

## **CALIDAD DE DATOS EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS**

Ing. MSc. Wilmar Darío Fernández, Docente Ingeniería Topográfica Universidad Distrital.

Ing. Luís Eduardo Hernández, Ingeniero Topográfico, Ing. Héctor Raúl Moncayo, ingeniero Topográfico, Ing. Guillermo Pérez Náder, quienes desarrollaron el trabajo de campo y procesamiento de datos.

Enviar correspondencia a Wilmar Darío Fernández Gómez, Universidad Distrital Kr. 7 No. 40-53 sede el Vivero, Bogotá-Colombia teléfono 57-1-3376681, e-mail [wfernandez@udistrital.edu.co](mailto:wfernandez@udistrital.edu.co)

## **RESUMEN**

La motivación que conduce a éste estudio radica en la necesidad de lograr un buen nivel de certidumbre en los resultados que se obtienen cuando se efectúa un levantamiento topográfico conducente básicamente a la obtención de áreas y volúmenes, variables muy comunes en la determinación de cantidades en un proyecto de infraestructura. Volúmenes, ya se traten estos de excavaciones, terraplenes o acopios en superficies que se pueden considerar irregulares es decir que no existe una uniformidad en las pendientes que resultan entre puntos que se obtienen aleatoriamente sobre la superficie de un terreno, mediante diversos procedimientos topográficos.

## **PALABRAS CLAVES**

Densidad de puntos, precisión, Teorema de Pappus, procesamiento, datos, relieve, Modelo Digital de Terreno.

## **INTRODUCCION**

Este es el caso de los levantamientos efectuados en los predios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Sede Vivero, a los cuales se les ha adaptado un diseño de vía típico a fin de establecer diversos cálculos de volúmenes de excavación, por diferentes métodos con lo que se puede concluir en que medida puede afectar la densidad tanto de puntos como la equidistancia entre secciones; es decir que, tanto difiere un volumen que depende de toma de secciones cada 10 metros sobre un eje, de otro que se toma secciones cada 5 metros, o cada 2 metros; así como también en que medida favorece el calculo de volúmenes sobretodo en tramos curvos el uso de distancias entre centroides o centros de gravedad, para lo cual se apoyara en el Teorema de Pappus.

Es claro que en las curvas horizontales de carreteras, canales, terraplenes longitudinales, etc., las secciones transversales son verticales como en las tangentes pero ya no paralelas, pues toman una dirección radial. En este caso la cubicación, por el sistema del área media entre secciones multiplicado por la distancia entre ellas, o incluso el sistema prismoidal ocasiona un error mayor debido a la posición relativa del eje del proyecto respecto al centro de curvatura, por lo que es mas conveniente multiplicar la sección promedio por una longitud media entre secciones que resulta ser la longitud de arco producto de considerar las distancias radiales (horizontales) de los centroides de cada sección involucrada.

## **METODOLOGIA**

El trabajo corresponde a parte experimental que, partiendo de la ejecución de levantamientos topográficos clásicos en predios de la Universidad Distrital- Sede Vivero, los cuales se desarrollaron mediante procedimientos topográficos de poligonales y

radiación desde los vértices de la poligonal, teniendo en cuenta la densidad de puntos por cada 100 metros cuadrados de área.

Con base en ellos se realizó el procesamiento de los datos hasta encontrar el modelos digitales del terreno TIN (Triangulate Irregular Network) que definen el relieve encada caso.

Los terrenos levantados corresponden a la caracterización de tipos de terreno montañoso y escarpado, propuestos por el Instituto Nacional de Vías INVIAS, y sobre ellos se realizo un diseño geométrico de una carretera.

Con esta información se genero el diseño con ayuda de diferentes software de ingeniería apropiados para el diseño de carreteras y se analizo los resultados de área y volúmenes arrojados por los diferentes algoritmos de calculo, para posteriormente comparar resultados y hacer una correlación estadística de tal manera que conduzcan a generar conceptos, parámetros, formulaciones y criterios técnicos que agilicen la asimilación de las nuevas tecnologías en materia de levantamientos no solo topográficos, sino también de cartografía, arquitectura, etc., dependiendo de su propósito o finalidad, así como de la utilidad que resultan en materia de diseño, pues muchos modelos y proyectos pueden ser generados en tiempos relativamente breves con los métodos clásicos y apoyados en las modernas tecnologías. En particular el trabajo genera resultados partiendo de las aplicaciones en la ingeniería civil, pues el mayor desempeño de un profesional de la topografía en la república de Colombia se centra en esta rama de la ingeniería.

## **MODELO DIGITAL DEL TERRENO<sup>1</sup>**

Un modelo digital del terreno se puede definir como una adecuada aproximación matemática del terreno expresada mediante una base de datos topográfica (x, y, z) y que con base en ella se puedan obtener por interpolación las coordenadas de cualquier otro punto.

Las mediciones topográficas precisas para definir las coordenadas de los puntos del modelo, se capturan con tal densidad y distribución como para que las formas topográficas, obtenidas directamente o las que se consigan por interpolación, tengan la precisión impuesta al levantamiento. En cuanto a sus detalles planimétricos, está en función de la precisión inherente y a la escala requerida y en los altimétricos, según el estándar de precisión que se imponga, a los puntos de altitud desde los cuales y por los criterios usuales de interpolación, se podrán derivar curvas de nivel o cualquier otro procedimiento de representación del relieve.

