

## Objetivos.

Saber generar un modelo irregular de triángulos (TIN) a partir de las fuentes de datos cartográficos más usuales: levantamiento topográfico, cartografía numérica y modelos digitales de elevaciones.

Conocer el comportamiento en el TIN de los tipos de datos básicos: puntos aleatorios, líneas de rotura y curvas de nivel.

Validar la bondad del modelo formado, usando las distintas visualizaciones disponibles del TIN: isohipsas, triángulos, mapas de elevaciones, pendientes y orientaciones.

Conocer y usar adecuadamente las herramientas de edición típicas.

Saber exportar a formatos estándar los resultados generados: curvas, etiquetas y triángulos.

## Documentación de la práctica.

Se proporcionan los siguientes ficheros:

- Plantilla de la herramienta civil3D 2012 para España, así como las bases cartográficas de trabajo incorporadas a la misma (pLab02\_mdt1\20\_templates).
- Ejemplos de las tres fuentes de datos más habituales en Ingeniería:
  - Datos de levantamientos topográficos obtenidos con estación topográfica
  - Datos de cartografía numérica obtenidos mediante fotogrametría.
  - Modelos digitales de elevaciones (DEM), formados por puntos regularmente espaciados para los que se conoce su altitud.

## Flujo de trabajo con Civil3D 2012.

A continuación se identifica el flujo básico de trabajo para la creación y edición de modelos digitales de terreno. Indicar que este apartado no pretende sustituir a la propia ayuda de la herramienta, sino constituir una ayuda para su uso eficiente.

### Añadir la información cartográfica a la plantilla adecuada.

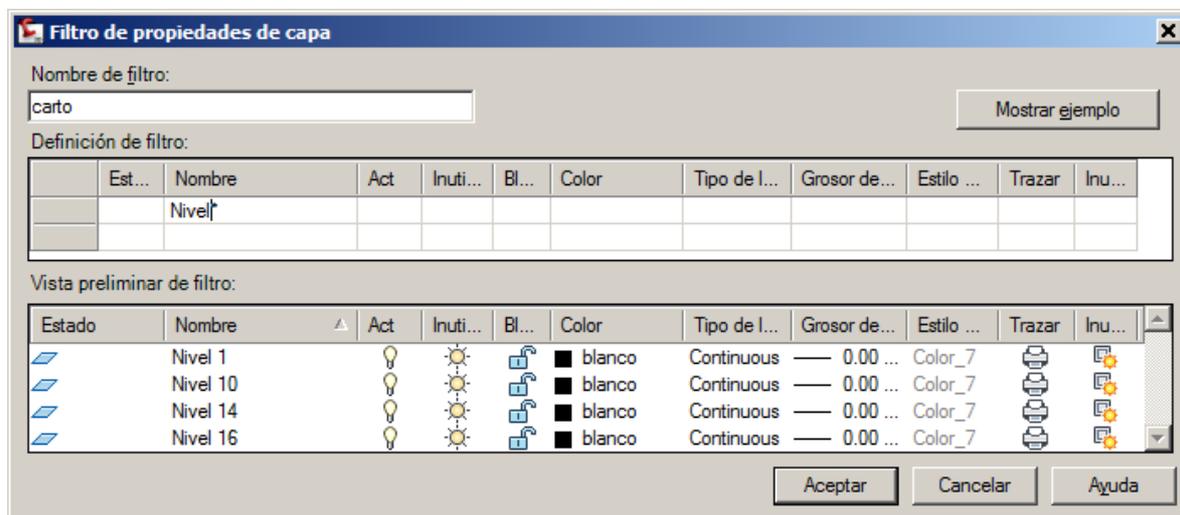
En primer lugar, es preciso insertar la información cartográfica de partida a un fichero vacío creado con la plantilla adecuada, en concreto, la plantilla denominada "\_Spain\_AutoCAD\_Civil\_3D\_2012". Esta plantilla contiene definiciones de capas y valores de configuración que resultan adecuados para un uso genérico. Su uso es obligado por la herramienta.

