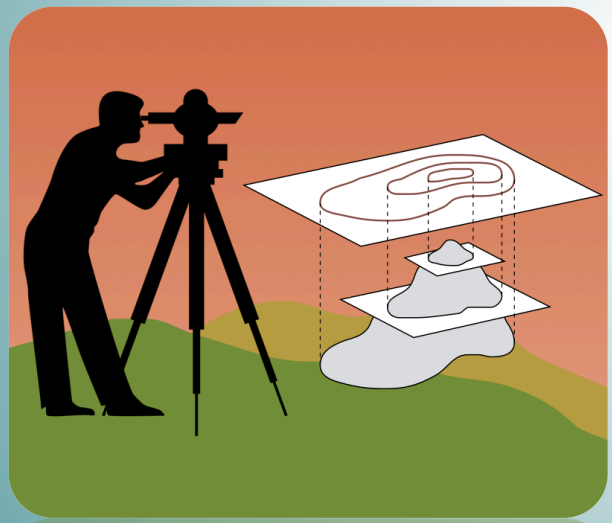
Topografía y Geodesia-G337

Bloque I. Tema 1.
Explotación de bases cartográficas numéricas



Javier Sánchez Espeso

Raúl Pereda García

Dpto. de Ingeniería Geográfica

y Técnicas de Expresión Gráfica

Este tema se publica bajo Licencia:

Creative Commons BY-NC-ND 4.0

3.1 Definiciones

Términos de uso frecuente:

- Modelo digital de elevaciones (Digital Elevation Model, **DEM**).
  - Puntos regularmente espaciados, terreno.
- Modelo digital de terreno (Digital Terrain Model, **DTM**).
  - Puntos y líneas 3D, terreno.
- Modelo digital de superficie (Digital Surface Model, **DSM**).
  - Puntos regularmente espaciados, altitud máxima de los objetos sobre el terreno.
- Malla irregular de triángulos (Triangulated Irregular Network, **TIN**).
  - Triángulos contiguos no superpuestos.
- Línea de rotura (**breakline**).
  - Línea 3D que describe un cambio en la forma de la superficie.
- Curva de nivel (**contour**).
- Puntos aleatorios (**mass points**)
  - Puntos irregularmente distribuidos, terreno.

3.2. Modelos de datos para definir una superficie

- La superficie terrestre es una superficie continua.
- Las posiciones que la modelizan se capturan de forma discreta.
- Necesariamente, la definición completa de una superficie, precisa de una interpolación a partir de los datos disponibles.
  - Una superficie supone que para una posición (X,Y), se tiene un valor de la altitud (H).
- Desde el punto de vista del almacenamiento, se consideran tres modelos de superficies:
  - Mallas irregulares de triángulos (TIN).
  - Mallas regulares (DEM, DSM)
  - Curvas de nivel.

3.2.1.- Modelo TIN

La superficie se aproxima por una malla de triángulos irregulares contiguos, que cubren totalmente la zona de interés.

- Fácil de materializar.
- Captura de los datos es clara.
- Altitud se obtiene de forma directa y simple.
- Precisa

¿Cómo se obtiene la malla de triángulos?

3.2.1.- Modelo TIN

- **Problema clásico de geometría computacional**.
- No se plantea como una superficie 3D, sino " **2D 1/2** ".
- Dado un **conjunto de puntos (P),** para formar un TIN:
  - Se proyectan los puntos en el plano (XY).
  - Se obtiene una malla, bidimensional.
  - Se reintroduce la coordenada (Z), obteniéndose el TIN.
- **Condicionantes:**
  - Triangulación única para P: consistencia y reproducibilidad.
  - Los triángulos deben ser lo más equiángulos posibles.
- El algoritmo de **Voronoi - Delaunay** es el preferido.

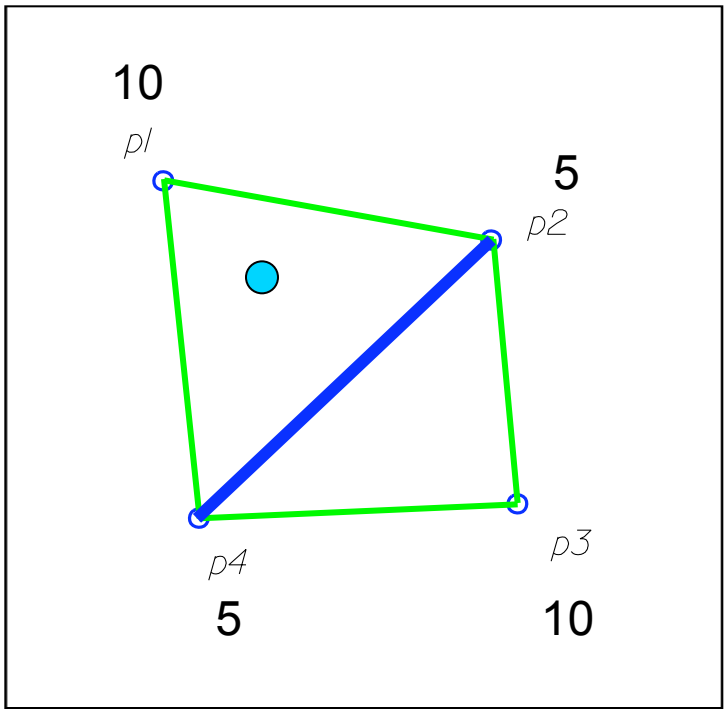
3.2.1.- Modelo TIN

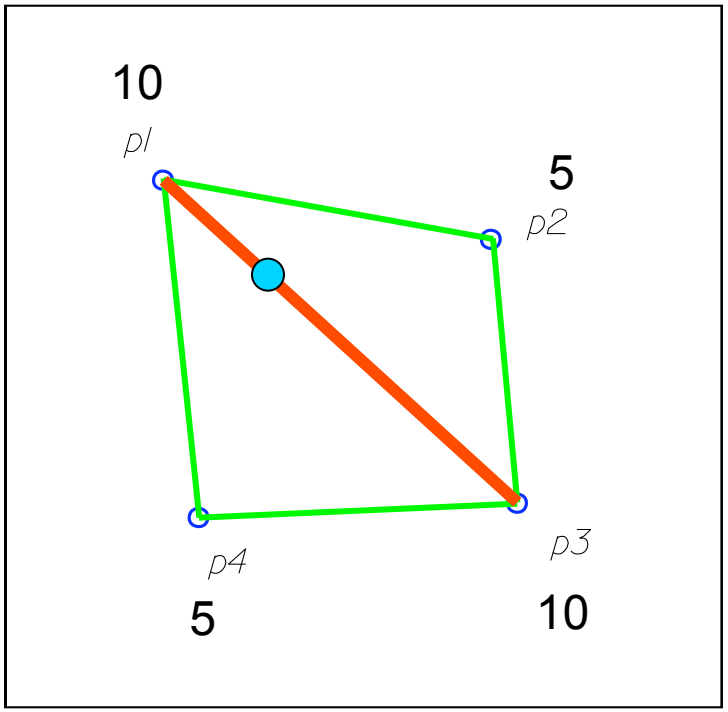
Un **ejemplo práctico** sencillo: para un conjunto

P = {p1,p2,p3,p4}, caben dos soluciones posibles, variando

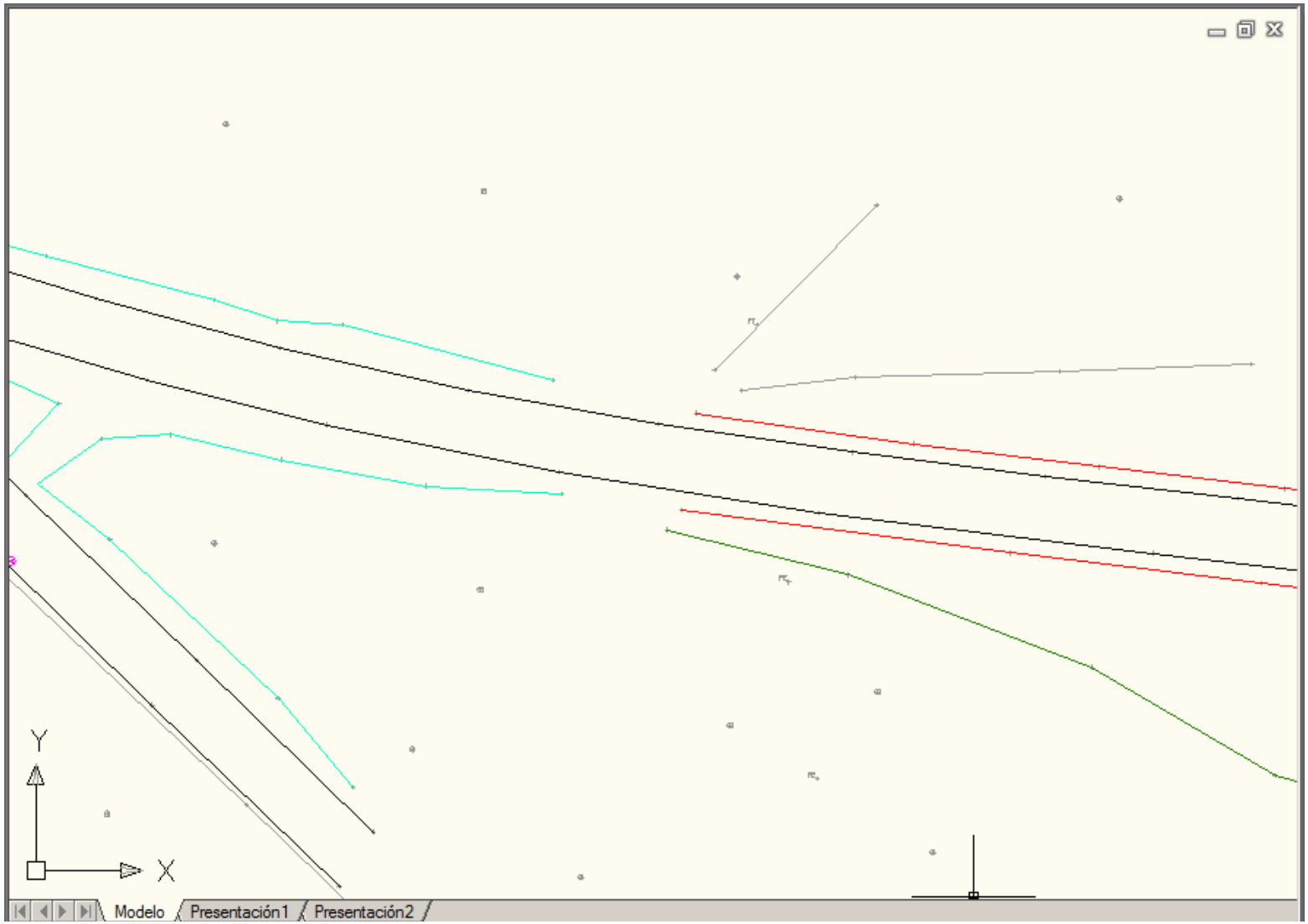
la diagonal del cuadrilátero**. ¿Cuál es la que se genera?**

¿Y a cuál responde el terreno natural?