Los métodos topográficos son los mismos que los usados en topografía convencional, únicamente se modifica la forma del tratamiento de los datos y su captura se realiza pensando en tal consideración. El método más operativo para crear esta base de datos es el que se conoce bajo la denominación de TIN (Triangulate

---

<sup>1</sup> LÓPEZ CUERVO Serafín y ESTÉVEZ. Topografía. Madrid. España. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda Edición. 1996

Irregular Network), el cual esta constituido por triángulos irregulares cuyos vértices definen todos los cambios significativos que es preciso medir para lograr una correcta definición topográfica del terreno.

Planimétricamente es fácil la captura de los puntos necesarios para definir sus formas topográficas (naturales o artificiales), lo mismo que plantear sus relaciones topológicas mediante la asignación de estructura de información. La altimetría implica mayor complejidad, tanto por la dificultad que entraña la elección de los puntos notables del terreno para la correcta definición de la superficie poliédrica que se ajuste a la superficie del terreno como por la definición de aquellos elementos que introducen cambios bruscos en su representación. Estas formas topográficas singulares constituidas por la red de drenaje, senderos, pie y corona de taludes, vaguadas, etc., se conocen con el nombre de líneas de rotura o líneas de quiebre, y constituyen una parte fundamental para la definición del relieve y comprenden todos aquellos elementos lineales que presentan cambios de pendiente y dirección en su desarrollo.

Las líneas de rotura son elementos geométricos, y como tal, tienen que definirse mediante la asignación de códigos de identificación y además imponer una estructura secuencial que permita identificar su estructura geométrica. Todas estas líneas se introducen en el proceso de cálculo de forma independiente, es decir, definiendo su punto inicial y final, así como todos los puntos intermedios de forma correlativa. Con base en estas estructuras se ajusta el relieve de los puntos altimétricos que definen las superficies poliédricas inscritas.

Los puntos definidos planimétrica y altimétricamente de forma aleatoria sirven para generar los triángulos que unen los vértices contiguos mediante líneas de pendiente constante. La definición de estos triángulos completa la estructura topológica que es preciso imponer al conjunto de puntos que definen el relieve de la zona. De la multitud de triángulos que se pueden construir, los más adecuados son los más próximos a los equiláteros, dado que estos son los que se han seleccionado de forma secuencial en la toma de datos como los más correctos para la definición del relieve, tanto por sus valores altimétricos como por su ubicación en la zona. Por tanto, la definición topológica de la base de puntos aleatorios deberá responder a tal considerando.

Una de las muchas estructuras topológicas que cumplen este requisito son los triángulos de Delaunay. El método Delaunay constituye una definición topológica y un método de interpolación, que a partir de una red de polígonos convexos (polígonos de Thiessen), que cumplen la condición de que todos los puntos de su interior son los más próximos al punto de control. Estos polígonos se construyen obteniendo la mediatriz entre cada dos puntos de control próximos y con la intersección de cada tres se hallan los circuncentros, puntos que constituyen los vértices de estas figuras. A partir de estos polígonos y mediante un ajuste en tres dimensiones se obtiene la triangulación de Delaunay, la cual impone la condición de que el circuncírculo de cualquiera de los triángulos, no contenga ningún otro punto en su interior.

La base de datos topográficos así definida constituye una de las unidades fundamentales de los Sistemas de Ingeniería y su composición debe responder en cuanto a precisión y densidad a los requerimientos del proyecto para la cual se ha generado. El paso de las formas discretas que definen dichas estructuras de puntos, a formas continuas, se realiza mediante algoritmos de interpolación. Ahora bien, estas funciones serán tanto más complejas en cuanto mayores sean las zonas a rellenar, caso que no debe presentarse en los modelos de cierta precisión al ser contradictorio tal procedimiento con la tolerancia exigida.

La precisión del M D T (Modelo Digital del Terreno) depende principalmente de la geometría y del intervalo del muestreo. La mejor geometría se obtiene a partir de triángulos irregulares, al ser esta la forma más simple y que mejor se puede ajustar a la topografía del terreno, mientras que el intervalo de muestreo depende fundamentalmente de la precisión del modelo, y esta se fija con el criterio de que las superficies definidas por los triángulos formados se ajusten de tal forma al terreno que la separación entre el modelo analítico definido por el M D T y las formas topográficas sea inferior a la precisión impuesta. En los modelos digitales del terreno de aplicación en ingeniería su densidad y distribución deben asegurar las tolerancias impuestas para la determinación de sus coordenadas.

En general, la experiencia ha demostrado que los algoritmos de interpolación no tienen una incidencia positiva en cuanto a la mejora de precisión de un modelo, sino en cuanto a la densidad de puntos y la correcta elección de las líneas de rotura lo que más condiciona a esta, y que las funciones sencillas son las más adecuadas para los modelos topográficos.

