

# Determinación de la exactitud de una superficie digital del terreno con el uso de perfiles

## Determining the accuracy of digital terrain surface by using profiles

EDILBERTO NIÑO NIÑO

Ingeniero Catastral y Geodesta, Especialista en Astronomía, Especialista en SIG. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.  
edilbertonino@gmail.com

Clasificación del artículo: investigación (Conciencias)

Fecha de recepción: noviembre 3 de 2009

Fecha de aceptación: mayo 25 de 2010

**Palabras clave:** Exactitud, Perfil, Referente, Superficie digital del terreno.

**Key words:** Accuracy, Profile, Reference, Digital terrain surface.

### RESUMEN

La exactitud de una superficie digital del terreno (SDT) es difícil de determinar de manera eficiente. En la mayoría de casos este procedimiento se realiza con base en puntos de control obtenidos con tecnología GPS, a un alto costo, y lo que se obtiene es un estimativo muy general. Esto, ya que dicho procedimiento permite obtener la exactitud de la superficie digital del terreno, solamente a nivel local, es decir, alrededor de cada punto de control. Se debe suponer homogéneo el comportamiento de las alturas a través de la superficie, aunque esto no siempre es cierto.

El método que se plantea se basa en la utilización de perfiles extraídos de las superficies. Con este método es posible calcular la exactitud relativa de una superficie digital del terreno respecto a una superficie de mayor exactitud. Para realizar el proceso se utilizan dos superficies digitales del terreno; una de ellas se toma como referente. Se trazan igual número de perfiles en cada superficie, con las mismas coordenadas, y se realiza la compa-

ración estadística para determinar las discrepancias de las alturas de la superficie examinada respecto a la tomada como referente.

### ABSTRACT

The accuracy of a digital terrain surface (SDT) is difficult to determine efficiently. In most cases, this procedure is performed based on control points obtained by GPS technology at a high cost, and what you get is a very general estimate. This, since this procedure allows for the accuracy of digital terrain surface only locally or about each control point and must assume homogeneous behavior of the heights across the surface. However, this is not always true.

The method that arises is based on the use of profiles extracted from the surface. This method is possible to calculate the relative accuracy of digital terrain surface, on an area of greater accuracy. To make the process using two digital terrain surfaces, this has been taken as reference. Are plotted as number of

profiles in each surface, with the same coordinates and performs a statistical comparison to determine

the differences of the examined surface heights compared to the one taken as reference.

\* \* \*

## 1. Introducción

El principal objetivo de este trabajo es establecer un procedimiento para determinar de manera cualitativa y cuantitativa la exactitud de una superficie digital del terreno, mediante la utilización de perfiles topográficos extraídos de estas. Este método ofrece alta certidumbre en su procedimiento, ya que es posible determinar la exactitud de una Superficie Digital del Terreno (SDT), comparando las dos superficies con alto número de puntos.

Los avances en electrónica, informática y robótica, entre otras ciencias, han permitido un significativo desarrollo en las técnicas de los sensores remotos. Gracias estos adelantos, ha sido posible elaborar modelos digitales de la superficie terrestre con diferentes técnicas, características y exactitudes.

Se debe destacar así mismo que los modelos digitales del terreno y en particular las SDT se han convertido en un invaluable insumo de trabajo por las disciplinas que tienen que ver con las ciencias de la tierra, y principalmente con el desarrollo y uso de los sistemas de información geográfica.

## 2. Metodología

Los insumos requeridos para realizar la validación de una superficie digital del terreno son los siguientes:

- Superficie digital del terreno referente.
- Superficie digital del terreno a examinar.

Si se cuenta con superficies de redes de triángulos irregulares (TIN, del inglés Triangulated Irregular Network) es conveniente convertirlas en *raster*. Esto permitirá obtener las superficies a la misma resolución y así obtener las mismas coordenadas X, Y, en cada una de las superficies.

Se cargan las superficies en un programa apropiado, puede ser ARC\_GIS, *InRoads* u otro que permita generar perfiles sobre una SDT. En este caso se utilizan dos TIN, uno a una resolución de 10K (K, significa 1000) y el referente a 5K (ver Figura 1).