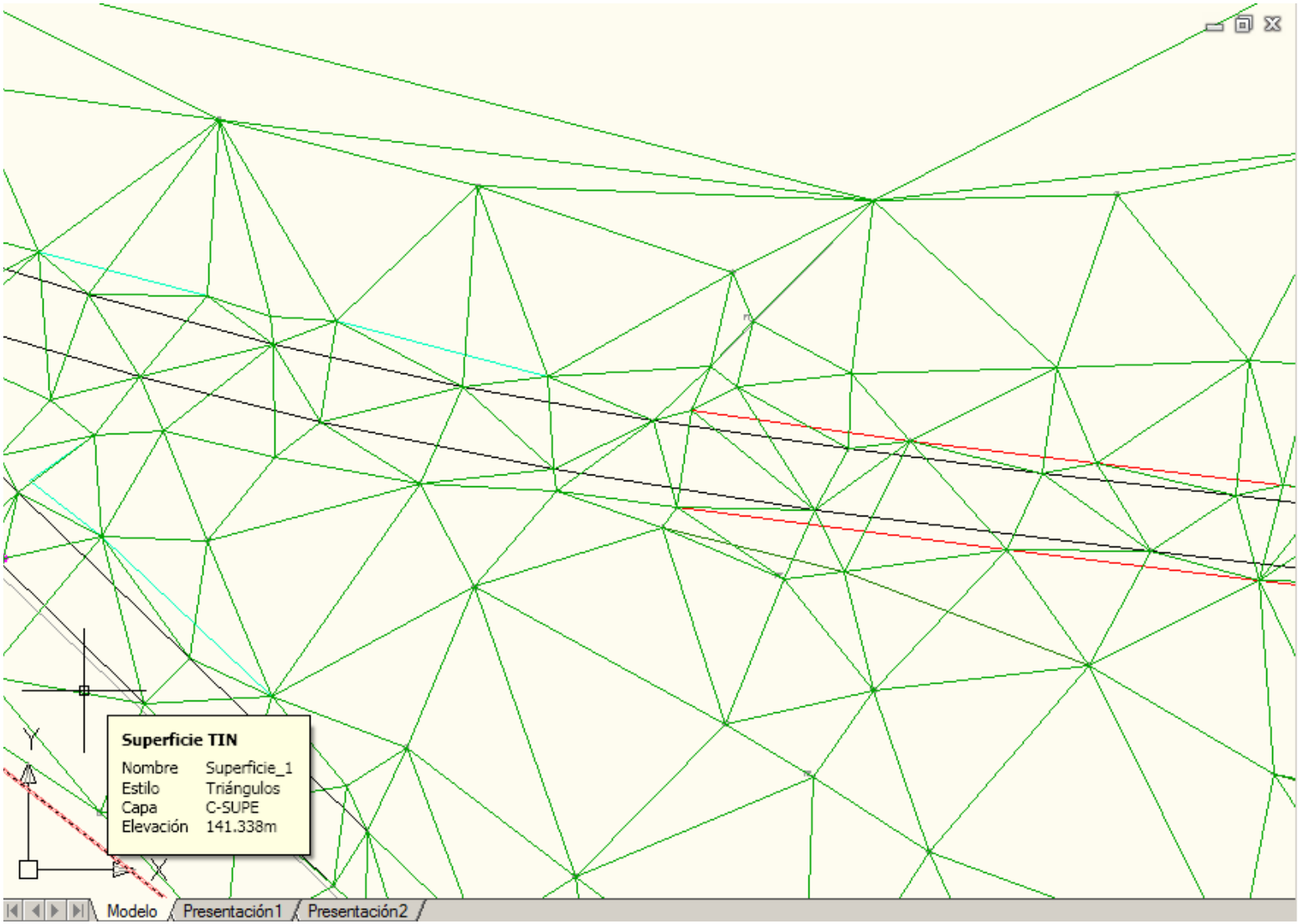


3.2.1.- Modelo TIN



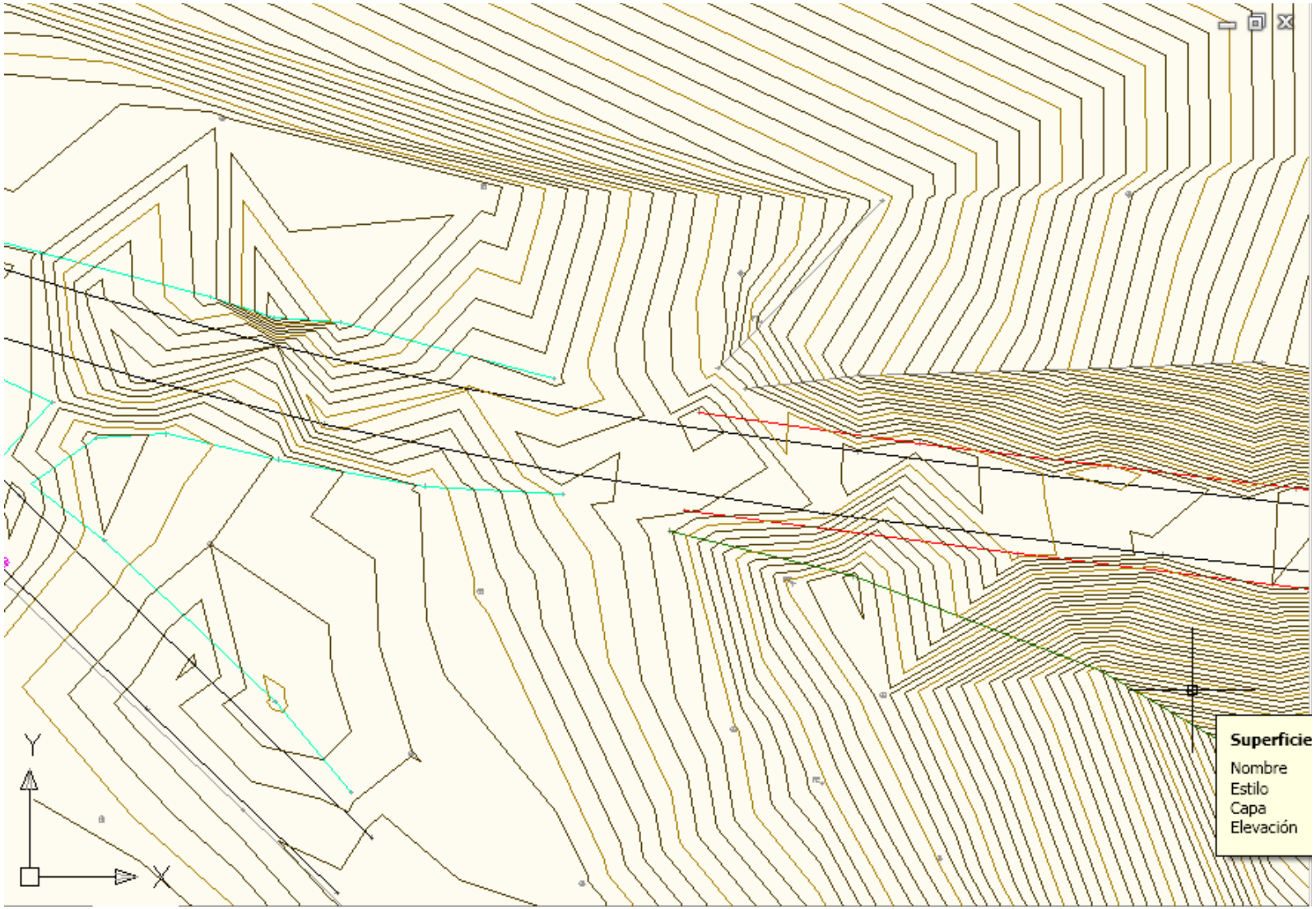
Se muestran: bordes de calzada, cunetas, taludes en el terreno natural. (Cabezón de la Sal, levantamiento topográfico 1/1000)

3.2.1.- Modelo TIN



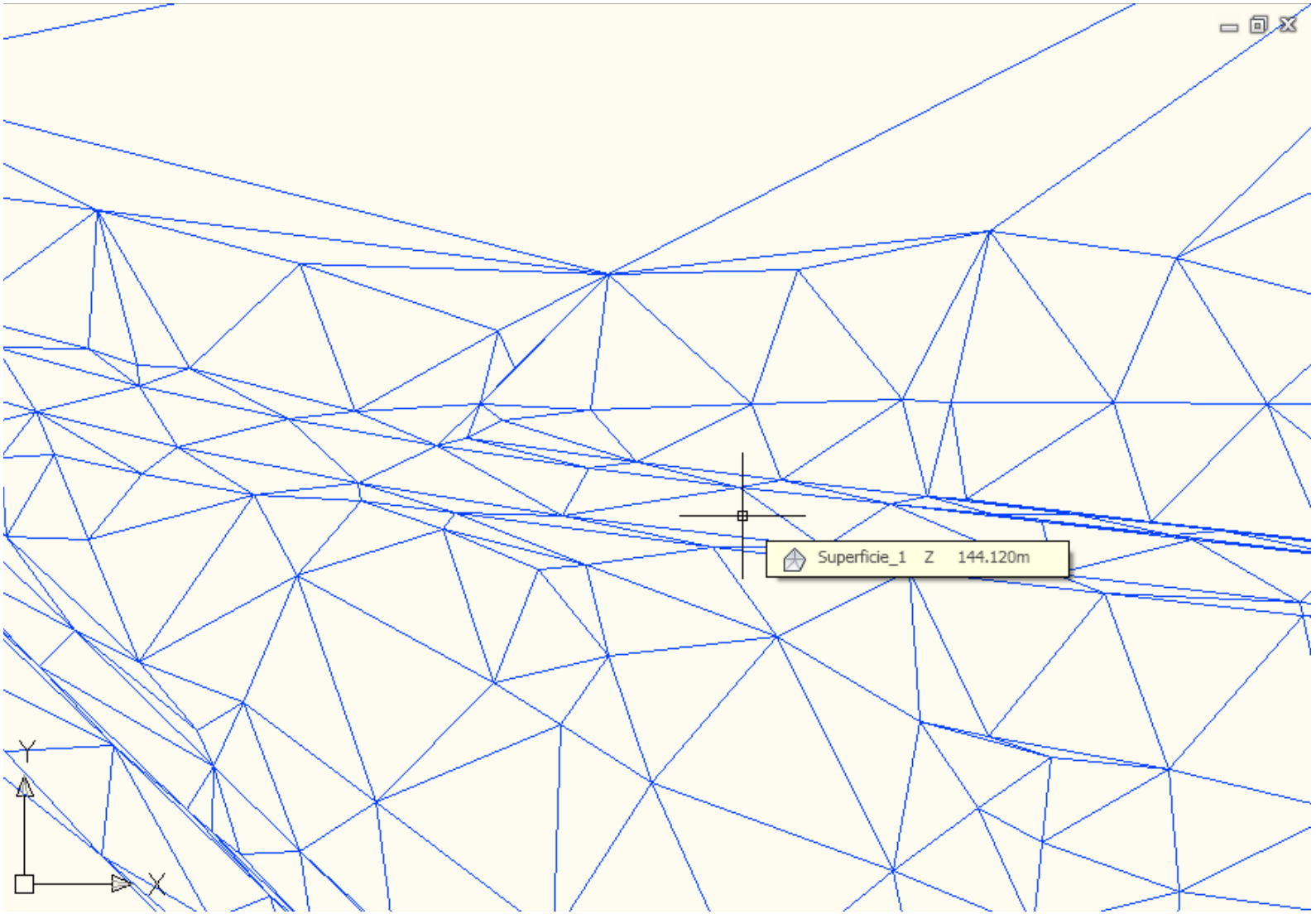
Resultado de la triangulación introduciendo únicamente los puntos, como posiciones «aleatorias», no formando parte de las líneas.

3.2.1.- Modelo TIN



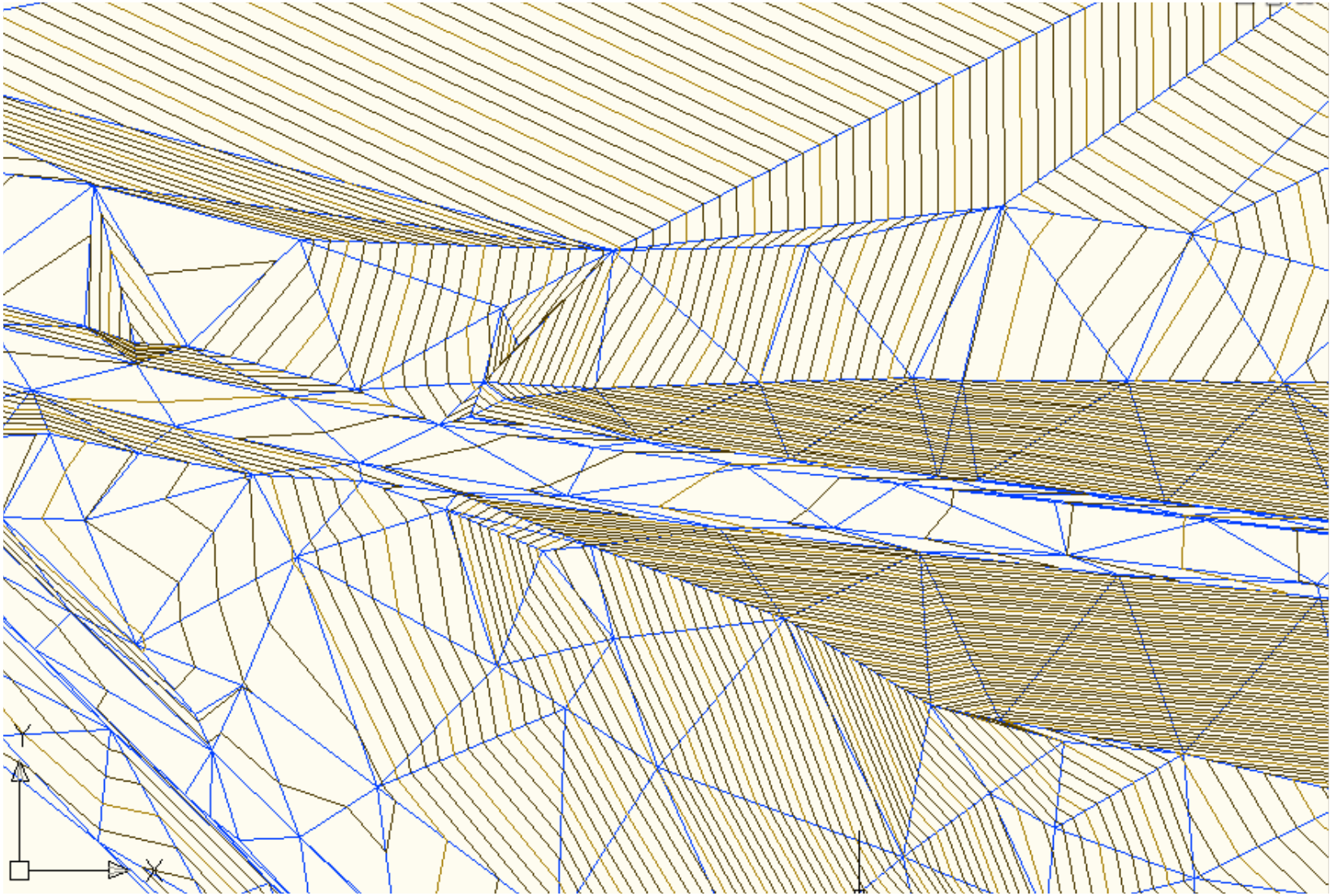
Resultado de la triangulación introduciendo únicamente los puntos, como posiciones «aleatorias», no formando parte de las líneas.

3.2.1.- Modelo TIN



Resultado de la triangulación imponiendo que las líneas de planimetría son roturas: coacción a los lados de los triángulos formados.

3.2.1.- Modelo TIN

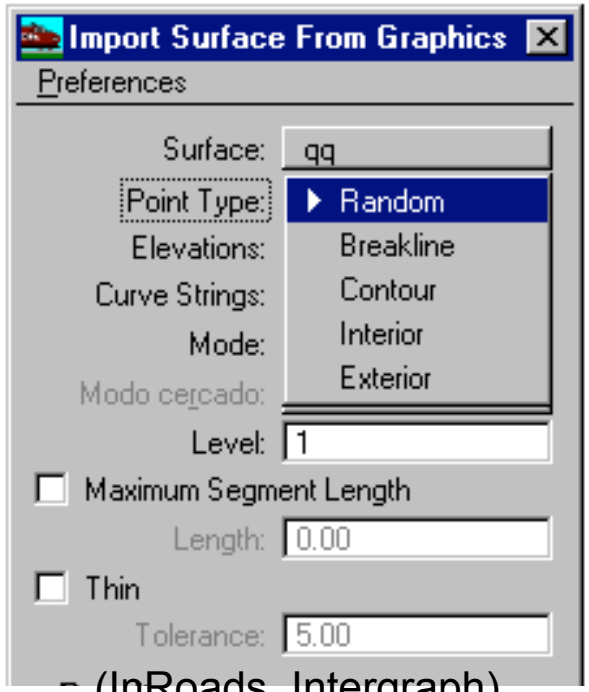


Resultado de la triangulación imponiendo que las líneas de planimetría son roturas: coacción a los lados de los triángulos formados.

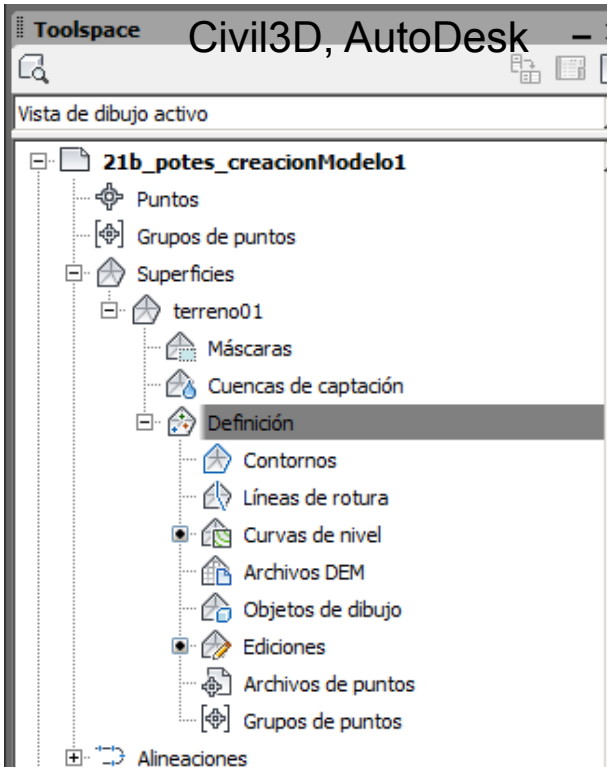
3.2.1.- Modelo TIN

Un conjunto de puntos, distribuidos irregularmente, configura un TIN conforme al modelo de Delaunay que no responde a la superficie topográfica: es preciso **coaccionar la triangulación que se genera**.
Condicionantes básicos: **líneas de quiebro**, duras, de rotura (*breakline*) y definición de los **límites del modelo**.