Es importante resaltar que este tipo de modelos obtenidos por topografía digital, son los más indicados para la fase del proyecto, donde pueden competir en calidad y costo con otras técnicas de levantamientos. No obstante, si la superficie de la zona se hace inabordable económicamente por tales métodos, será preciso recurrir a los procedimientos fotogramétricos, hasta llegar a una reducción de la zona de actuación del proyecto que permita este tipo de procedimiento.

Hoy en día, se está aceptando que, por métodos fotogramétricos, difícilmente se puedan alcanzar precisiones altimétricas superiores a los 15-20 cm., frente a los 1-2 cm., factibles de conseguir por métodos geométricos, y que estos rangos de precisión tienen una notable incidencia en la ejecución del proyecto aplicando Sistemas de Ingeniería. Con estos procedimientos, la definición de rasantes, secciones, etc., se realiza por métodos gráfico-numéricos con toda precisión y a ello debe tender el levantamiento topográfico, además de las ventajas que se puedan derivar en las fases del replanteo al actuar directamente sobre el terreno.

## **CALIDAD DE DATOS**

“Calidad es el grado en el que un conjunto de características inherentes de un servicio o producto, cumplen con los requisitos”<sup>2</sup>. (inherente: existe en algo, como una característica permanente).

El término calidad se refiere al conjunto de características inherentes a un producto o servicio que lo hacen apto para su uso. (Andrade 2006).

La calidad es una característica cualitativa de algo que supone su excelencia y su certeza, cumpliendo una serie de requerimientos o normas, pero el hecho de que sean los requisitos mínimos y que el producto los cumpla, no significa que este tenga calidad cuando las expectativas del usuario son otras, es decir, aun cuando un producto o servicio cumpla con los requisitos mínimos para ser usado dependiendo el usuario y de las expectativas con que este lo use lo puede calificar como de baja, media o alta calidad.

La calidad de un dato topográfico supone la intervención de procesos y recursos, que deben ser óptimos para que “El dato”, sea fiel a la realidad, dependiendo del uso que se quiere dar.

Es necesario en topografía reconocer que la calidad se refiere no solo a la precisión, entendida como el grado de acercamiento a la realidad en este caso a la determinación de las coordenadas de cada punto, sino que también involucra todos los procesos y procedimientos que intervienen en su obtención.

El dato para que sea necesario debe ser:

- Preciso
- Confiable
- Determinante
- Suficiente

Para su determinación debe haber:

- Personal calificado
- Tecnología apropiada para la determinación
- Tecnología apropiada para el procesamiento

El control de cada uno de los procesos puede estar inmerso en un sistema de gestión de calidad, siguiendo lineamientos, por ejemplo de las normas ISO 9000.

## **AREA DE ESTUDIO**

Para el presente proyecto en particular para efectuar las pruebas de los programas informáticos a los que ya se ha hecho referencia se hizo la selección de los terrenos

---

<sup>2</sup> Norma ISO 9000

buscando reunir unas características mínimas con el objetivo de poder realizar en ellos, los levantamientos topográficos planteados; estos terrenos son:

El terreno montañoso que se ha denominado TERRENO 1 seleccionado para el presente proyecto se encuentra ubicado en la colindancia de las vías circunvalar y Av. Venado de oro el cual hace parte de la Universidad Distrital sede “El Vivero” presenta una pendiente en el sentido oriente-occidente superior al 10% , con un área aproximada de una Ha. (figura 1)

El terreno ondulado seleccionado que se ha denominado TERRENO 2 se encuentra ubicado en la colindancia de la Universidad Distrital, sede el vivero, costado sur y en el sentido oriente –occidente con la vía venado de oro y la parte alta de la montaña. Dicho predio presenta una pendiente promedio de entre el 3 y 7 % . Con un área aproximada de una Ha. (figura1)

Con el fin de que los levantamientos queden georeferenciados al sistema de coordenadas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se tomó como punto de amarre el CD 554 ubicado en la parte superior del Teatro al aire libre la Media Torta en el andén inmediato a la carretera Circunvalar y cuyas coordenadas planas son: 1001302.403E, 1000346.927N , y cota 2674.561. Para orientar correctamente el levantamiento a partir del CD 554 se tomó azimut hacia el cerro de Monserrate y específicamente al centro de la cruz situada en la cúpula de la iglesia ubicada allí, y cuyo valor es de 59°01'58”