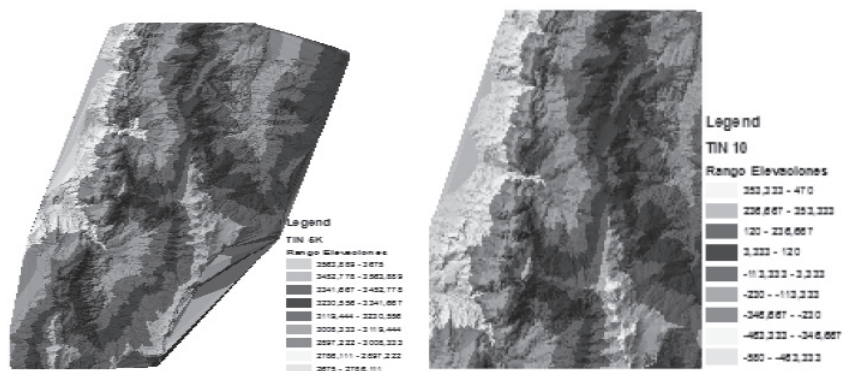


Figura 1. Izquierda TIN 5K y derecha TIN 10K.

### 2.1. Perfil topográfico

El perfil topográfico es una representación de tipo lineal que permite establecer las diferencias en altitudes que se presentan a lo largo de un alineamiento o recorrido determinado, de acuerdo con la morfología del terreno.

Los perfiles se clasifican como longitudinales y transversales. Un perfil longitudinal es aquel en el cual se toma la misma dirección durante todo el recorrido, sin cambiar el rumbo. Un perfil transversal es aquel que es perpendicular al longitudinal.

La línea del plano definida por los puntos que limitan el perfil se llama directriz y la línea horizontal de comparación sobre la que se construye el perfil se denomina base. Una de las aplicaciones más importantes de los perfiles o secciones verticales es en la construcción de obras de gran longitud y poca anchura, por ejemplo, caminos o carreteras, alcantarillados, oleoductos, etc.

### 2.2. Trazado del perfil sobre la superficie digital del terreno

Los perfiles se trazan sobre la SDT teniendo en cuenta que estos deben tener la mayor longitud posible y que estén distribuidos de manera homogénea sobre la SDT. Los perfiles deben obtenerse con las mismas coordenadas en las dos superficies; es decir, los perfiles se deben trazar partiendo y finalizando

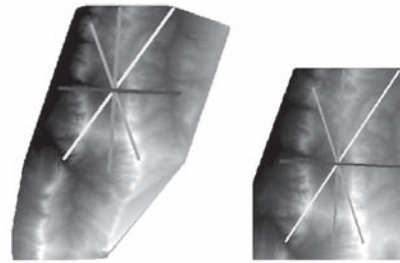


Figura 2. Alineamientos para trazado de perfiles. Izquierda Raster 5K (Referente) y derecha Raster 10K.

en el mismo punto, sobre las dos superficies, como se muestra en la Figura 2.

## 3. Resultados

### 3.1. Análisis de los perfiles

Se toman los perfiles obtenidos en las superficies de referencia y en la examinada. Como dichos perfiles se obtuvieron sobre el mismo alineamiento y con las mismas coordenadas de partida y de finalización, esto permite que se pueda realizar la comparación directa para encontrar las discrepancias entre ellas.

En la Figura 3 se muestran los perfiles obtenidos en las SDT del alineamiento longitudinal central. Como se observa, las discrepancias son tan pequeñas que no se alcanzan a visualizar. En la Figura 4 se detallan las discrepancias obtenidas.



Figura 3. Perfiles obtenidos de las alturas en las superficies Raster 5K (Referente) y Raster 10K.

En la Figura 4 se muestran las discrepancias de alturas entre la superficie examinada y la superficie referente. A través del alineamiento del perfil se tienen 281 puntos que se comparan. El rango de

las discrepancias de los perfiles comparados está entre -1,5174m y 1,3363m, es decir, la superficie examinada no se separa de la superficie referente a valores más altos del rango mencionado.



Figura 4. Discrepancias de las alturas entre las superficies Raster 5k (Referente) y Raster 10k.

### 3.2. Cálculo de la exactitud de la superficie

La exactitud de la superficie se obtiene mediante procesos estadísticos. Se inicia efectuando la diferencia matemática entre los valores de las alturas obtenidas de cada perfil extraído de las superficies, tanto de la superficie de referencia como de la superficie a examinar. En la Tabla 1 se muestran datos parciales de un total de 205 altitudes obtenidas de un perfil, y el proceso para el cálculo del error medio cuadrático existente entre las alturas de la superficie de prueba y la superficie a examinar.

### 3.3. Cálculo de las discrepancias de las superficies en un alineamiento o perfil

El cálculo del error medio cuadrático se efectúa utilizando la Ec.1,

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{n}} \quad (1)$$

Donde: EMC, es error medio cuadrático,  $\epsilon_i$  es la discrepancia en altura entre las superficies digitales del terreno en cada punto y  $n$  el número de puntos comparados.