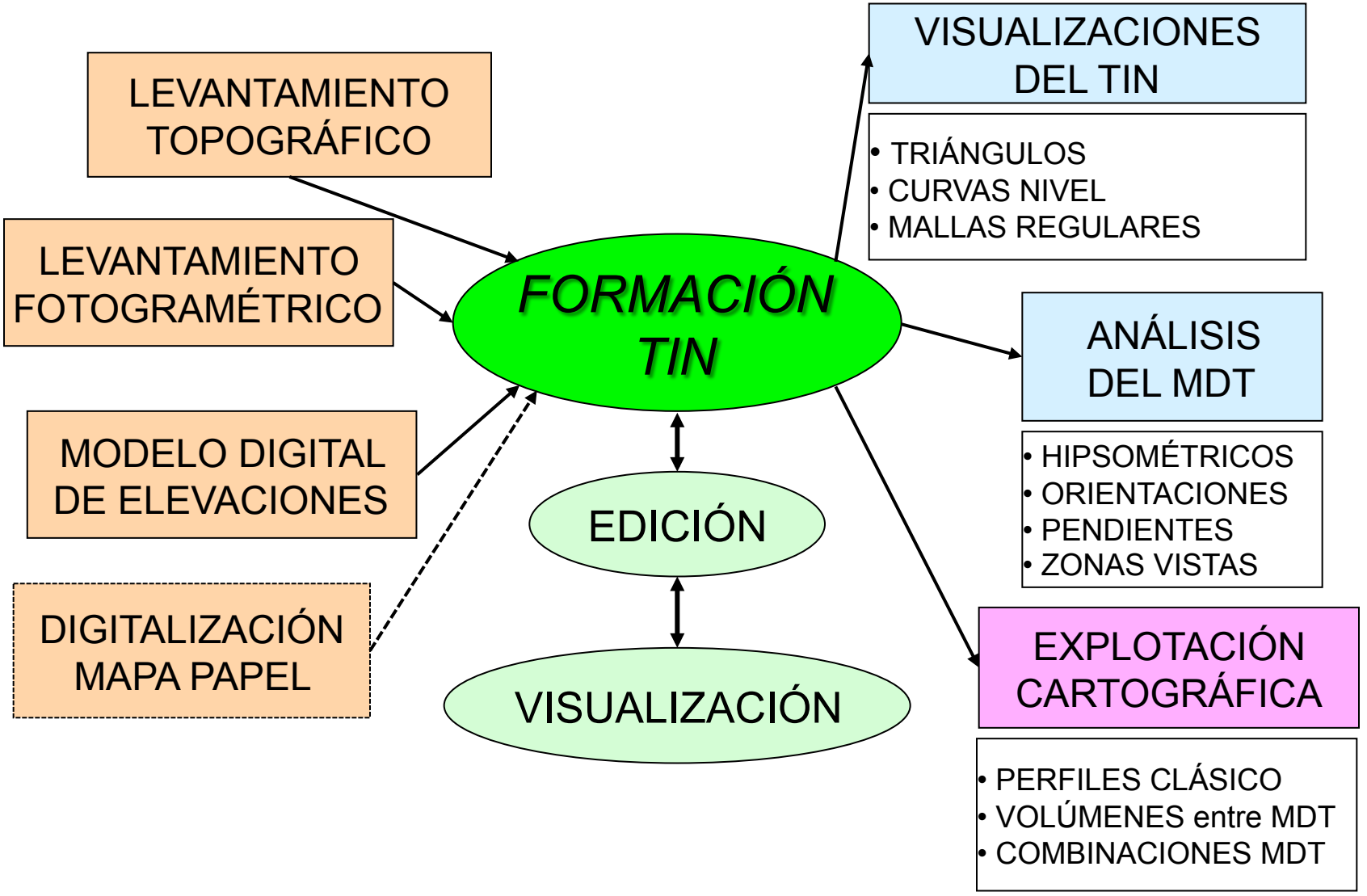
(MDT-TCP)



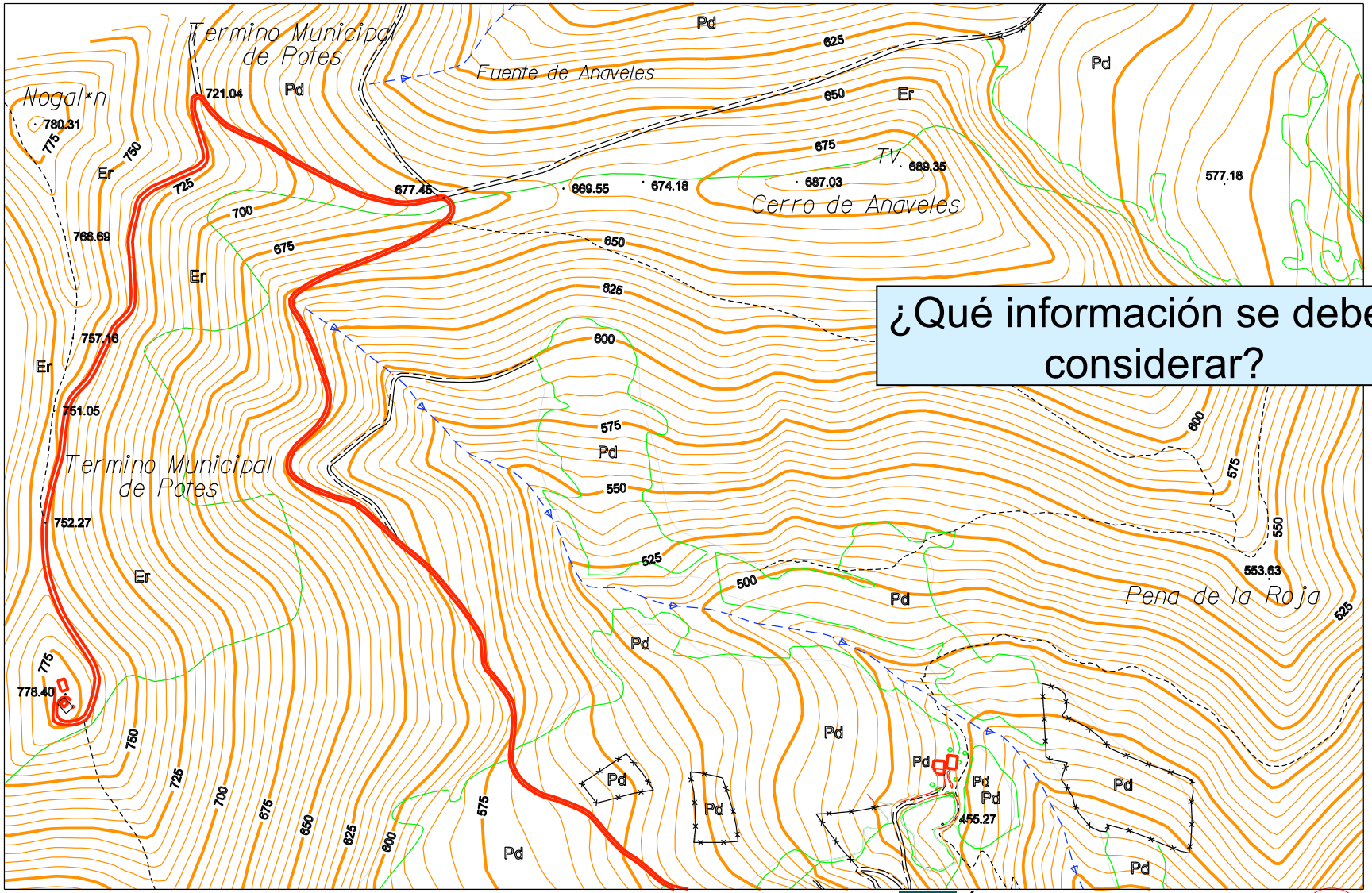
(InRoads, Intergraph)



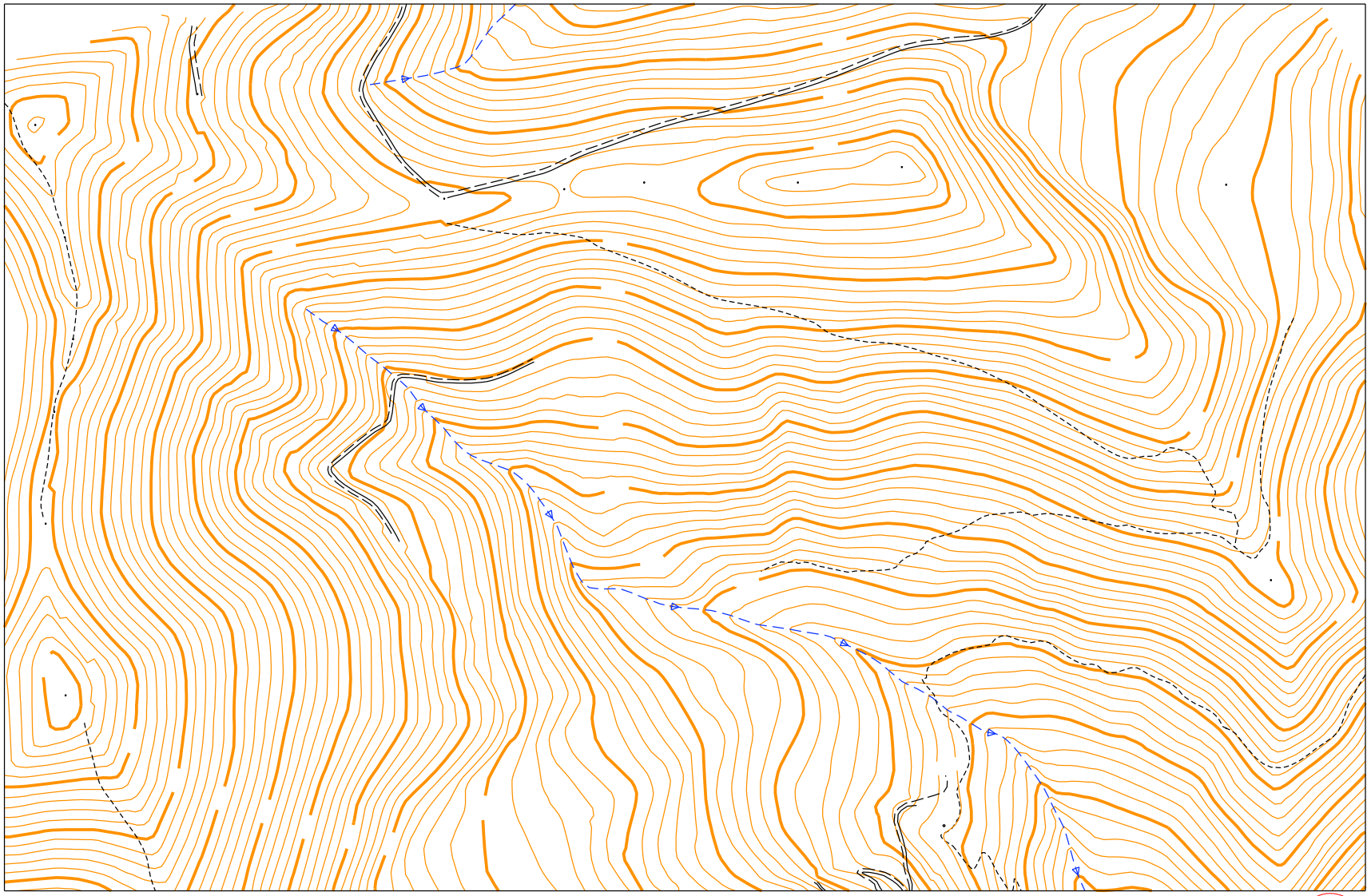
3.2.1.- Modelo TIN: esquema general



3.2.1.- Modelo TIN: datos



3.2.1.- Modelo TIN: datos

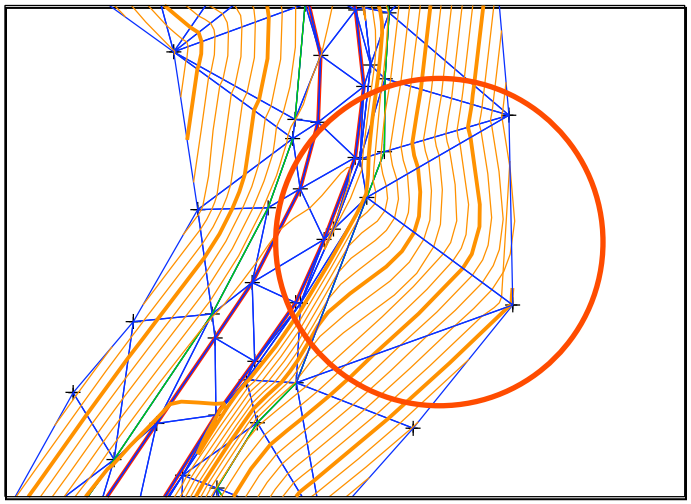


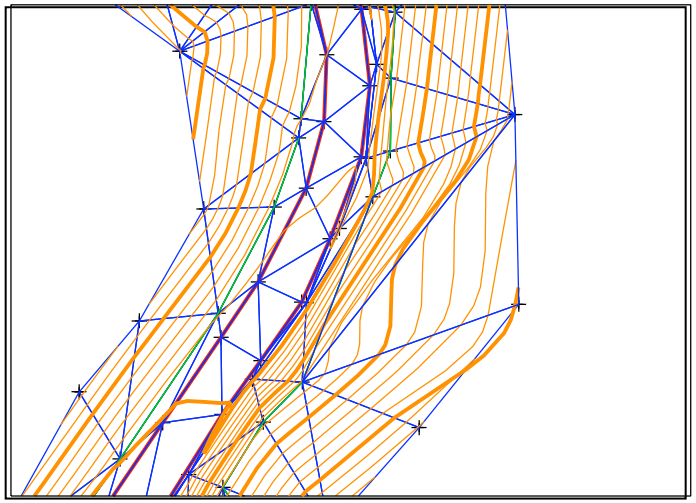
Datos a utilizar: puntos aleatorios, curvas de nivel y lineas de rotura.

3.2.1.- Modelo TIN: edición

Herramientas de edición típicas en los TIN:

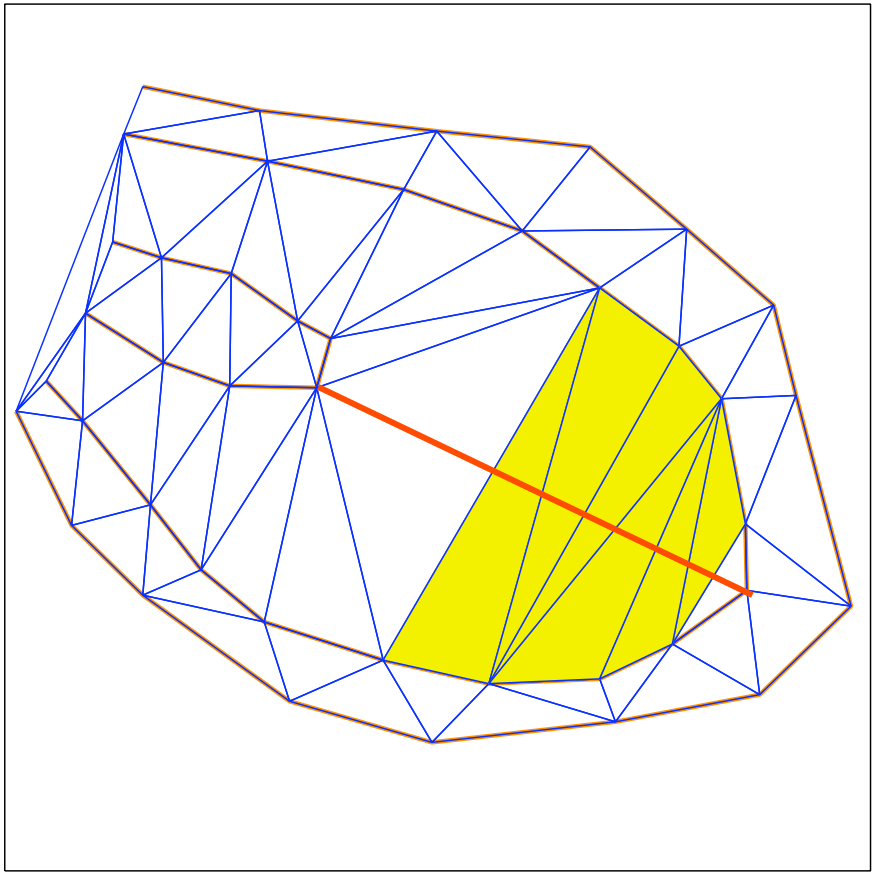
- Modificación de **puntos**: eliminación.
- Problemas en los **límites del modelo**.
- Modificación **lados de triángulos**: eliminación, cambio de diagonales.