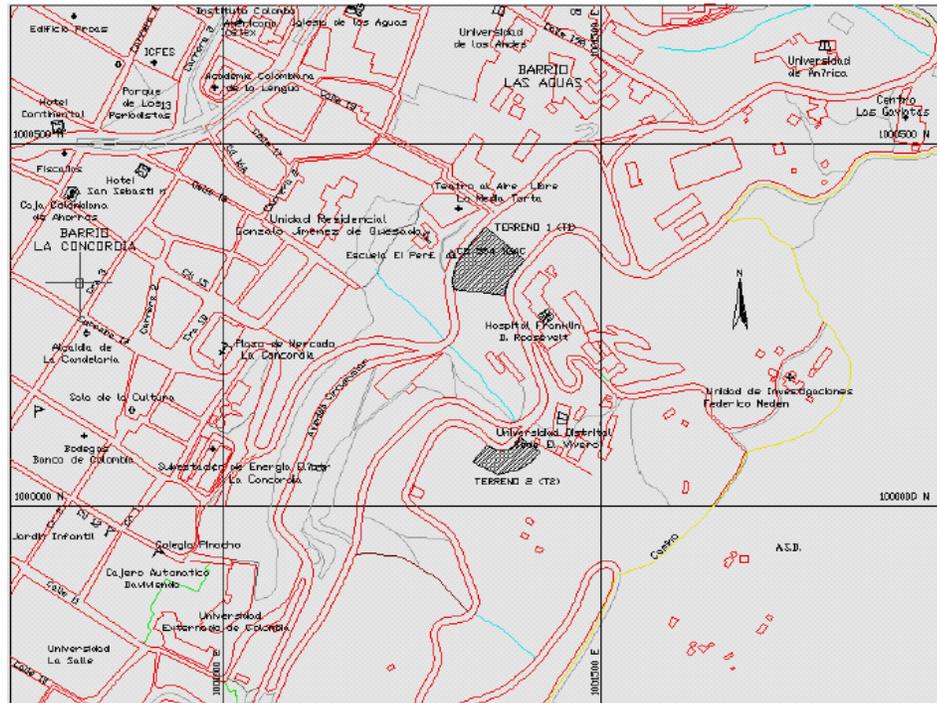


Figura 1. Localización de área de estudio

## PROCESAMIENTO

Para llevar a efecto el objetivo planteado se procedió a elaborar los modelos digitales de los terrenos en estudio, de acuerdo con los esquemas que se presentan a continuación.

A fin de obtener la información planteada, además de los modelos digitales, se ha diseñado dos tramos de vía: el primero en el Terreno 1 paralelo a la vía existente en el tramo aledaño a la media torta en una longitud de 90 metros, el cual incluye dos tramos lineales y uno en curva; el segundo en un tramo totalmente en curva también en una longitud de 90 metros, lo que permite trabajar los modelos en un caso típico de vías en planta. En lo que respecta al nivel de diseño para efectos de la experiencia se ha supuesto que las vías planteadas presentan una pendiente de 0% longitudinalmente, y lo mismo se ha considerado transversalmente a fin de facilitar el objetivo final que son las áreas transversales y los volúmenes. La sección típica que resulta se esquematiza en la figura 2.

