



## PROCEDIMIENTO TECNOLÓGICO PARA LA CREACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

**Michael Alvarez González y José Ernesto Martínez Valdés**

*Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara (IPH VC) Libertadores 201 e/ Jesús Menéndez y Danielito. Santa Clara. VC. Cuba. Teléf.: + 53 (42) 202330 Fax: 202330, E-mail: [michael@vc.hidro.cu](mailto:michael@vc.hidro.cu) o [ejphvc@enet.cu](mailto:ejphvc@enet.cu)*

### RESUMEN

En la presente investigación se expone a consideración del autor un compendio de criterios y procedimientos técnicos acumulados en la experiencia de grupos multidisciplinarios en la creación de Modelos Digitales de Elevación. Dada la amplia versatilidad de aplicaciones en la ejecución y diseño de proyectos a gran, mediana y pequeñas escalas en los cuales se han empleados diversos tipos de modelos de elevación con significativos resultados tanto en el proceso del diseño ingenieril como en la ejecución constructiva en el proceso de armonización del proyecto con el medio ambiente y la sociedad.

Además, se pretende proponer un material genérico que permita a cualquier especialista crear modelos de elevación del terreno si tener en cuenta la plataforma a emplear pues siempre se parte de las particularidades de los materiales iniciales y los momentos de control ante los variados métodos de interpolación de los datos geoespaciales, basado en la experiencia alcanzada en la aplicación de múltiples investigaciones en el campo de la ingeniería aplicada a la hidráulica.

### INTRODUCCIÓN

En el presente Croquis que detalla con singularidad a consideración del autor un compendio de criterios y elementos técnicos acumulados en la experiencia de grupos multidisciplinarios en la creación de Modelos Digitales de Elevación del terreno (MDE) del terreno. Teniendo en cuenta la amplia versatilidad de aplicaciones en la ejecución y diseño de proyectos a gran, mediana y pequeñas escalas.

Dadas las facilidades que hoy nos permiten el empleo de programas computacionales de avanzadas en la personalización de proyectos de ingeniería básica, entiéndase como los trabajos de: explanaciones, cubicación, armonización de las estructuras con el medio ambiente, evaluación de impactos y riesgos medio ambientales, etc.; además partiendo de la diversidad de materiales iniciales con los que se cuenta para la realización de los estudios preliminares es que está enfocada este croquis.

Es por ello que son asumidos por objetivos generales los siguientes aspectos: primero identificar la finalidad en la cual será empleado el MDE así con la realización de una evaluación preliminar de los materiales iniciales y las posibles precisiones a obtener, segundo establecer un croquis tecnológico en el cual sean identificado cada uno de los elementos que lo componen y permita organizar los trabajos de creación de MDE.

Por lo que para ello se dispondrá de los siguientes elementos principales para la creación del MDE:

- Mapas y planos a todas las escalas.
- Levantamientos Topográficos de la zona de estudio.
- Batimetrías.
- Modelos Digitales de Elevación o de Superficie previamente creados
- Levantamientos arquitectónicos.
- Imágenes aereofotogramétrica.
- Imágenes satelitales.



## Términos y definiciones necesarias

En busca de unificar criterios y poder expresar el presente contenido en un solo idioma/lenguaje técnico se confeccionó un pequeño glosario de términos necesarios que aunque se considera que no esté completo se aborda solo lo elemental en esta temática:

- **Curvas de Nivel:** Línea topográfica imaginaria que une a puntos de igual altura en el terreno.
- **Cotas:** Puntos topográficos en el terreno que se caracterizan por tener una determinada altura que generalmente está referida al Nivel Medio del Mar.
- **Modelo Digital de Elevación:** Representación topográfica digital a escala matemáticamente definida de una pequeña porción de terreno teniendo en cuenta los elementos plano-altimétricos. Que en otros términos se puede interpretar como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa, se trata, por tanto, de un modelo digital que representa una propiedad cuantitativa topográfica (por ejemplo, elevación, pendiente) o no (temperatura de la superficie del terreno, reflectancia...) (Felicísimo, 2007; Fleites, *et al.*, 2007).
- **Red de Drenaje Superficial:** Es toda el agua que fluye por la superficie del terreno hacia una misma dirección.
- **Simas:** Zonas o cavidades con una profundidad mayor que las que le rodea y zonas de concentración de agua.
- **Cima:** Punto de mayor altura a los que le circundan.
- **Cuencas Hidrográficas:** Son zonas más bajas que las circundantes y se caracteriza por fluir las aguas en una misma dirección de un río, laguna o mar.
- **Parte aguas:** Es la zona más alta que divide las zonas de drenaje superficial.
- **Vaguadas:** Es la más baja que se delimita por definir una línea o cañada de drenaje superficial natural.