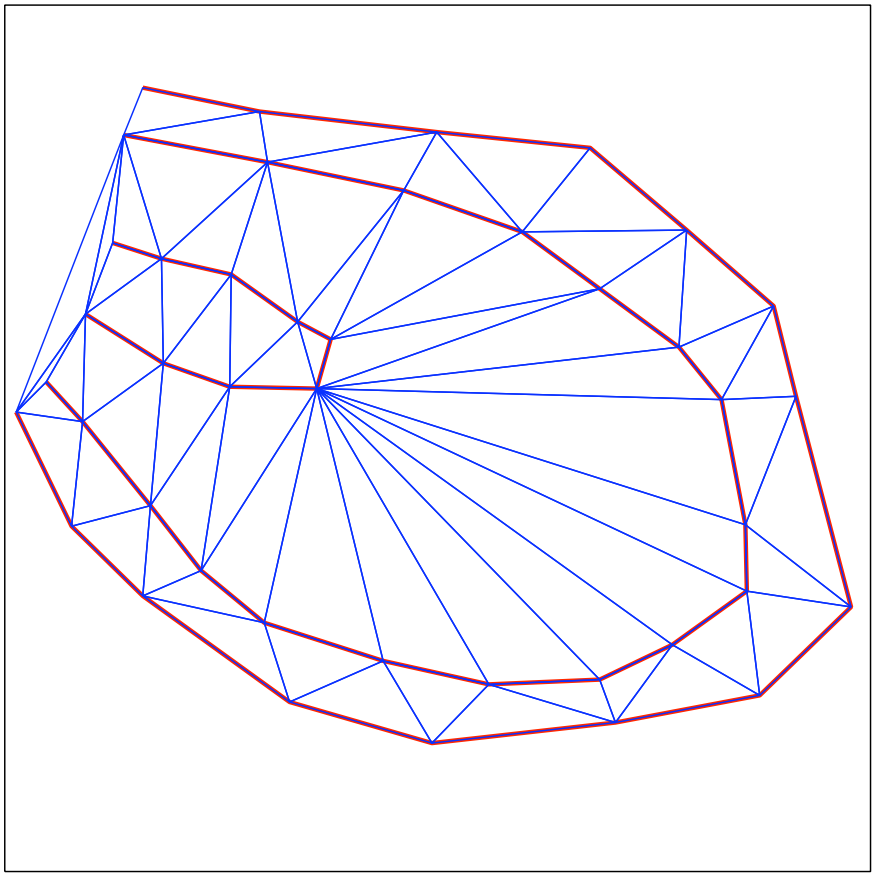




3.2.1.- Modelo TIN: edición

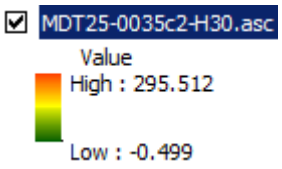
Problema típico: formación de zonas planas en divisorias.





3.2.2. Superficies ráster

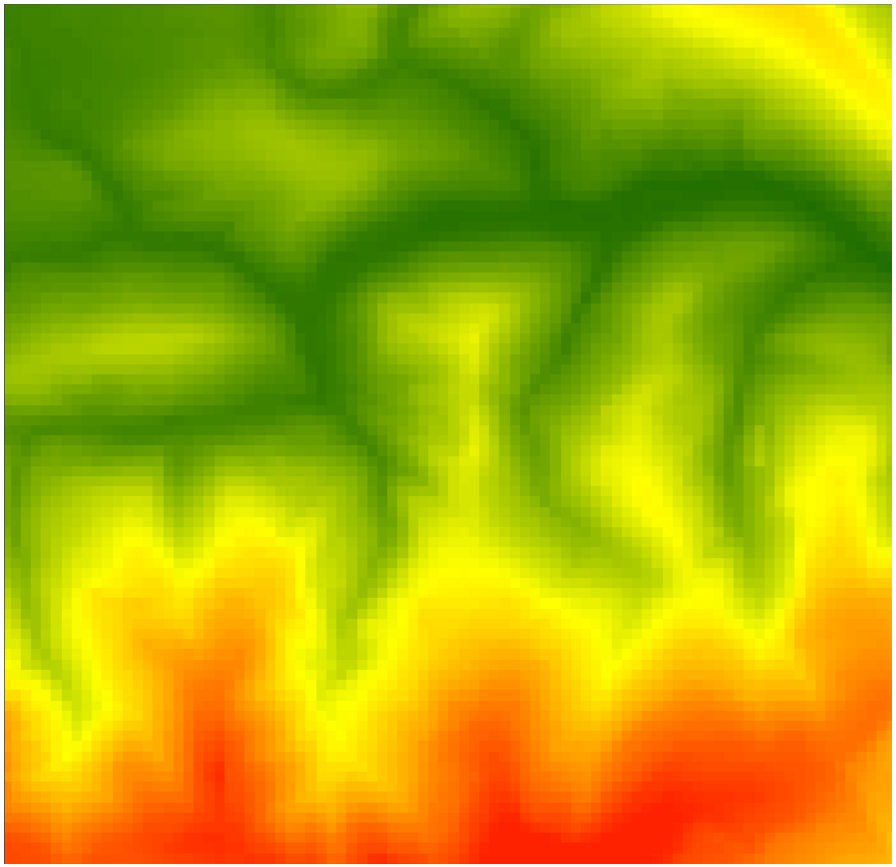
- Usan modelos raster para almacenar la información de la superficie: se dispone de la altitud según un intervalo regular en la dirección X e Y.



MDT25-0035c2-H30.asc

```
1  NCOLS 553
2  NROWS 385
3  XLLCORNER 444200
4  YLLCORNER 4807100
5  CELLSIZE 25
6  NODATA_VALUE -999
7  115.939 111.97 111.085 110.321 110.128
   109.376 113.485 119.207 123.404 127.615
   129.346 125.208 119.731 117.617 115.85
   114.57 115.352 115.765 114.958 114.413
   113.567 111.797 109.733 109.866 110.281
   114.116 117.412 119.325 121.555 123.046
   121.705 119.518 121.285 119.949 116.053
```

Ln : 8 Col : 71 Sel : 0 | Dos\Windows | ANSI | INS



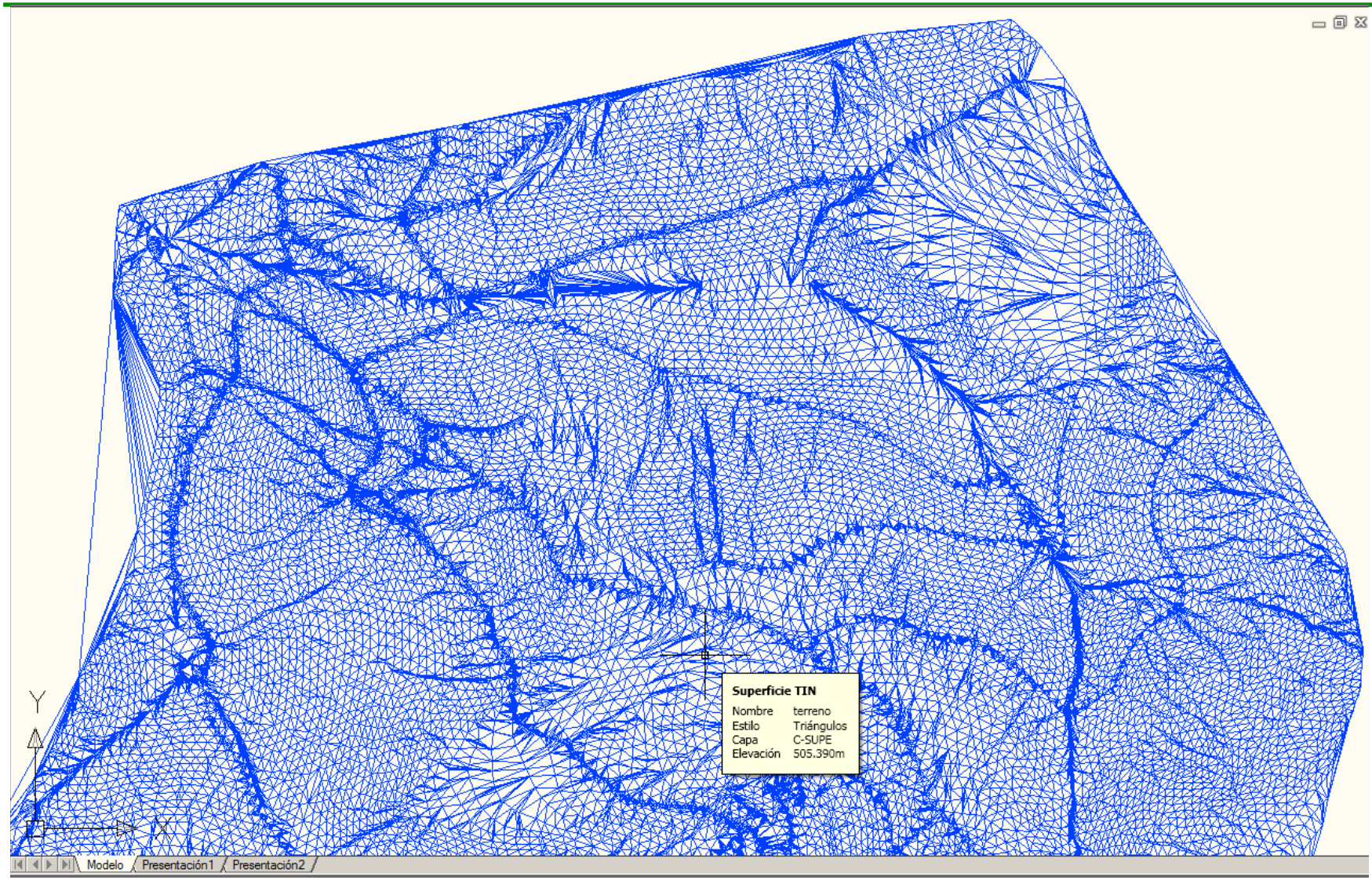
3.2.2. Superficies ráster

- Modelos: DEM, DSM.
- La resolución de la rejilla determina la precisión de la superficie.
- Adecuados cuando no se precisa una definición detallada de la superficie, debido a la imposibilidad práctica de recoger discontinuidades.
- Aplicaciones caracteristicas:
  - Análisis de la superficie del terreno: mapas de pendientes, mapas de orientaciones.
  - Análisis hidrológico.
- Se pueden generar:
  - Captura directa.
  - Interpolación a partir de un conjunto discreto de puntos.
  - A partir de un TIN.

3.2.3. Curvas de nivel

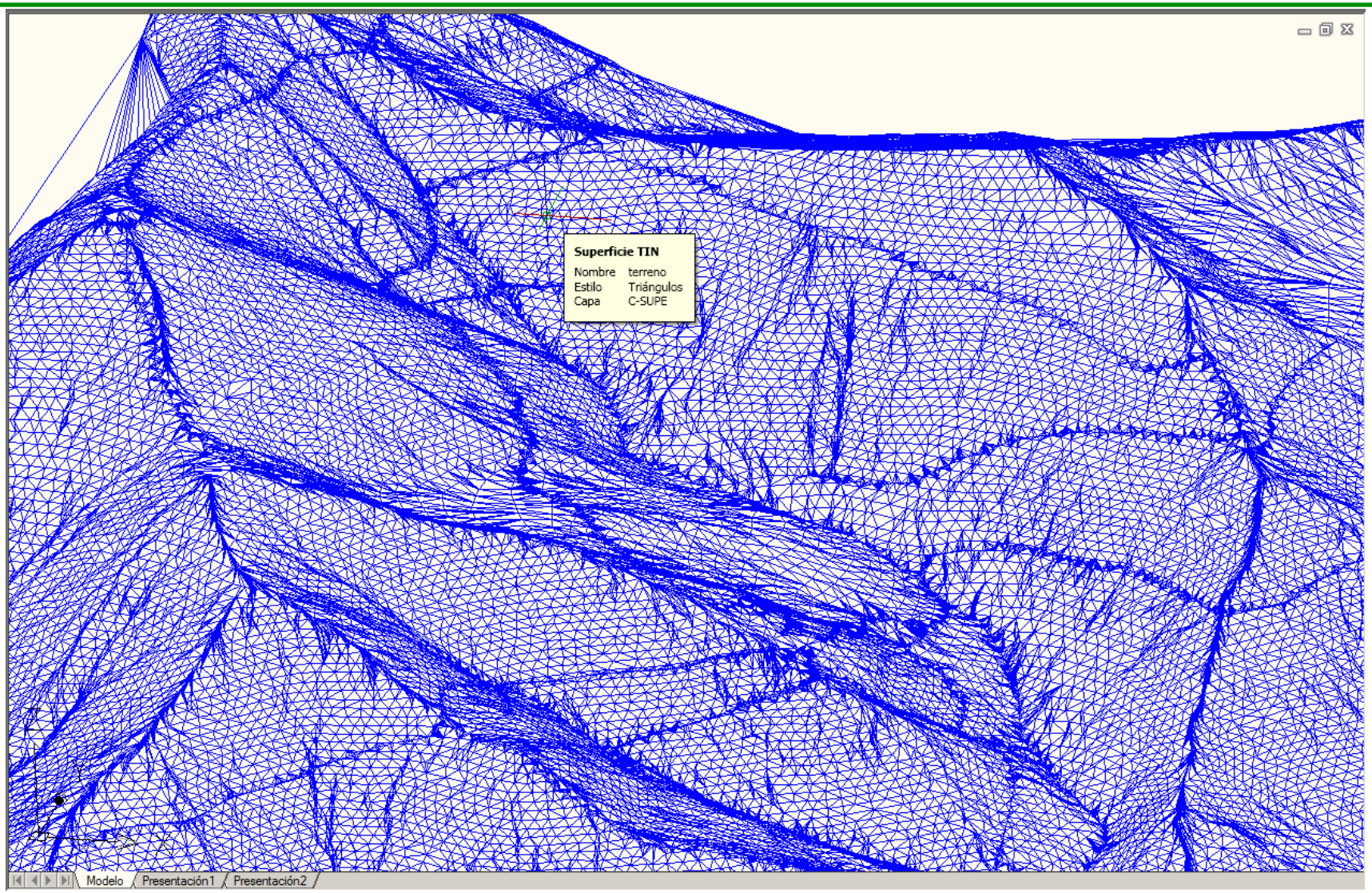
- Líneas de altitud constante para una superficie.
- Representación cartográfica muy eficiente en mapas, que describen la superficie terrestre de forma clara y sencilla de entender por un usuario.
- Desde un punto de vista digital, son un producto final derivado de alguno de los modelos anteriores. De forma directa, a partir de las curvas no se pueden obtener otros productos o la altitud para nuevos puntos.