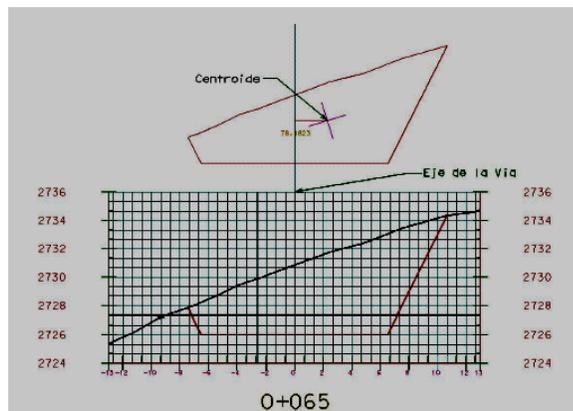


Figura 2. Sección típica del diseño

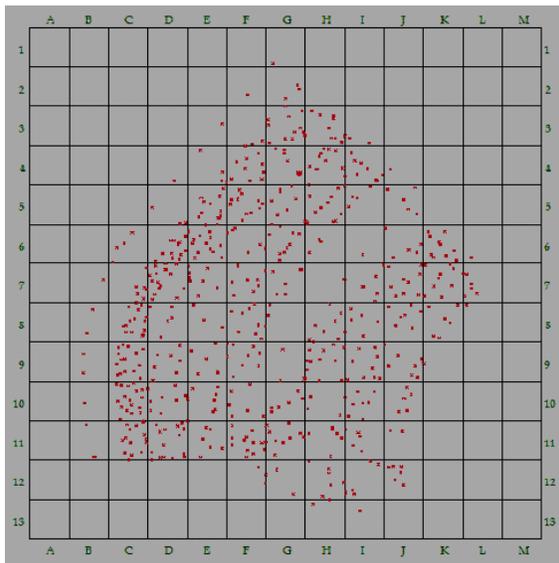


Figura 3. Nube de puntos T1

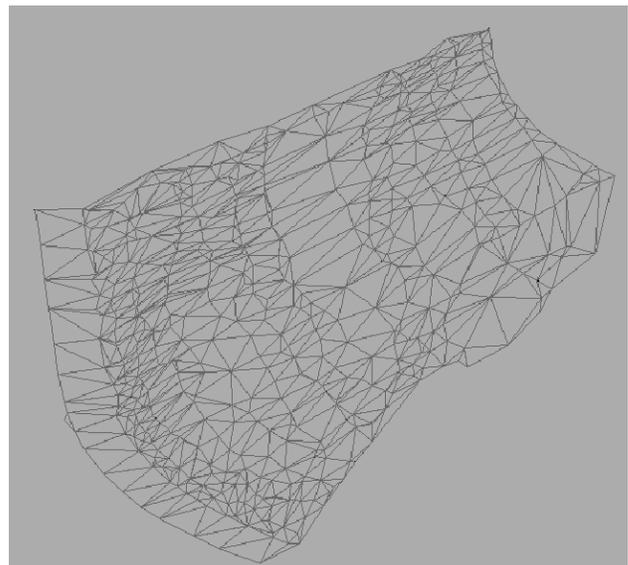


Figura 4. Modelo TIN T1

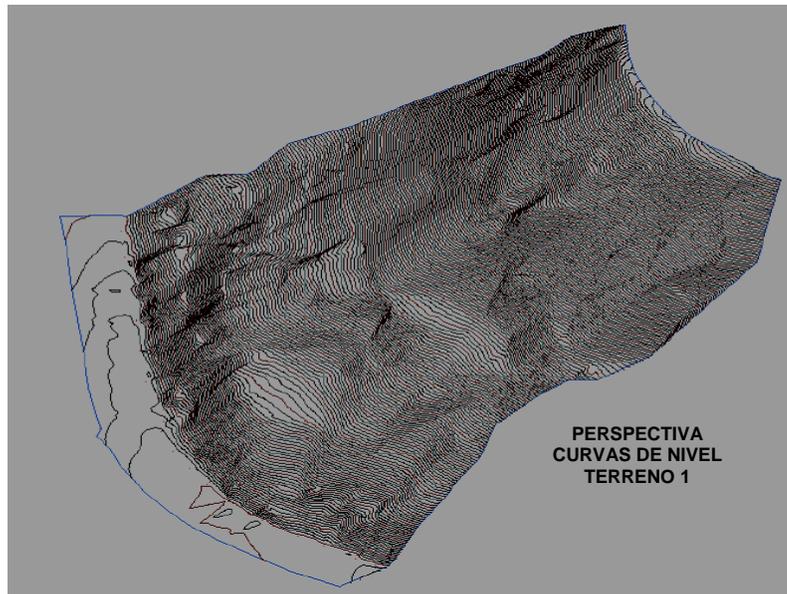


Figura 5. Perspectiva T1

**Densidad de puntos en T1 (Figura 10.1)**

Región	# Puntos						
G01	1	C06	4	C08	15	D10	9
F02	1	D06	14	D08	6	E10	6
G02	5	E06	15	E08	3	F10	7
E03	1	F06	6	F08	9	G10	6
F03	2	G06	10	G08	2	H10	3
G03	14	H06	3	H08	9	I10	8
H03	9	I06	1	I08	5	J10	5
I03	2	J06	5	J08	7	B11	2
D04	1	K06	10	K08	6	C11	15
E04	3	L06	1	L08	1	D11	16
F04	10	B07	1	B09	2	E11	8
G04	7	C07	5	C09	19	F11	15
H04	9	D07	15	D09	7	G11	9
I04	8	E07	8	E09	6	H11	6
J04	1	F07	8	F09	9	I11	5
D05	3	G07	6	G09	4	J11	2
E05	11	H07	1	H09	10	F12	3
F05	12	I07	6	I09	9	G12	2
G05	7	J07	10	J09	7	H12	6
H05	11	K07	9	K09	1	I12	5
I05	4	L07	6	B10	1	J12	6
J05	4	B08	2	C10	17	H13	2
						I13	1

Tabla 1. Densidad de puntos T1

PUNTOS (conteo)	FRECUENCIAS f	MARCA DE CLASE X	$\sum X$	$ X - \bar{X} $	$f \cdot  X - \bar{X} $	$(X - \bar{X})^2$	$f(X - \bar{X})^2$		
1-3	28,00	2,00	56,00	4,483	125,524	20,097	562,724		
4-7	29,00	5,50	159,50	0,983	28,507	0,966	28,022		
8-11	21,00	9,50	199,50	3,017	63,357	9,102	191,148		
12-15	8,00	13,50	108,00	7,017	56,136	49,238	393,906		
16-20	3,00	18,00	54,00	11,517	34,551	132,641	397,924		
$\sum f =$	<b>89,00</b>		$N = \sum X =$	<b>577,00</b>	$\sum  X - \bar{X}  =$	<b>27,017</b>	$\sum f(X - \bar{X})^2 =$	<b>308,075</b>	<b>1573,725</b>

Tabla 10.4 Análisis Estadísticos en T1

Medidas de Dispersión:

$$\text{Media Aritmética } \bar{X} = \frac{\sum fX}{\sum f} = 6.483$$

$$\text{Desviación Media} = \frac{\sum f |X - \bar{X}|}{N} = 3.462$$

$$\text{Desviación Típica} = s = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{X})^2}{N}} = 4.205$$

