el resultado de la clasificación de la vegetación existente.

Simultáneamente a la digitalización sobre el estereomodelo se produjo el dibujo de control en el coordinatógrafo del equipo, éste no tiene necesariamente que ser igual a la escala del plano a confeccionar, algunos autores recomiendan que sea a la mitad de la escala del mapa definitivo. Este dibujo de control sirve de referencia y comprobación al operador y para los procesos automatizados posteriores.

Todos estos datos digitalizados se captaron en la banda magnética del EK-22 mediante el registro manual a voluntad del operador. También es utilizable el registro automático a tiempo y a distancia, es recomendable el registrador a tiempo para el caso de las curvas de nivel y de obras lineales, pues permite de acuerdo a la dificultad del elemento tener mayor o menor cantidad de puntos para su definición posterior por el dibujo automático, en esta experiencia no utilizamos la digitalización de las curvas de nivel.

Programas y procesamientos

Brevemente se dan a conocer los programas ejecutados y qué lugar ocupan en el procesamiento de los datos de las mediciones fotogramétricas.

Concluida la digitalización del modelo estereoscópico se validó y codificó mediante programas existentes para la SU-1035. Con el programa CREA EK 30, obtenemos todos los datos sobre un disco flexible, lo cual permite su procesamiento en una computadora personal. En un dibujo adjunto se representa de forma gráfica el esquema tecnológico, los programas y los medios técnicos, así como la interrelación existente.

Para lograr que todo el archivo de datos sea en coordenadas planas rectangulares se utilizó el programa AFINFO-TO que ejecuta la transformación con una solución matemática que garantiza mantener la precisión alcanzada durante la orientación absoluta en el equipo fotogramétrico. A continuación se elabora el primer dibujo de control a lápiz mediante DIBUFOTO en las TA-10. Este dibujo también entrega la enumeración de cada artículo representado como vértices de los diferentes objetos, lo cual permite compararlo con el dibujo de control de fotogrametría y corregir los archivos de datos. Este proceso se hizo iterativamente mientras en el dibujo de control existían errores. Lógicamente no pueden arreglarse las cuestiones que falten de un objeto o un propio objeto que haya sido olvidado por el operador, aunque es permitido completar algún trazo recto totalmente identificado al conocer su principio y su fin.

Con este dibujo ya limpio de errores, con una plantilla plástica transparente con perforaciones espaciadas de acuerdo al MSC para los símbolos de cultivos y áreas verdes se predeterminó la ubicación del símbolo y anotamos el tipo del mismo en cada área que lo requiera. Seguidamente se digitalizó la posición y el tipo del símbolo mediante el programa COMAR-8 o puede ser realizado manualmente con un coordinatógrafo rectangular de precisión. También rea-

lizamos el dibujo de control del original con sus símbolos, para corregirlo y dibujarlo automáticamente con el programa DIBUFOTO. Este ya es el original definitivo entintado para entregar al solicitante o para reproducir por métodos offset.

Este conjunto de programas fueron concebidos y programados en el laboratorio de mapificación del Centro de Investigaciones de Geodesia, Cartografía y Teledetección.

Conclusiones

El método propuesto, aunque tiene varios procesos que hay que ejecutarlo manualmente, puede resolver de forma rápida originales terminados gracias al empleo del dibujo automatizado. Este método es aplicado con ventajas para los casos siguientes:

- Levantamientos fotogramétricos con una escala inusual cuya relación no sea posible obtener en los estereoresti-tuidores que poseemos.
- Mapificación especial a pedido.
- Anteproyecto expeditos de estudios preliminares con determinado grado de urgencia.

Esta metodología constituye una proposición concreta para aplicar el dibujo automatizado de forma parcial y para determinados requerimientos empresariales. ■

**Marcos F. Pacheco Pérez y Pedro
Martínez Fernández**
Ingenieros