3.3. Visualizaciones de una superficie.



TIN. Triángulos. Vista planta o superior

3.3. Visualizaciones de una superficie.

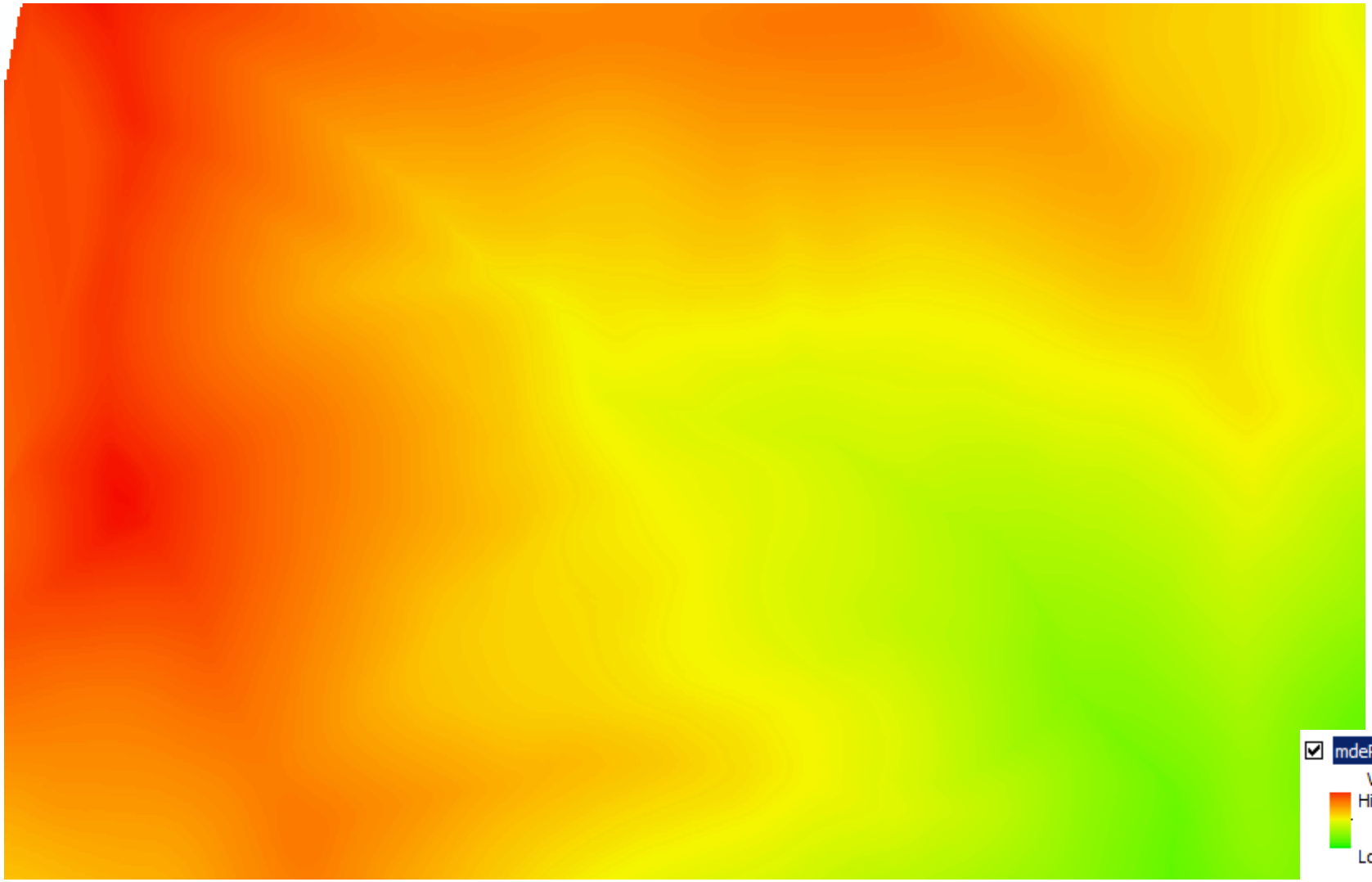


TIN. Triángulos. Vista libre 3D

3.3. Visualizaciones de una superficie.

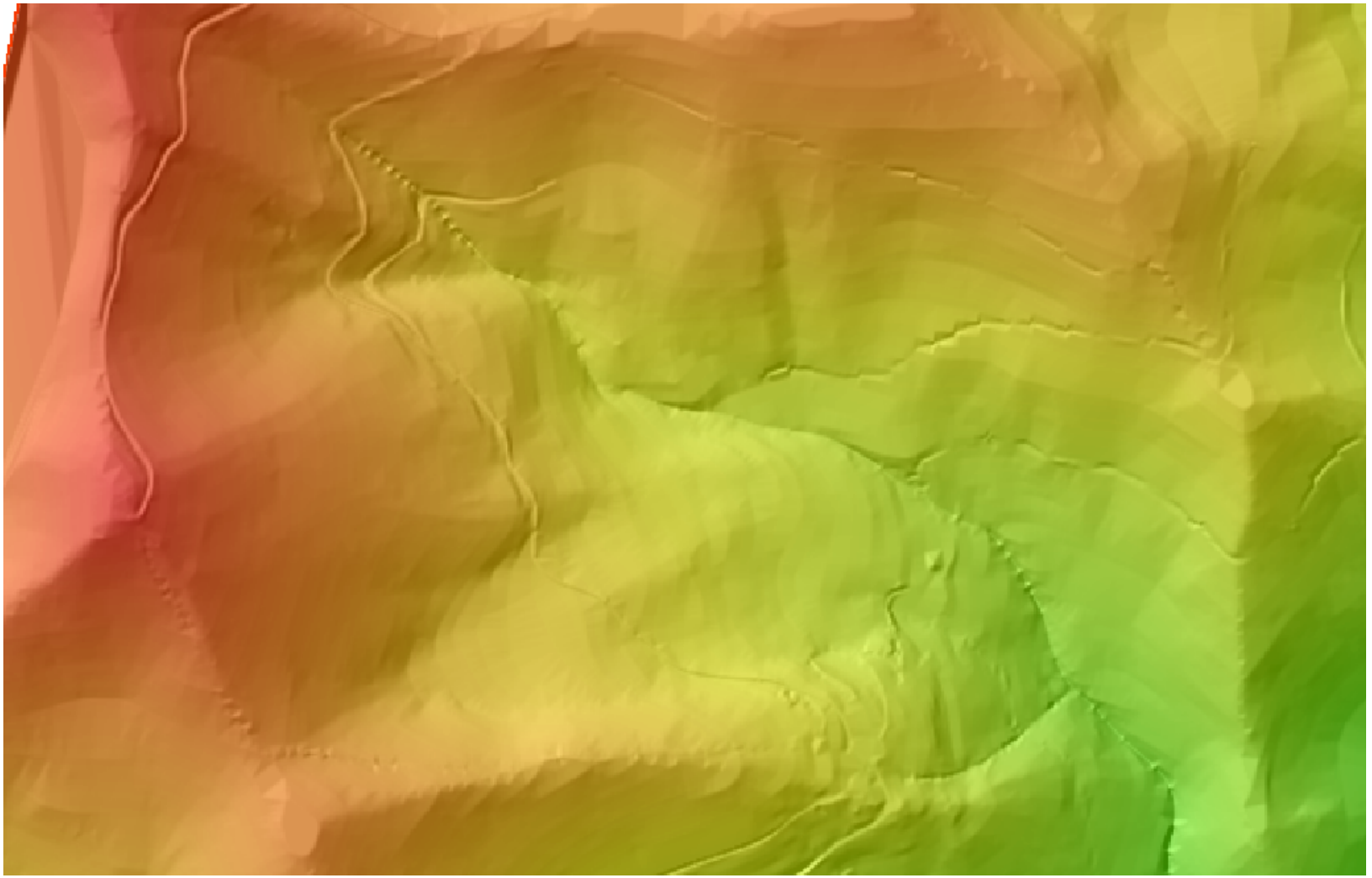
TIN. Curvas de nivel generadas

3.3. Visualizaciones de una superficie.



MDE. Mapa de elevaciones

3.3. Visualizaciones de una superficie.



MDE. Mapa de elevaciones con sombreado

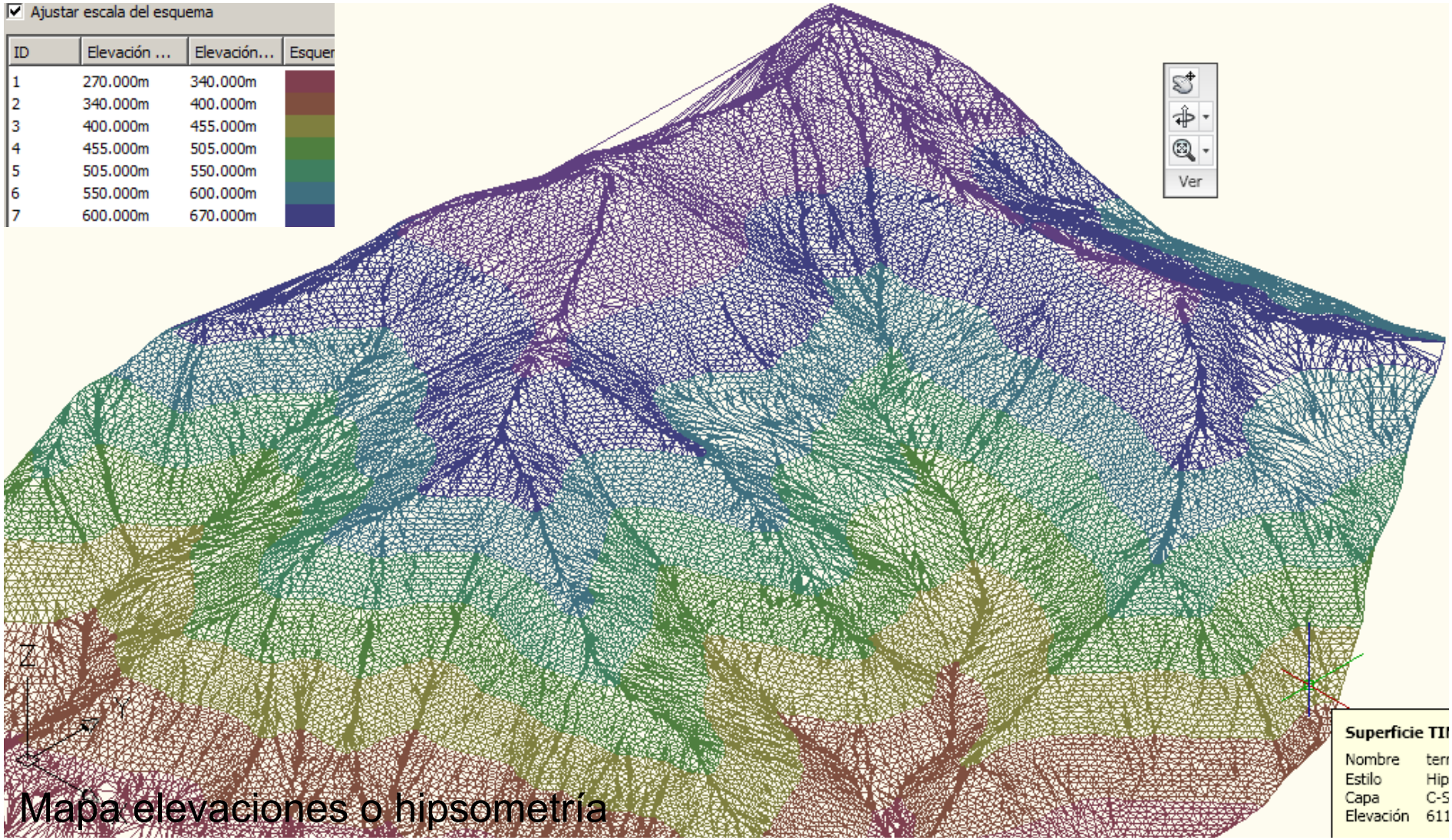
3.4. Aplicaciones típicas.

1.- **Análisis de una superficie**

Creación de mapas que caracterizan una superficie.

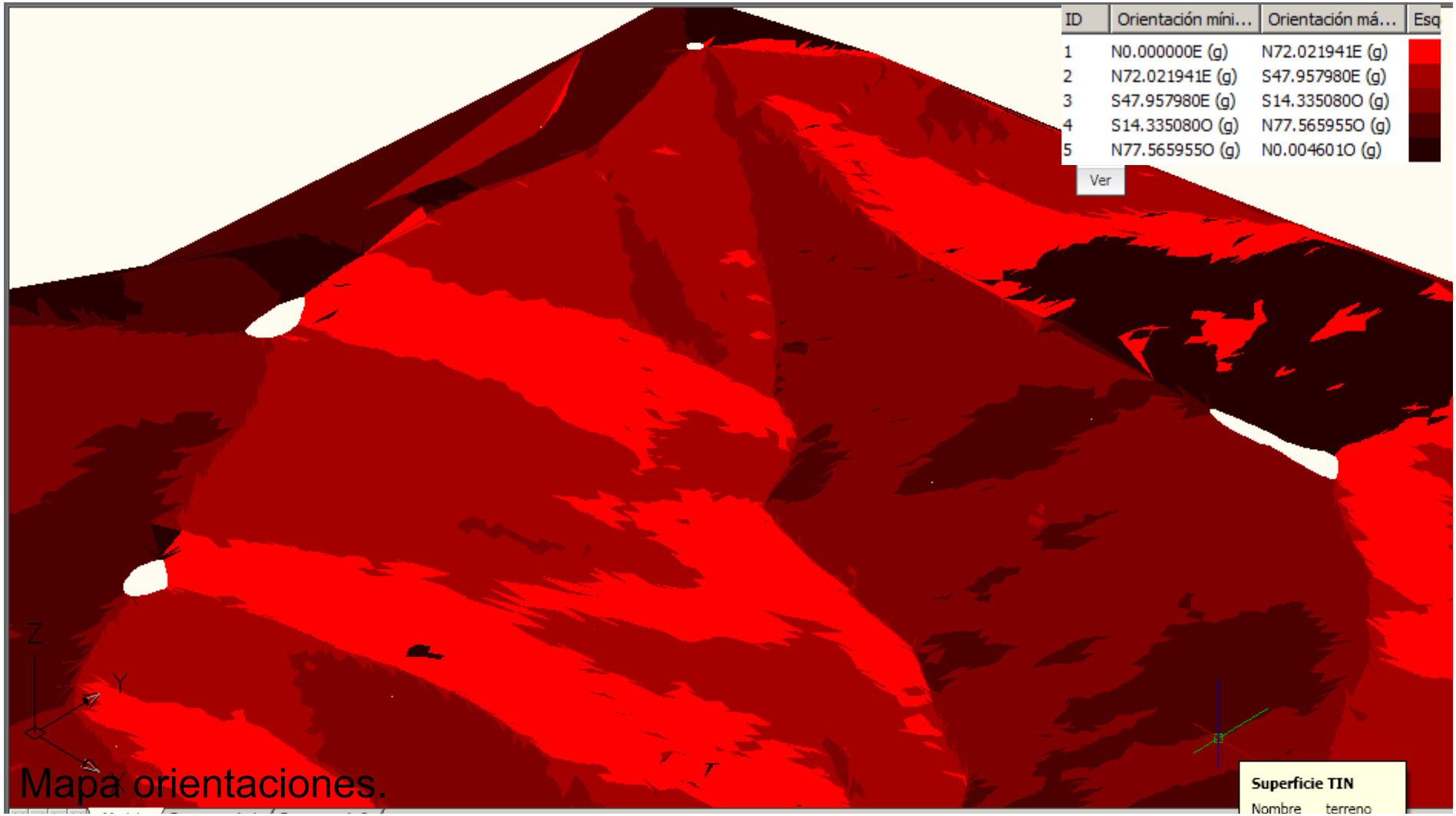
- **Mapas de elevaciones**.
  - Representación de estratos altimétricos por rangos de color.
- A partir de un TIN. Para cada triangulo, se determina su vector normal. A partir del mismo:
  - **Mapas de orientaciones**.
    - Se proyecta sobre un plano horizontal. Se determina su dirección respecto el Norte: orientación. Se establecen rangos de valores para las orientaciones y se simboliza.
  - **Mapas de pendientes**.
    - Se determina el ángulo entre el vector normal y un plano horizontal: pendiente. Se establecen rangos de valores para las pendientes y se simboliza.