## Cartografía Básica para la Creación del Modelo Digital de Elevación del terreno (MDE)

Para la creación de los MDE se recomiendan las bases cartográficas contenidas en los mapas a escalas 1:25 000 y si existiese alguna que otra escala comprendida en los rangos iguales o superiores a 1:5 000. Teniendo en cuenta que el mayado y el tamaño del píxel obtenido en el modelo dependen directamente de la escala de la base cartográfica, se observa como elemento importante aclarar que un modelo generado a escala 1:25 000 no permitirá una dimensión menor de 5 m por cada píxel.

### • Capas de vectores y elementos altimétricos.

En este caso se dispondrá de las siguientes capas según lo establecido en el Manual para la Creación de Mapas Topográficos a escalas 1:25 000 en formato CAD:

Cotas	Carretera 2do Orden.	Río
Principal	Camino.	Río parcial
Complementaria	Yacimiento.	Arroyo
Auxiliar	Terraplén	Laguna
Talud	Terraplén no mejorado.	Presa
Corte	Ferro estrecha	Embalse.
	Ferro ancha	

## NORMAS BÁSICAS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS

Para garantizar una buena calidad de los materiales iniciales se procederá a realizar una revisión detallada de cada uno de los elementos iniciales, anteriormente citados en la lista anterior. Por lo cual se recomienda usar todas las herramientas conocidas en plataformas CAD para ello, así como otras que hayan sido programadas con dicho fin.



Se considera importante acotar que este paso es muy crítico, pues el correcto control de los valores planoaltimétricos de los elementos elimina posibles errores o “picos” que falsean los valores continuos de altimetría (Z) del modelo. Por lo que se recomienda en algunos casos el uso de los siguientes Documentos Técnicos Rectores en caso de dudas:

- Instrucciones para nivelación de I, II, III, IV Órdenes. ICGC. 1984.
- Instrucciones Técnicas para Levantamientos Topográficos a escalas: 1:2 000, 1:1 000 y 1:500.
- Manual de Símbolos Convencionales escalas 1:2 000, 1:1 000 y 1:500 (1987).
- Manual de Usuario para la Explotación de las Herramientas del AutoCad Land Development Desktop. (MAN, 67 – 01: 2007) GEOCUBA, Villa Clara.
- Manual de Explotación del Surfer v8.0, 2007

## **Contenido del Croquis Tecnológico**

En los diferentes momentos del Croquis Tecnológicos para la obtención del MDE se detallará lo más posible cada uno de los pasos para poder crear el modelo y al mismo tiempo poder realizar controles durante la creación y al final acorde al su representación detallada en el croquis 1.

## **Recepción de la Tarea Técnica**

En la recepción de la Tarea Técnica es importante detallar el objetivo final para cual se va a utilizar el MDT. Pues se debe tener en cuenta la escala a la cual se va a trabajar y en dependencia de ello se considera entonces la dimensión de los píxeles que será generado en la maya de interpolación así como el método o criterios bajo el cual se interpolará.