Tabla 2. Análisis de frecuencias densidad T1

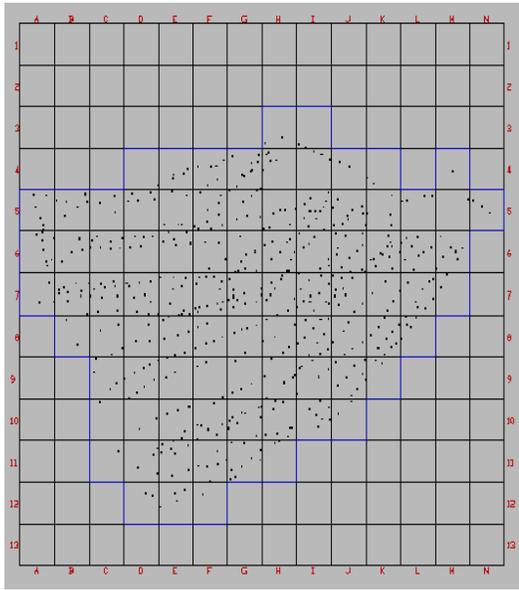


Figura 6. Nube de puntos T2

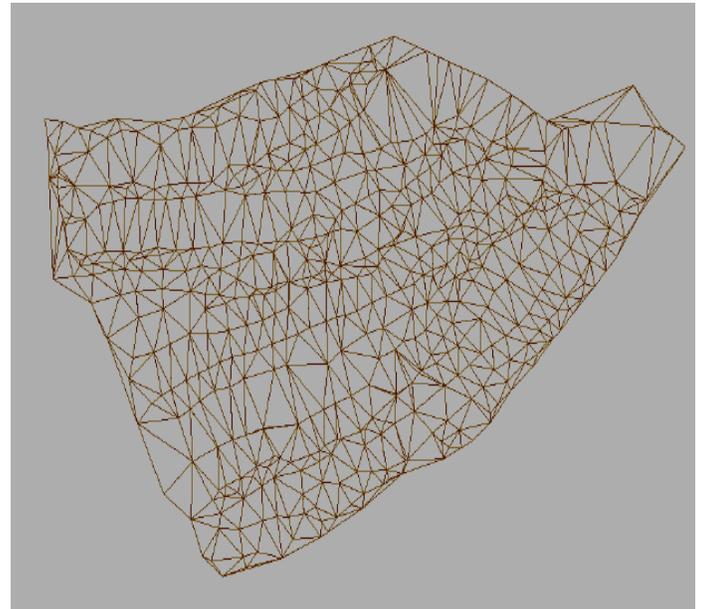


Figura 7. Modelo TIN T2

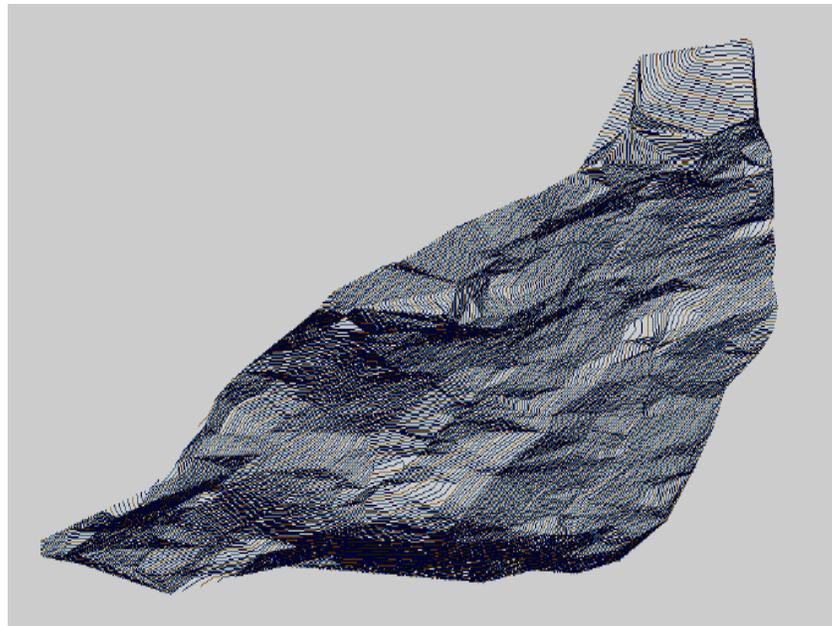


Figura 8. Perspectiva T2

Densidad de puntos en T2							
Región	# Puntos	Región	# Puntos	Región	# Puntos	Región	# Puntos
H03	2	L05	4	G07	11	G09	4
I03	2	M05	1	H07	9	H09	7
D04	1	N05	3	I07	13	I09	6
E04	4	A06	8	J07	10	J09	9
F04	7	B06	4	K07	5	K09	2
G03	10	C06	8	L07	8	C10	1
H04	5	D06	5	M07	2	D10	2
I04	3	E06	6	B08	2	E10	8
J04	2	F06	5	C08	4	F10	7
K04	3	G06	8	D08	3	G10	10
M04	1	H06	10	E08	8	H10	9
A05	6	I06	7	F08	6	I10	7
B05	6	J06	12	G08	5	J10	2
C05	3	K06	12	H08	6	C11	1
D05	6	L06	9	I08	11	D11	4
E05	6	M06	7	J08	6	E11	8
F05	11	A07	3	K08	10	F11	6
G05	7	B07	10	L08	5	G11	9
H05	7	C07	10	C09	4	H11	1
I05	12	D07	10	D09	9	D12	2
J05	9	E07	10	E09	3	E12	4
K05	5	F07	15	F09	3	F12	1
H03	2	L05	4	G07	11	G09	4