3.4.1.- Análisis de una superficie



Mapa elevaciones o hipsometría

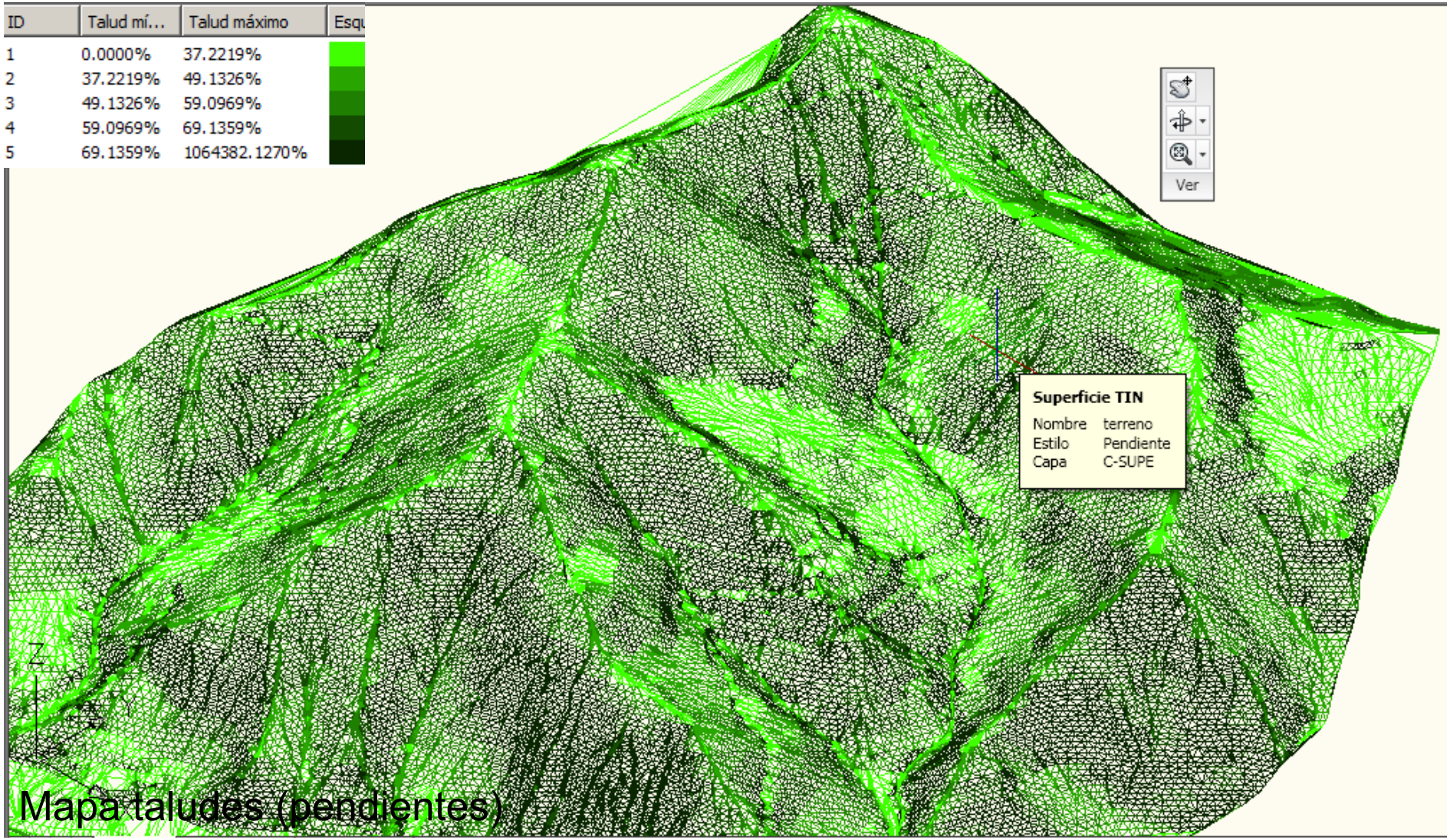
3.4.1.- Análisis de una superficie



Mapa orientaciones.

3.4.1.- Análisis de una superficie

ID	Talud mí...	Talud máximo	Esqu
1	0.0000%	37.2219%	
2	37.2219%	49.1326%	
3	49.1326%	59.0969%	
4	59.0969%	69.1359%	
5	69.1359%	1064382.1270%	

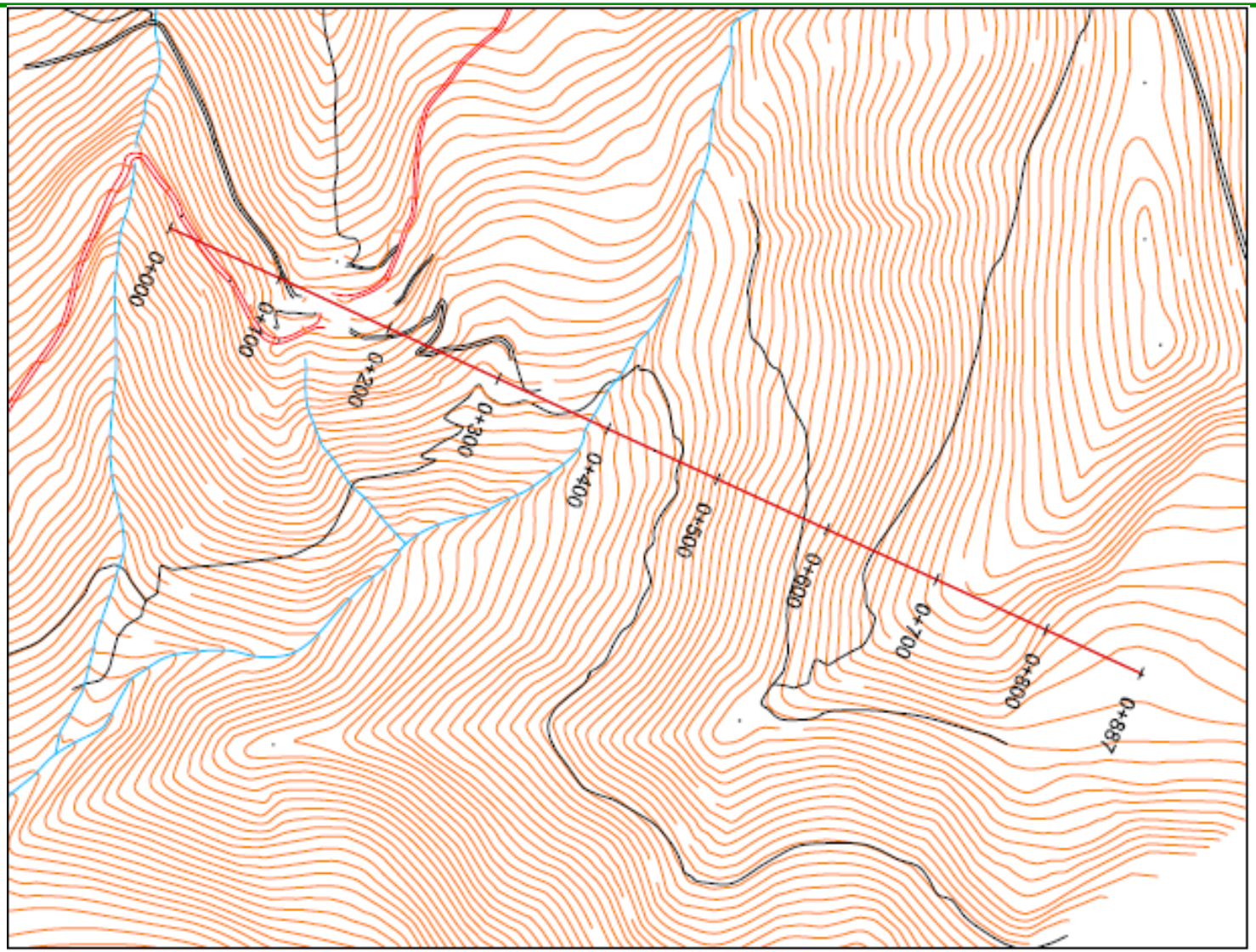


Mapa taludes (pendientes)

3.4.2.- Obtención de un perfil.

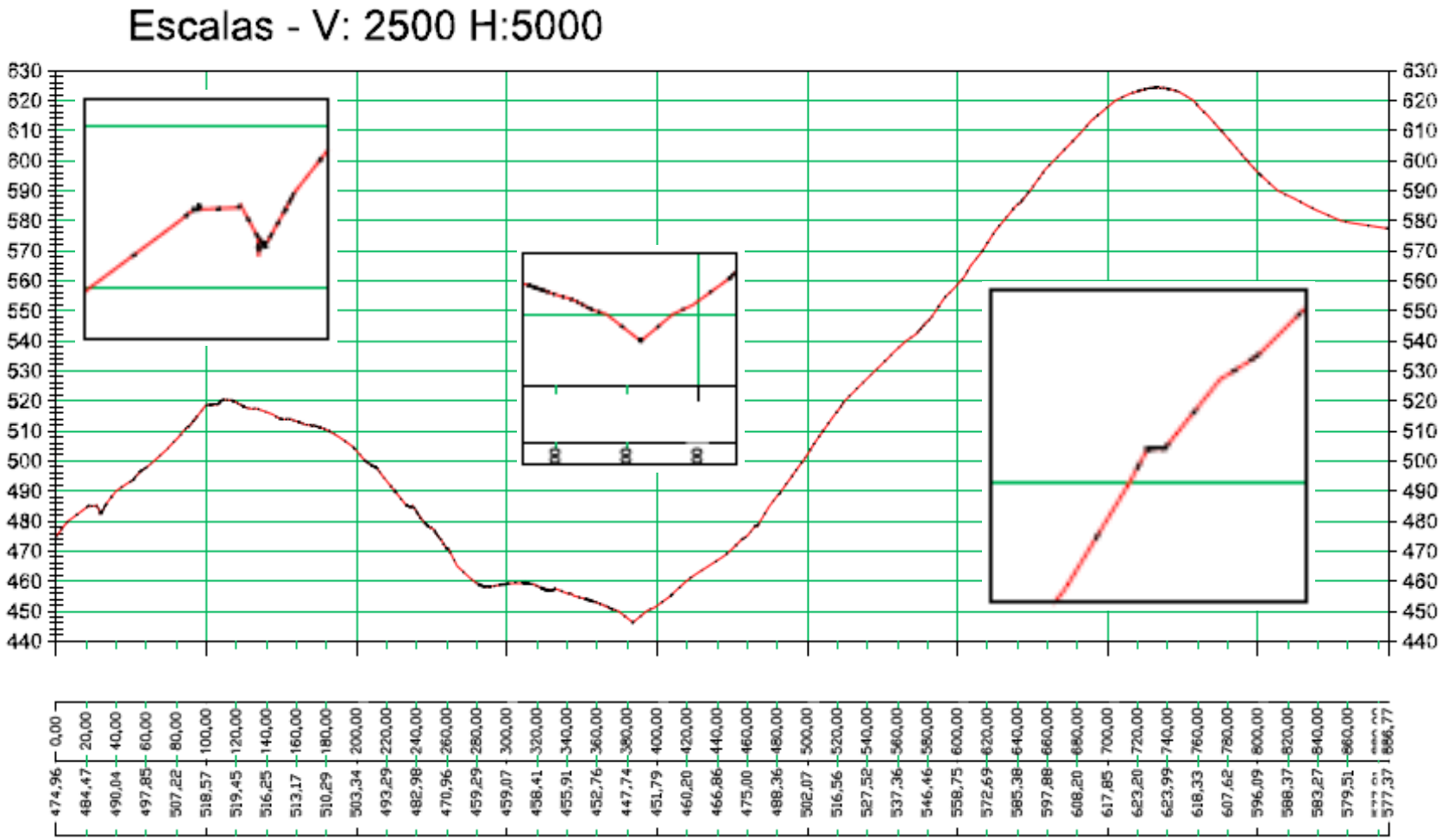
- Para una alineación en planta, es la línea que resulta de la intersección de la superficie con un plano vertical que contiene a la alineación.
- Permite controlar simultáneamente:
  - Morfología del terreno a lo largo de la **traza**, proyección del eje característico de la actuación sobre el terreno.
  - Otra alineación geométrica en alzado referida a la alineación para una cierta actuación: **rasante**.
  - Define el eje de una actuación 3D con una representación 2D, muy fácil de gestionar.
- Es una representación plana, con **2 escalas diferenciadas**:
  - Horizontal: desarrollo en planta de la actuación.
  - Vertical: se busca exagerar el relieve, relación típica entre 5 y 10 para H
  - ¡Precaución a la hora de medir en un perfil!.
- Es usual incorporar información adicional: “guitarra”

3.4.2.- Obtención de un perfil.



Perfil a partir de TIN:
corte con los triángulos.

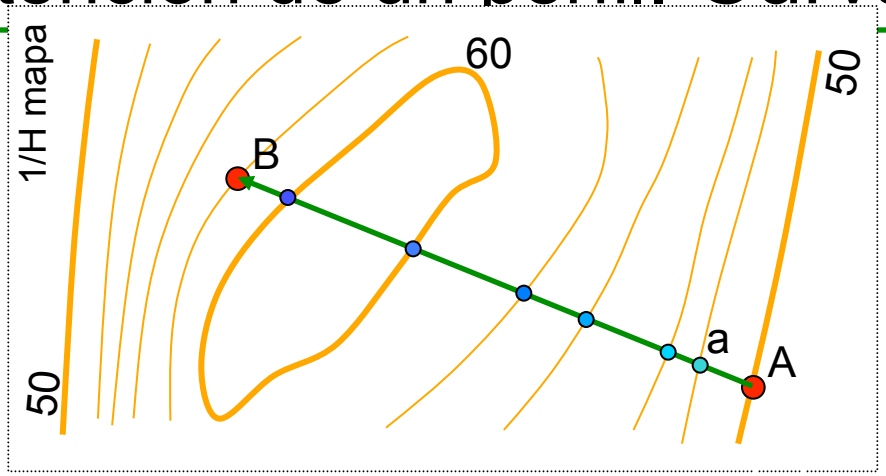
3.4.2.- Obtención de un perfil.



Perfil a partir de TIN: corte con los triángulos.