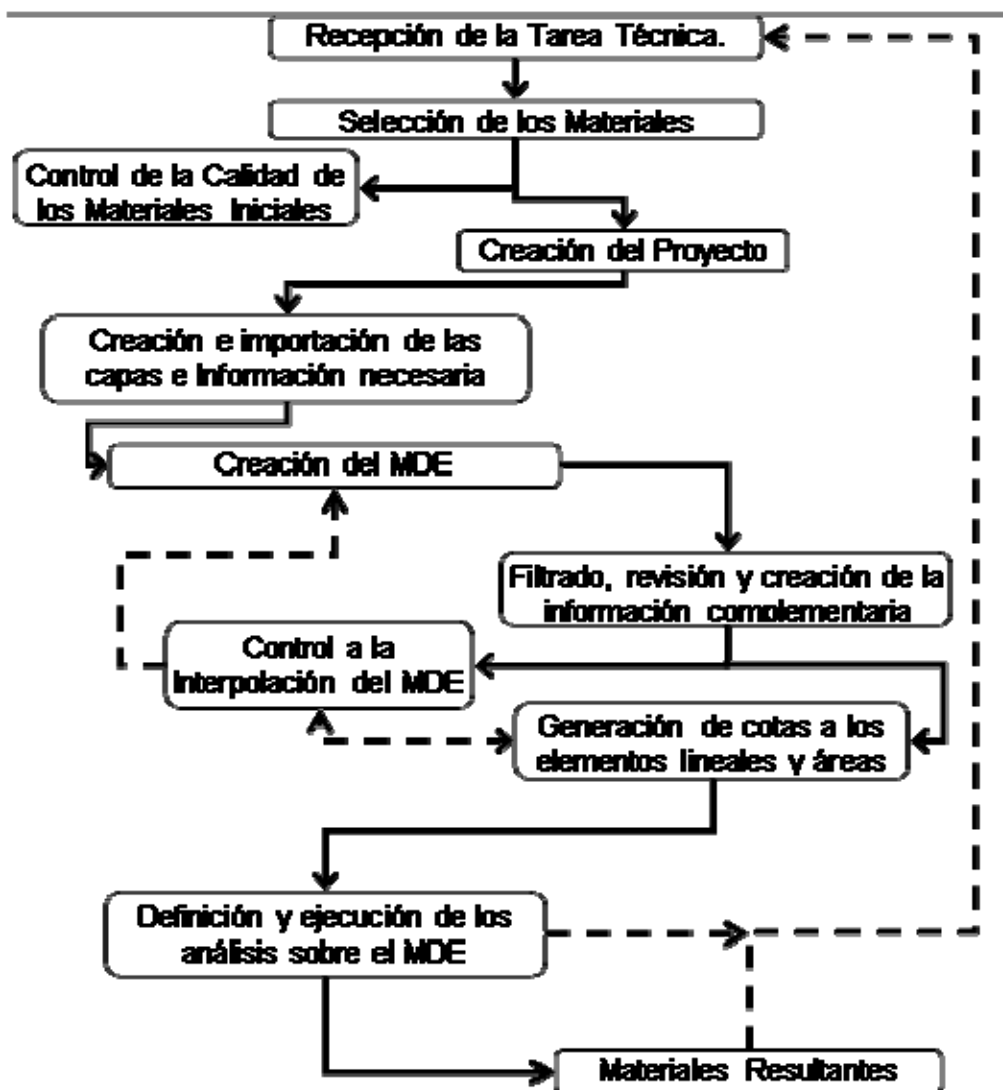
Además se tendrá muy en cuenta los Requisitos Técnicos del Cliente y las posibilidades reales que permita el modelo para satisfacer los requisitos iniciales planteados por el Cliente.

## **Selección de los Materiales Iniciales**

En la selección de los materiales iniciales se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Mapas a escala 1:25 000.
- Levantamientos Topográficos de la zona.
- Batimetrías.
- Modelos Digitales de Elevación o de Superficie creados con anterioridad.

Además no se descarta que de ser posible el uso otros materiales que contribuyan a la veracidad del modelo y que puedan ser utilizados tales como levantamientos topográficos, línea de nivelación, imágenes aero-satelitales que permitan obtener Modelos Digitales de Superficie pro medio de técnicas fotogramétricas, etc.



Croquis 1. Representación gráfica del Croquis Tecnológico para la Creación de Modelos Digitales de Elevación del terreno © 0276-02-2014 (2010).

### Control de la Calidad de los Materiales Iniciales

En este paso de Control de la Calidad es importante hacer una revisión detallada a las capas o layer del drawing, partiendo desde el punto de vista que debe ser desde los valores planoaltimétricos y su apariencia vectorial en caso de usar información de AutoCad, Surfer así como de cualquier otra plataforma de un Sistema de Información Geográfica.