Tabla 3. Densidad de puntos T2

PUNTOS (conteo)	FRECUENCIAS f	MARCAS DE CLASE X	$\bar{X}$	$ X - \bar{X} $	$f \cdot  X - \bar{X} $	$(X - \bar{X})^2$	$f(X - \bar{X})^2$
1-3	24.00	2.00	48.00	4.483	107.592	20.097	482.335
4-7	33.00	5.50	181.50	0.983	32.439	0.966	31.888
8-11	26.00	9.50	247.00	3.017	78.442	9.102	236.660
12-15	5.00	13.50	67.50	7.017	35.085	49.238	246.191
$\sum f =$	<b>88,00</b>		$N = \sum \bar{X} =$	$\sum  X - \bar{X}  =$	<b>15.500</b>	$\sum f(X - \bar{X})^2 =$	<b>997.073</b>

Tabla 10.6 Análisis estadístico de puntos en T2

Medidas de Dispersión:

$$\text{Media Arimética } \bar{X} = \frac{\sum fX}{\sum f} = 6.182$$

$$\text{Desviación Media} = \frac{\sum f |X - \bar{X}|}{N} = 0.466$$

$$\text{Desviación Típica} = s = \sqrt{\frac{\sum f(X - \bar{X})^2}{N}} = 1.354$$

Tabla 4. Análisis de frecuencias densidad T2

## COMPARACION DE RESULTADOS

	Secciones cada 2 metros	Secciones cada 5 metros	Secciones cada 10 metros	Secciones cada 20 metros
Calculo en Autodesk Civil Series	15139.754	15160.590	15193.893	15289.093
Calculon en Eagle point	14887.346	14902.361	14940.958	14989.166
Calculo en Bentley InRoads	15140.724	15161.283	15195.206	15292.648
Calculo en Bentley InRoads y por Centroides	14856.341	14876.784	14893.258	14966.588

Tabla 5. Volúmenes Terreno 1

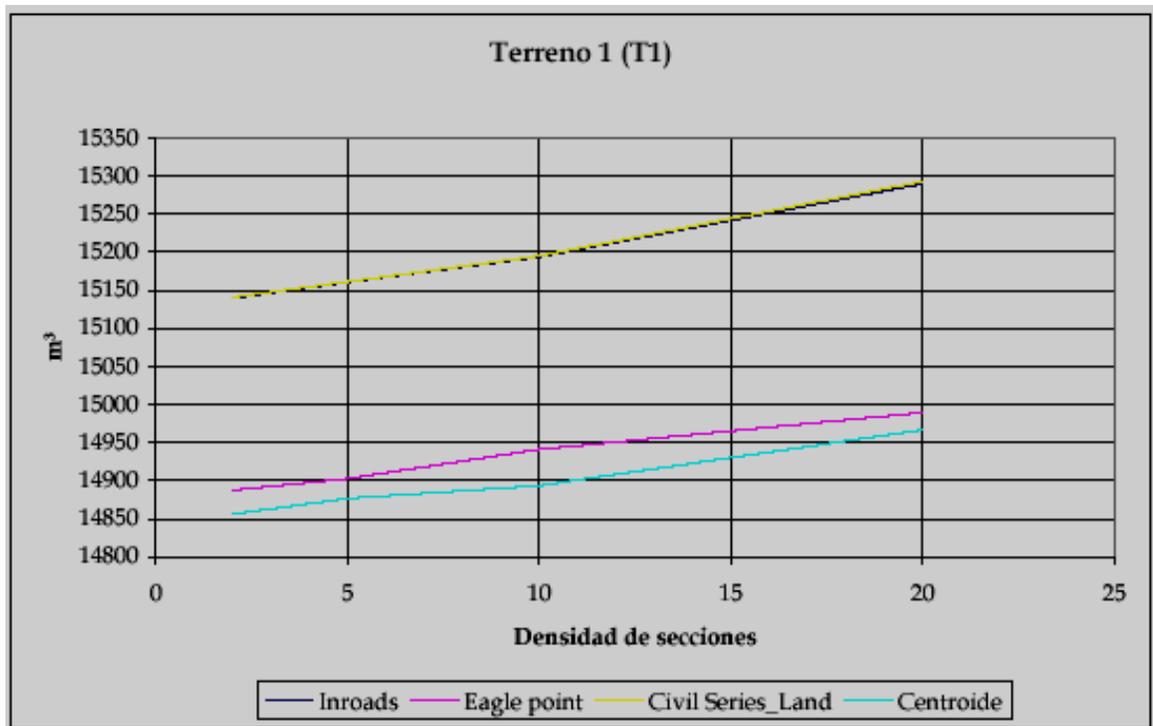


Figura 9. Volúmenes Terreno 1

	Secciones cada 2 metros	Secciones cada 5 metros	Secciones cada 10 metros	Secciones cada 20 metros
Calculo en Autodesk Civil Series	7240.878	7244.160	7218.150	7181.509
Calculo en Eagle point	7240.865	7252.620	7218.142	7182.315
Calculo en Bentley InRoads	7240.960	7243.553	7217.555	7181.509
Calculo en Bentley InRoads y por Centroides	7305.679	7309.030	7282.195	7244.664