3.4.2.- Obtención de un perfil. Curvas de nivel

Obtención rango vertical: 60 – 50 = 10 m. Se fija 1/V, “exagerar relieve”.



Para cada punto a representar:

a ↔ d mapa(cm)

1/H m -> D real (m)

1/H p -> d’ perfil (cm)

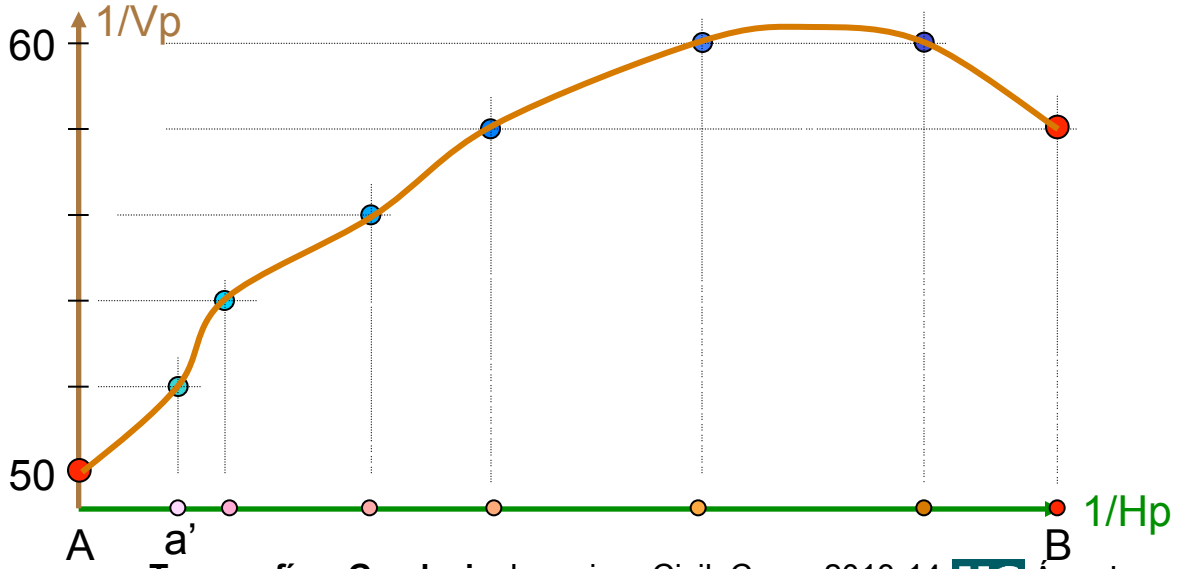
↔ a’

Se lleva a su cota

1.- Definición alineación en planta: A->B.

2.- Definición escalas del perfil: 1/H p. y 1/V p.

3.- Definición perfil: corte curvas de nivel.



Nota: figuras no están a escala.

3.4.3.- Cálculo de volúmenes obras lineales

- Metodología característica en: carreteras, canales, conducciones, Hay una dimensión (longitud) de mayor orden que la otra (ancho).
- La definición de la nueva superficie se efectúa:
  - En un mapa: definición del **eje** (en planta, distancias reducidas)
  - Se efectúa un perfil a lo largo del eje: **perfil longitudinal**. Se obtiene la **traza**
  - En el perfil longitudinal: se define el alzado para el eje, denominado **rasante**. Se tiene por tanto la definición de una línea 3D en un perfil 2D.
  - Se define una **sección transversal** al eje, característica, que se vincula al eje en la rasante.
    - Define: plataforma, taludes con el terreno.
  - En el eje: indican alineaciones para hacer perfiles transversales.
  - Se efectúan nuevos perfiles según las alineaciones: **perfil transversal**:
    - Se define la plataforma: cota de la rasante
    - Se define el terreno.
    - Se cierra la plataforma contra el terreno.
  - A partir de perfiles transversales sucesivos, se determina el **volumen de terreno** preciso para la realización de la obra

3.4.3.- Cálculo de volúmenes obras lineales

Perfil longitudinal

- Perfil a lo largo del eje en planta, incorpora la traza y la rasante.
- Define: eje en planta y la altitud del eje para cada posición.
- Distintas escalas: 1:H y 1:V

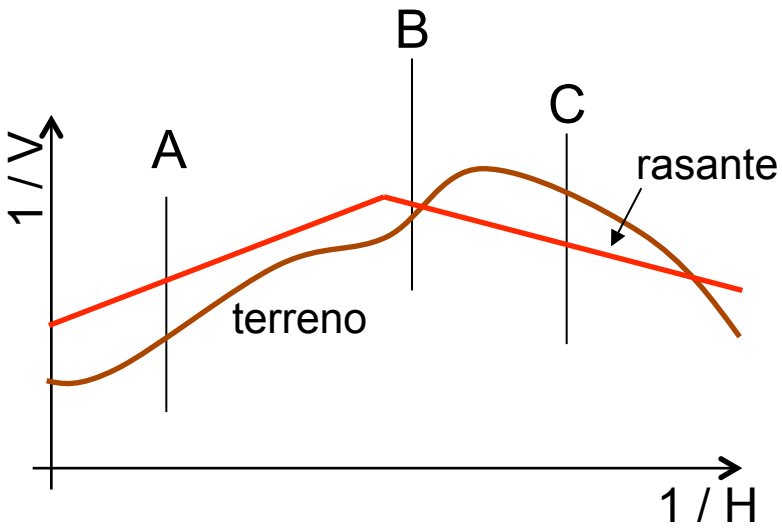
Perfil transversal

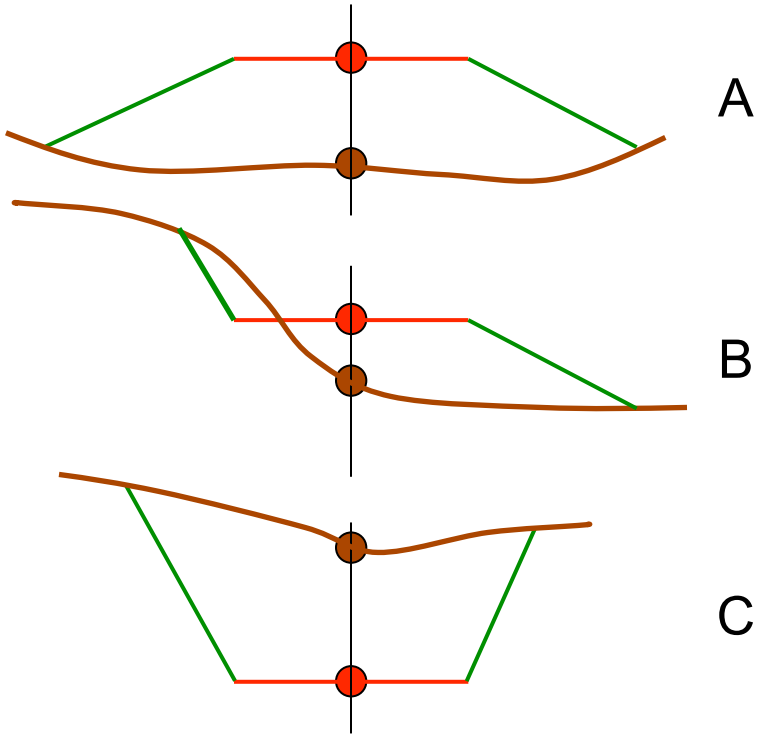
- Perfil perpendicular al eje en planta de la alineación.
- Incorpora la morfología del terreno.
- Incorpora la sección transversal prevista de la actuación.
- Base de las mediciones superficiales y volumétricas de la obra lineal definida.
- Permite acotar la banda de actuación.
- Siempre se emplea una escala uniforme en ambos ejes, de detalle: 1/100, 1/200 (usualmente).

3.4.3.- Cálculo de volúmenes obras lineales

Configuraciones típicas para el perfil transversal:

- Sección en terraplén: rasante por encima del terreno.
- Sección en desmonte: rasante por debajo del terreno.
- Sección en media ladera.

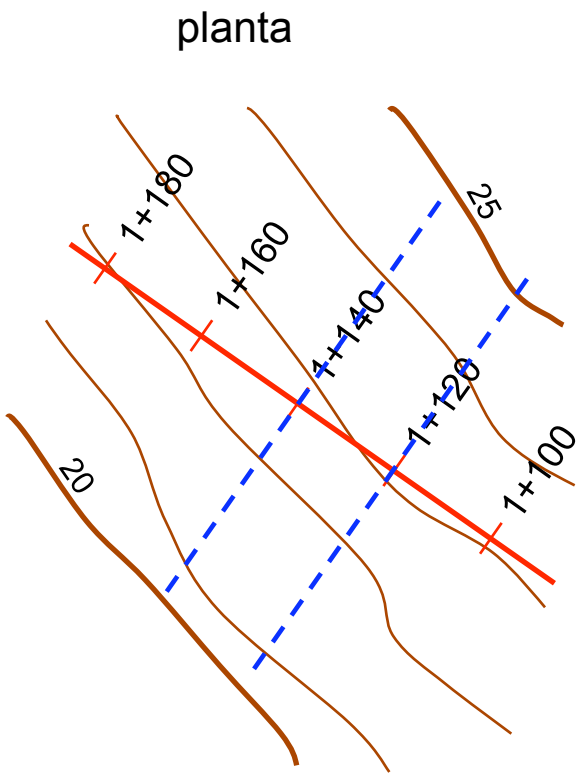




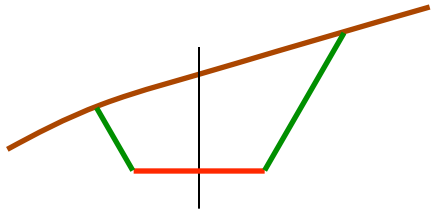
3.4.3.- Cálculo de volúmenes obras lineales

Explotación: una vez definido cada perfil, y medida su superficie -> cálculo del volumen de terraplén / desmonte entre 2 transversales. Caso simple.

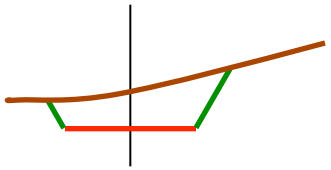
1.- Perfiles consecutivos, ambos en terraplén o desmonte.



Separación típica perfiles, en planta (distancia reducida): d = 20 m.



Pk 1+120, D_1 m²



Pk 1+140, D_2 m²

$$V_{1+120}^{1+140} = \frac{D_1 + D_2}{2} \times 20$$

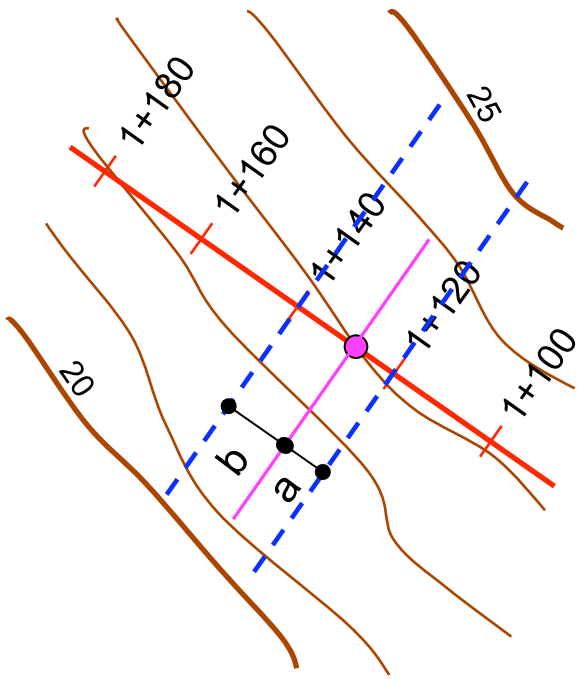
3.4.3.- Cálculo de volúmenes obras lineales

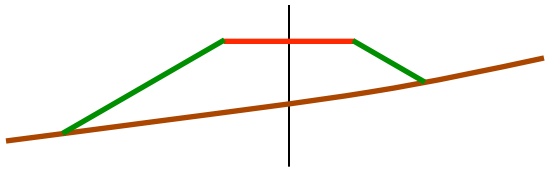
Explotación: una vez definido cada perfil, y medida su superficie -> Otra posibilidad, caso sencillo (alineación recta)

1.- Perfiles consecutivos, uno en terraplén y otro en desmonte.

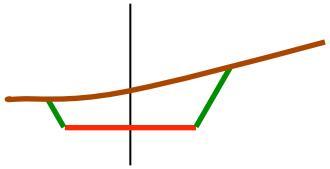
Separación típica perfiles: d = 20 m.

planta





Pk 1+120,
T_1 m²



Pk 1+140,
D_2 m²

Existirá una línea de paso nula, y se reduce al caso anterior. Con una hipótesis adicional, se obtienen expresiones genéricas.

$$V_T = \frac{T_1}{2} \times a \qquad a + b = d \qquad V_T = \frac{d}{2} \times \frac{T_1^2}{T_1 + D_2}$$

$$V_D = \frac{D_2}{2} \times b \qquad \frac{T_1}{D_1} = \frac{a}{b} \qquad V_D = \frac{d}{2} \times \frac{D_2^2}{T_1 + D_2}$$

3.4.4.- Cálculo de volúmenes en excavaciones o rellenos de terreno

- Por ejemplo: determinar el volumen embalsado en una depresión hasta una cota, o el material a desmontar en una colina a partir de una cierta cota.
- Metodología:
  - Si se emplea un modelo con curvas de nivel:
    - Determinar el volumen incrementalmente a partir de los volúmenes definidos entre dos curvas de nivel consecutivas.
  - Si se emplean un modelo TIN:
    - Definir una nueva superficie a partir de la geometría básica de la nueva superficie, que se deberá cerrar contra el terreno.
    - Calcular el volumen directo entre ambas superficies.

3.4.5.- Determinación de un camino con una cierta pendiente.

- Muy sencillo empleando un mapa con curvas de nivel.
  - Datos:
    - Se conoce la equidistancia. Por ejemplo, 1 m.
    - Se fija la pendiente. Por ejemplo: 5%.
  - Resolución:
    - Se determina la distancia (reducida) a que se deberán cortar 2 curvas de nivel consecutivas. Para el ejemplo, por proporcionalidad: 20 m.
  - Determinación del camino:
    - Se tantean trazados en los que se cumpla la condición anterior:
      - Mapa en papel. Se traduce la distancia a la escala del mapa. Por ejemplo: mapa 1:1.000 -> 2 cm.
      - Base numérica en ordenador: se usa la distancia real.