### Creación del Proyecto

Se recomienda la creación de un proyecto de trabajo para poder identificar cuáles serán los materiales principales de trabajo así como los recursos necesarios para el aseguramiento tecnológico que garantice la calidad del trabajo.



### **Creación e importación de las capas e Información necesaria**

Para la creación o importación de la información necesaria, así como la captación de los datos que cumplieren o actualicen el MDE será realizado de acuerdo a los requisitos técnicos que demande la plataforma de trabajo seleccionada, así como la experiencia que posea el especialista o grupo multidisciplinario en el desempeño de las tareas como topógrafo y dominio del programa computacional empleado.

### **Creación del MDE**

Durante la creación del modelo de elevación se recomienda comenzar primero por los elementos naturales que componen el relieve (curvas de nivel, cotas etc.) y posteriormente introducir los elementos de accidentes naturales, seguidos por los modificadores antrópicos del relieve como elementos de quiebre.

### **Filtrado, revisión y creación de la información complementaria**

En este paso se realiza un riguroso control de la primera interpolación a partir de la información disponible y se generan los siguientes modificadores que por su naturaleza se hacen necesarios para controlar los errores de interpolación y elementos erráticos que no fueron detectados en los pasos anteriores. Es importante destacar que una correcta revisión a partir de los más mínimos detalles permite alcanzar casi un valor de coincidencia comprendido entre el 85-95% de fiabilidad de los elementos representados en correlación a el terreno.

### **Control a la Interpolación del MDE**

En este aspecto, se aborda en el Croquis Tecnológico un riguroso control de la propagación de errores, según sea el método de interpolación empleado, los radios de búsqueda y las condiciones de generación de vértices auxiliares para la creación del mallado de la superficie. El cual responde al tipo de elemento tecnológico (geométrico) que se emplea para la representación de la superficie del terreno.

### **Generación de cotas a los elementos lineales y áreas**

En este caso por lo general se hace necesario asignar valores de altimetría a varios elementos planimétricos para poder establecer un mejor análisis espacial y poder redimensionar el alcance del fenómeno u objeto de estudio para el cual ha sido creado el MDE.

### **Definición y ejecución de los análisis sobre el MDE**

En este paso se limita a referenciar todos los posibles análisis que permita realizar la plataforma en la cual se ha generado el MDE, así como la experiencia de interpretación y dominio por parte del especialista o grupo multidisciplinario en el uso de la tecnología previamente seleccionada.

### **Materiales Resultantes**

Son todos aquellos mapas, planos, croquis derivados de los análisis o soluciones propuestas como resultado del proceso de la toma de decisiones en el libre tránsito de etapas del Croquis Tecnológico anterior.

## **RESULTADOS**

Luego de confeccionados los MDE en la ejecución de proyectos se aprecia un estado favorable en la terminación y adecuación de proyectos por parte de los proyectistas y ejecutores. Donde se muestran algunos de los aspectos antes mencionados.

Como primer resultado obtenido es el Proyecto de Innovación Tecnológica "Confección de Modelos Digitales del Terreno con herramientas CAD" para el cual se aplicó inicialmente con fines académicos



en la creación de los modelos del Estudio de Factibilidad y Anteproyecto Canal Magistral “Trasvase Este-oeste” Zaza-Ciego.

En los levantamientos topográficos con Estaciones Totales para la certificación y replanteo de obras así como en los levantamientos arquitectónicos por técnicas combinadas a partir de los diseños realizados en gaviote y las obras existentes para realizar la distribución espacial de todos los elementos durante la ejecución de la obra y los controles de autor realizados al proceso ejecutivo de la construcción y actualización de los planos Como Construido (*As Build*).

En los estudios hidrológicos realizados a la capacidad de evacuación y tránsito de avistas en los puentes según los resultados obtenidos en un Estudio Hidrológico a los Puentes sobre el Rio Sagua en Santa Clara, Villa Clara y en la confección del Proyecto de Explotación del Acueducto de Santiago de Cuba para la realización de sectorización de los circuitos hidrométricos que componen los sistemas de abasto de la ciudad (ver figura 1).