Tabla 6. Volúmenes Terreno 2

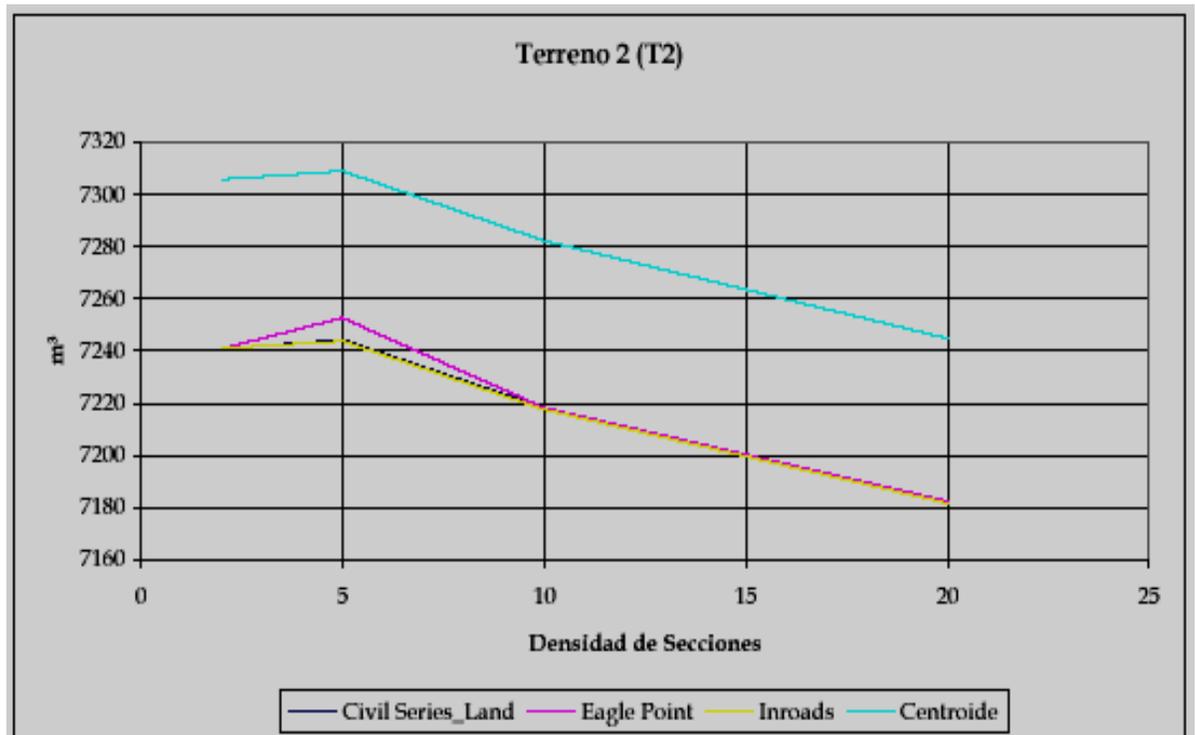


Figura 10. Volúmenes Terreno 2

## **CONCLUSIONES**

En general, la experiencia ha demostrado que los algoritmos de interpolación en un modelo digital no tienen una incidencia positiva en cuanto a la mejora de precisión de un modelo, sino más bien que es la densidad de puntos y la correcta elección de las líneas de rotura lo que más condiciona a esta, y que las funciones sencillas son las más adecuadas para los modelos topográficos.

La certidumbre en la calidad del dato es directamente dependiente del conocimiento experto y de los recursos tecnológicos. Elemento que aún aquí no hemos evaluado.

Las especificaciones son del siglo pasado y los equipos del nuevo siglo. En las especificaciones no se diferencian entre equipos opto-mecánicos y electrónicos.

El procesamiento influye en los resultados, los software aplican algoritmos muy similares, pero en realidad y en proyectos reales, largos y complejos, la aproximación de cantidades sí difieren ostensiblemente.

## **REFLEXIONES**

El ingeniero debe tener la capacidad de aprender y desaprender conocimientos, métodos y aplicaciones reevaluadas.

La calidad de un dato no se obtiene con el argumento "Es que siempre lo he hecho así y así debe ser".

Aunque la tecnología permite optimizar en tiempo y precisión no es la que prima en la concepción de los proyectos.

## BIBLIOGRAFIA

BO ADA, A. 2002. Conceptos Básicos de Geoestadística. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. CIAF.

LPEZ CUERVO Serafín y ESTÉVEZ. Topografía. Madrid. España. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda Edición. 1996

N O R M A TÉCN I C A C O L O M B I A N A N T C - I S O 9001 (Segunda actualización)

S E X T O C O N G R E S O N A C I O N A L D E T O P O G R A F Í A , T E R C E R O I N T E R N A C I O N A L . Medellín, Colombia. 1998. Memorias.

S O B E R A T S M A S S A N E T Miguel. Levantamientos Topográficos sin Croquis. En: Topografía y Cartografía. Madrid. España. Vol XV. N um 84.

S P I E G E L , M . 1970. Estadística – Serie Schaum. Libros M c G r a w - H i l l de M é x i c o , S . A . de C.V.

S W O K O W S K I , Earl W . Calculo con geometría analítica. México D.F. Grupo Editorial Ibero América. 1982

T O R R E S , A . y V I L L A T E , E . Topografía. Bogotá, Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuarta edición. 2001.

W O N N A C O T T , T . , y W o n n a c o t t , R . 1997. Introducción a la Estadística. 5a edición. Editorial Limusa, S. A. de C.V., M é x i c o , D . F .