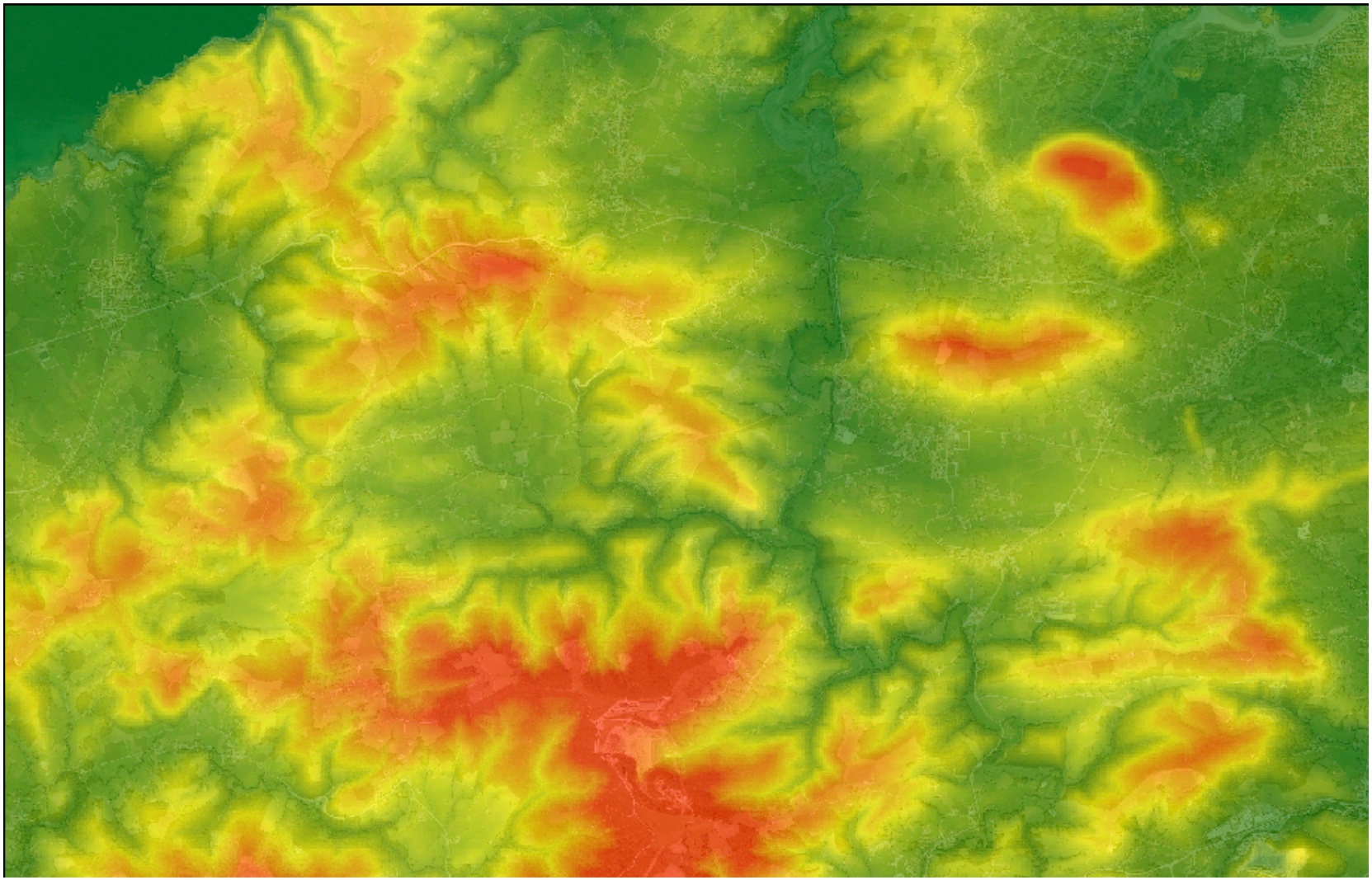
3.4.6.- Estudio de visibilidades.

- Para una posición de un observador situado en una superficie, se quiere determinar zonas vistas y ocultas del terreno.
- Muy usado: estudios ambientales, estudios de telecomunicaciones, impactos ambientales,…
- Metodología básica:
  - Determinación de un perfil con origen en la posición del observador.
  - En el perfil, determinar las zonas vistas y ocultas del terreno.
  - Iterar perfiles a largo del horizonte del observador, si interesa un mapa continuo.

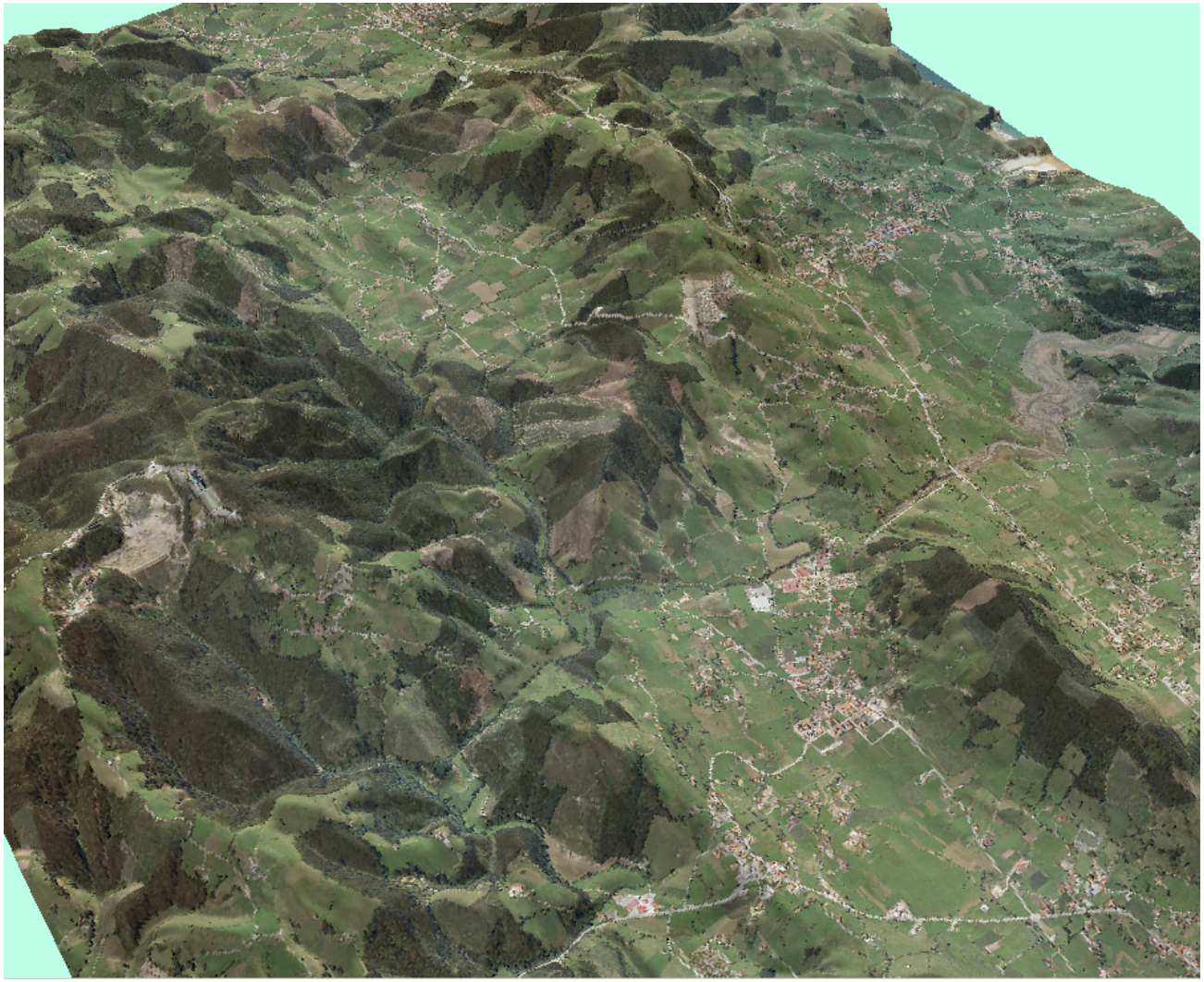
3.4.6.- Estudio de visibilidades.

Visibilidades desde el vertedero de Meruelo (altura 40 m sobre el terreno)

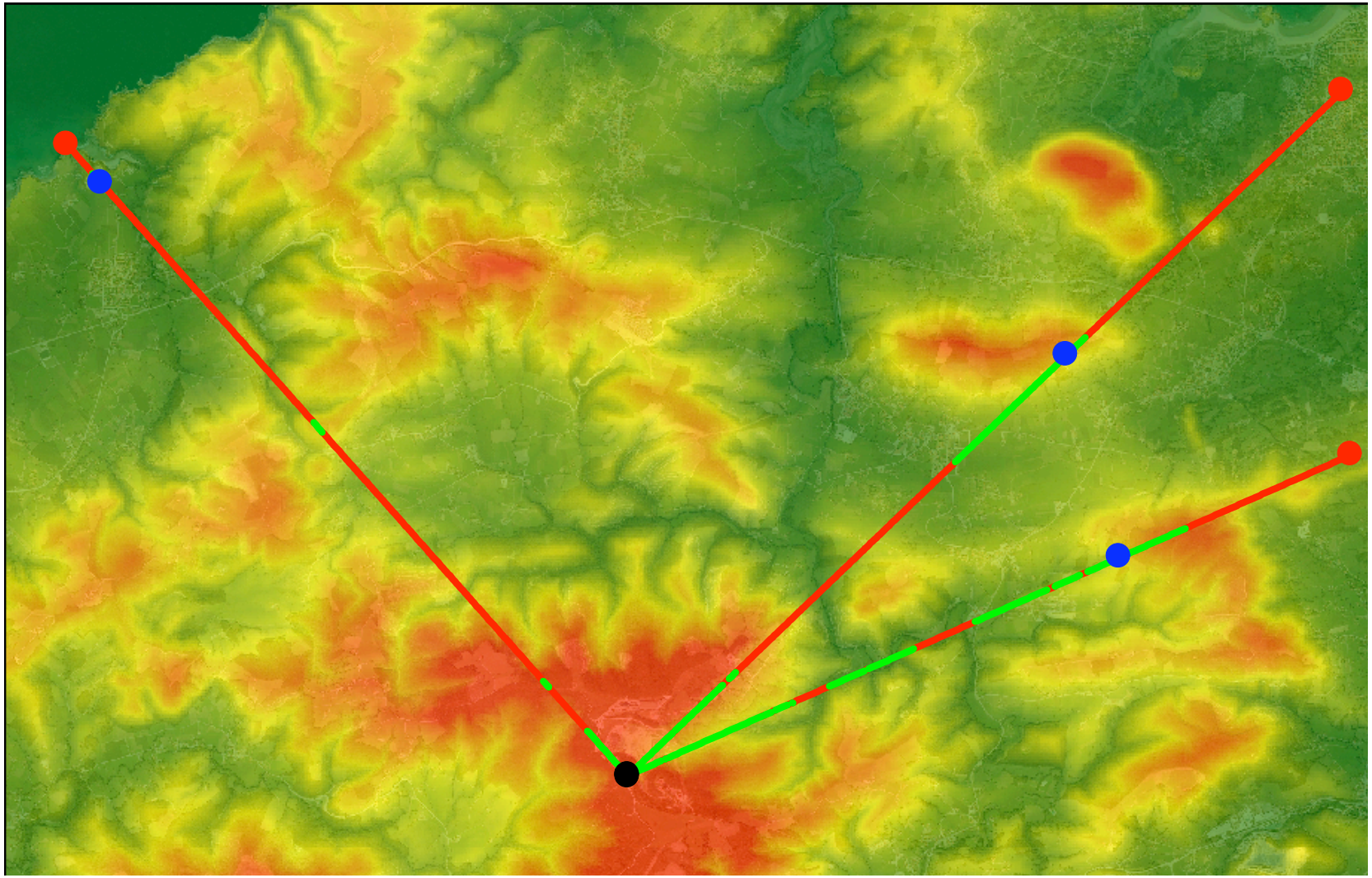
3.4.6.- Estudio de visibilidades.



3.4.6.- Estudio de visibilidades.

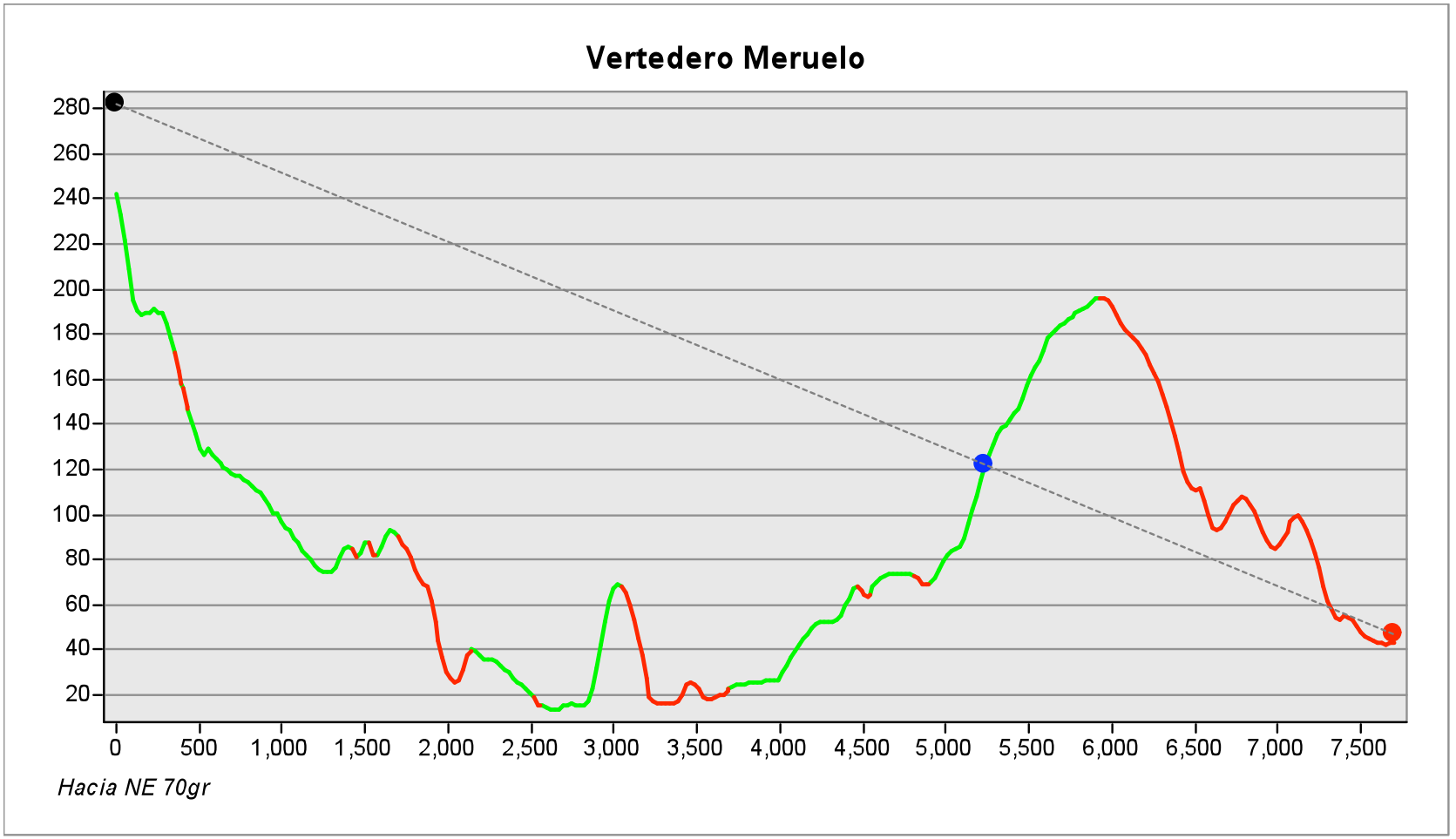


3.4.6.- Estudio de visibilidades.



Visibilidades desde el vertedero de Meruelo (altura 40 m sobre el terreno)

3.4.6.- Estudio de visibilidades.



Visibilidades desde el vertedero de Meruelo (altura 40 m sobre el terreno)

3.4.6.- Estudio de visibilidades.

Visibilidades desde el vertedero de Meruelo (altura 40 m sobre el terreno)