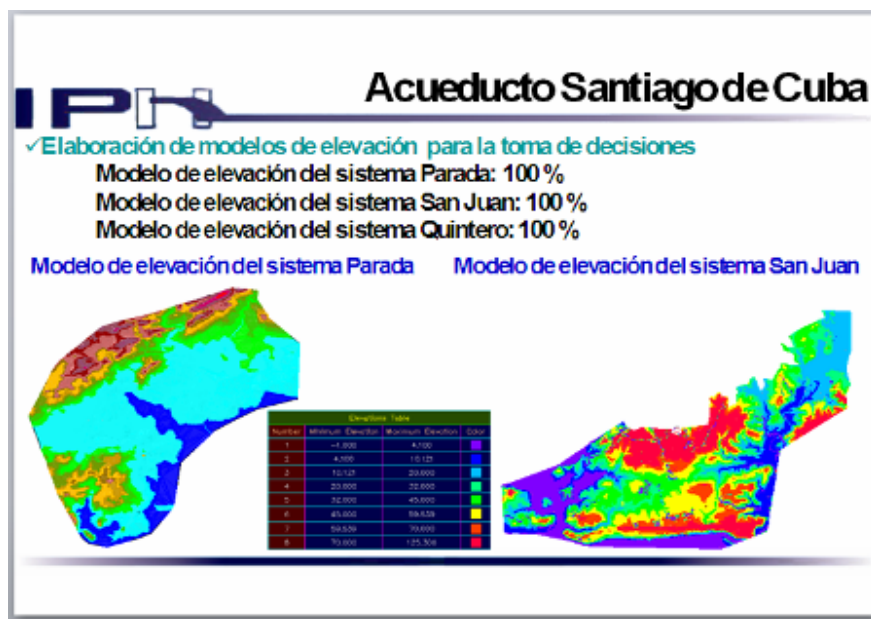


Figura 1. Representación de dos de los tres modelos que componen el Sistema de Abasto en la Ciudad de Santiago de Cuba.

## DISCUSIÓN

El estudio demuestra que con el empleo modelos digitales se armoniza de forma adecuada el diseño del proyecto con el entorno y con un mínimo de gasto en recursos técnicos, lográndose una reducción del tiempo tecnológico de ejecución que varía entre un 20-50% del tiempo estimado por medio del uso de tecnologías convencionales o tradicionales.

Lo cual implica determinado grado de acciones de capacitación asociado a las plataformas de diseño disponibles que son empleadas por parte del especialista para la ejecución de los diseños ingenieriles, siempre basados en un entorno conocido, elemento este que reduce el tiempo de aprendizaje al contrastar en una curva de progresión del conocimiento los elementos tiempo de formación de habilidades contra producción con un alto valor agregado como resultado de la capacitación.

## CONCLUSIONES

Acorde a los criterios previamente expuestos basados en la aplicación del Croquis Tecnológico se arriban a las siguientes conclusiones:



1. La aplicación del Croquis Tecnológico en el sector empresarial fundamentalmente en los procesos de diseño ingenieril, control y evaluación de impacto medio ambiental posee una rápida implementación con un tiempo mínimo de acciones de capacitación.
2. Al lograr una reducción del tiempo de diseño y armonización del proyecto con el medio ambiente se garantiza una mayor eficacia en el servicio asociado a las particularidades del cliente y las posibilidades tecnológicas disponibles por las entidades que intervienen en el servicio a contratar.
3. Se alcanza la creación de un valor agregado superior a los resultados obtenidos por métodos tradicionales o convencionales, aspecto este que beneficia los resultados empresariales dentro de un mercado de competitividad y eficiencia del servicio en el mercado nacional e internacional al ser estandarizado a las normas vigentes para los procesos de diseño ingenieril vigentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, M. (2010). Croquis Tecnológico para la Creación de Modelos Digitales de Elevación del terreno. Santa Clara, Villa Clara, Cuba: Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (IPH) de Villa Clara.
- Felícísimo, A. M. (2007). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Disponible en: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- Fleites, Y., Álvarez, M. y Navarro, F. (2007). Proyecto de Innovación Tecnológica «Confección de Modelos Digitales del Terreno con herramientas CAD y Surfer». Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, GEOCUBA Villa Clara-Santi Spíritus. Santa Clara, Villa Clara.