Se puede unir bien desde una referencia externa, como se ha visto en la práctica anterior, o bien copiar y pegar. Para la segunda opción expuesta y de forma esquemática con un fichero genérico llamado "carto.dwg", por ejemplo, se deberá:

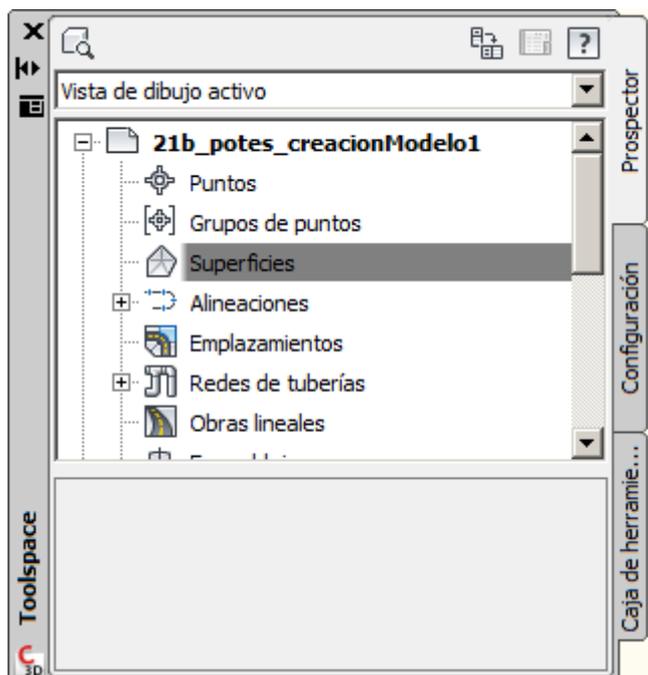
- Encender todas las capas necesarias en el fichero "carto.dwg", seleccionar y copiar la información.
- Crear un fichero nuevo a partir de la plantilla indicada, y guardarlo con un nombre nuevo, por ejemplo "cartoMdt.dwg".

- Pegar en el fichero nuevo la información cartográfica, con la opción de “Pegar en coordenadas originales”.

Como se podrá observar, la plantilla que utiliza Civil3D emplea numerosas capas predefinidas, utilizando para su gestión filtros predefinidos. Se aconseja crear un nuevo filtro de propiedades de capa para la información contenida en el fichero de cartografía, así como para las nuevas capas que el usuario piense crear.

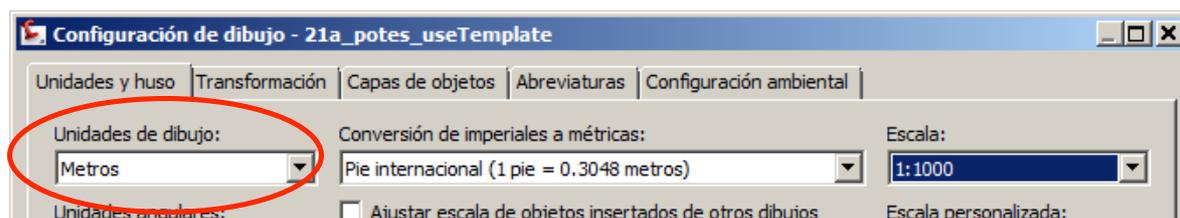


### Verificar la configuración del proyecto.



Gran parte de las herramientas necesarias para el objetivo planteado se concentran en la ventana denominada “ToolsSpace”, que se obtiene en la herramienta [Civil3D] Inicio > Paletas > Espacio de herramientas, en la categoría denominada “Prospector”. Indicar que el resto de las herramientas que se utilizarán en el resto de la práctica también se encuentran en el espacio de trabajo [Civil3D], aunque no se indique de forma explícita.

Para verificar la configuración del proyecto, en la ventana “ToolsSpace”, en la pestaña “Configuración”, seleccionando el fichero activo y pulsando el botón derecho se accede a la configuración del dibujo. En principio, el único ajuste que se deberá verificar corresponde al uso de unidades métricas, como se observa en la figura siguiente.



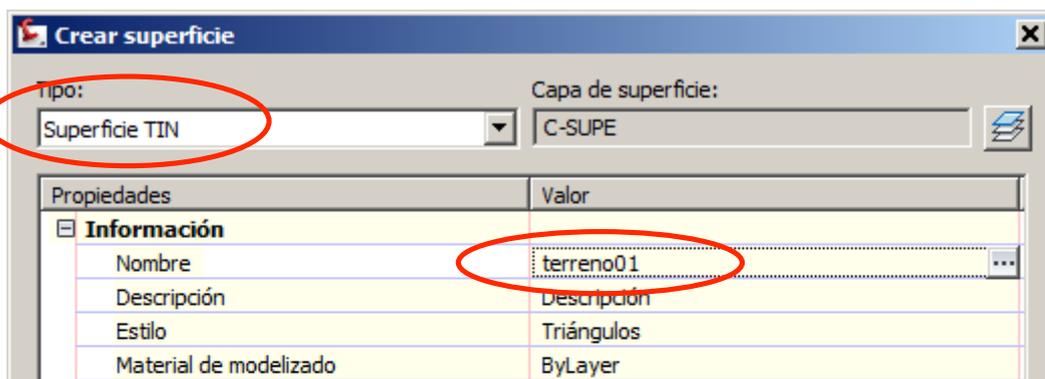
## Identificar la información cartográfica válida.