**Tabla 1.** Altitudes parciales de un perfil de la superficie referente y la superficie a examinar ( $\epsilon_i$  discrepancia(i) en alturas).

No.	Altura extraída de la superficie 10K	Altura extraída de la superficie 5K	Diferencia altura $\epsilon_i$	Diferencia altura al cuadrado $\epsilon_i^2$	$(\epsilon_i - \epsilon)^2$
1	2715,41	2715,79	-0,39	0,15	0,20
2	2720,33	2720,89	-0,57	0,32	0,40
3	2726,88	2727,48	-0,60	0,35	0,43
4	2734,17	2734,53	-0,36	0,13	0,18
5	2739,16	2739,61	-0,44	0,20	0,26
6	2746,37	2746,60	-0,23	0,05	0,08
7	2752,30	2752,29	0,01	0,00	0,00
8	2755,04	2754,61	0,42	0,18	0,13
9	2750,60	2750,16	0,44	0,19	0,14
10	2746,34	2746,39	-0,05	0,00	0,01
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
204	3136,91	3134,98	1,93	3,72	3,60

**Tabla 2.** Resultados obtenidos.

Número de puntos (n) =	281	<i>puntos</i>
Discrepancia en altura media (Z) =	0,44	<i>metros</i>
<b>Error Medio Cuadrático (EMC) =</b>	0,55	<b><i>metros</i></b>
Desviación estándar =	0,46	<i>metros</i>
Error estándar =	0,03	<i>metros</i>
Limite error grueso (EG) =	2,10	<i>metros</i>
Estadístico Z =	1,28	<i>metros</i>

La interpretación de estos valores obtenidos y mostrados en la Tabla 2 evidencia que el error de la superficie examinada, respecto a la superficie referente a lo largo del perfil, es de 60 centímetros.

Los puntos 203 y 205 se excluyeron del cálculo del error medio cuadrático porque la discrepancia en alturas está por encima del límite del error grueso, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Puntos extraídos del cálculo por estar por encima del límite de error grueso.

No.	Altura extraída de la superficie 10K	Altura extraída de la superficie 5K	Diferencia altura $Z_i$	$Z_i^2$	$(Z_i - Z)^2$
203	3116,40	3113,52	<b>2,89</b>	8,34	7,99
205	3151,61	3148,40	<b>3,22</b>	10,34	9,95

### 3.4. Cálculo de la exactitud de la superficie

La exactitud de la superficie examinada se obtiene una vez sea realizado el cálculo de cada uno de los perfiles. Es decir, cuando se obtenga el error medio cuadrático de cada perfil. Se promediaran los errores medios cuadráticos obtenidos y el resultado será el error medio cuadrático resultante. Los resultados finales se muestran en la Tabla 4. La discrepancia presentada por la superficie digital del terreno examinada es de 0.49 metros respecto a la superficie digital del terreno de referencia.

**Tabla 4.** Contiene el número de perfiles, número de puntos medidos y los errores medios cuadráticos hallados.

No. del perfil	No. de puntos medidos	Error medio cuadrático en metros
1	203	0,60
2	281	0,55
3	322	0,22
4	341	0,58
<b>Total</b>	<b>1147</b>	<b>0,49</b>

### 4. Conclusiones

La discrepancia presentada en las altitudes de los perfiles extraídos de la superficie examinada y comparados con los obtenidos de la superficie referente es constante, excepto en el alineamiento 2 que es más baja que las demás. Esto demuestra que la superficie cumple con las especificaciones establecidas, las cuales son de 0.5 mm por la escala o resolución de la superficie.

Se comprobó la eficiencia del método ya que permite obtener la exactitud de una SDT, de manera sencilla y confiable, al poder examinar cientos y en algunos casos miles de puntos, de manera rápida.

El procedimiento solo requiere el uso de dos programas, Arc\_Gis y Excel; de esta manera, puede ser realizado por cualquier técnico o profesional con algunos conocimientos básicos.

---

### Referencias bibliográficas

---

- [1] F. Ariza. “Calidad en la producción cartográfica”. Madrid: *RA-MA*, Vol. 34, No. 34, pp. 74-86, jul. 2002.
- [2] W. Navidi. *Estadística para Ingenieros y Científicos*. México D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- [3] J. Mendieta, *Cartografía Básica Aplicada*. Manizales: Universidad de Caldas-Colombia, 2005.