A continuación se deberá identificar qué capas contienen la información digital que formará el modelo, asignando las mismas a la categoría adecuada a efectos de formación del modelo. En la tabla siguiente se expone la asignación típica, que deberá ser revisada en cada caso.

Categoría a efectos del mdt	Clasificación del fenómeno en la cartografía
Líneas de rotura	Comunicaciones, hidrografía
Curvas de nivel	Curvas de nivel
Puntos aleatorios, como objetos del dibujo: textos o símbolos	Puntos aislados de cota

## Creación de la superficie.

En primer lugar se procederá a crear una superficie, en la categoría "superficies", en la pestaña "prospector". Se le asignará un nombre identificativo. Se está creando una superficie "vacía", sin contenido, "terreno01" en la ventana que se adjunta a continuación a modo de ejemplo.



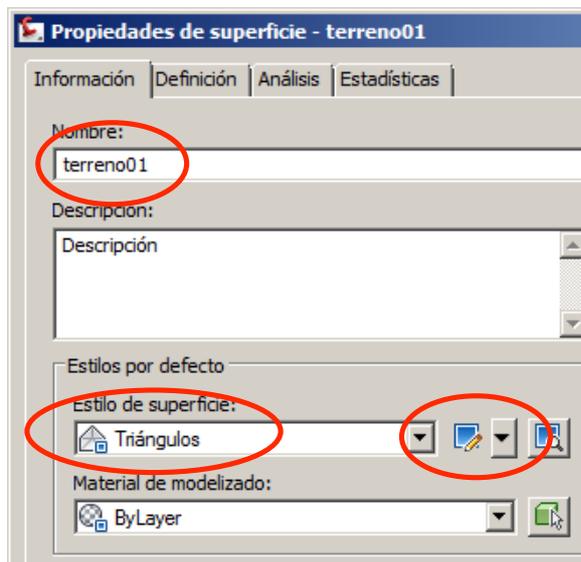
## Definir de los ajustes básicos de control y visualización de la superficie.

Previamente a la carga de las entidades que formarán el modelo se considera importante conocer las distintas opciones de visualización y definición existentes. La definición se efectúa en el "prospector", seleccionando la superficie, y en el menú contextual elegir la opción "Propiedades de superficie". A continuación se indican los ajustes más importantes en las mismas.

- **Pestaña "Información".**

En el marco denominado "Estilos por defecto" se concreta el modo de visualización de la superficie. Por defecto, tiene definidos "Estilos de Superficie" con dos objetivos diferenciados:

- Destinados a la visualización de los elementos básicos del modelo: contorno, triángulos y curvas de nivel, para las equidistancias más habituales.
- Dedicadas al análisis del modelo: elevaciones



(hipsometría), pendientes (talud) y orientaciones (exposición).

Seleccionado el estilo de superficie deseado, se puede modificar el mismo o crear uno nuevo con el botón indicado.

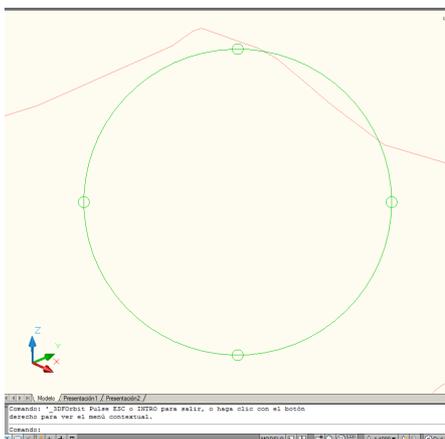
En ambos casos se abre una nueva ventana denominada "Estilo de superficie", en la que se configuran las categorías enumeradas anteriormente. Destacar tres grupos de pestañas, cuyos principales ajustes se enumeran a continuación.



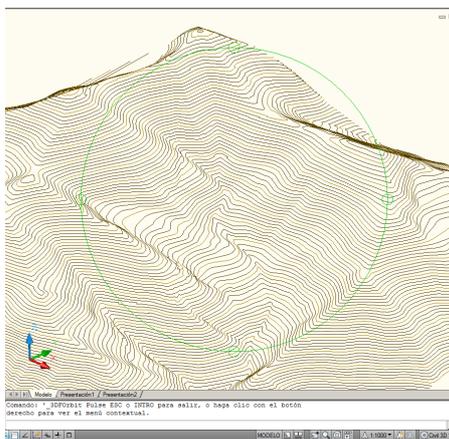
- Ajustes para los componentes básicos del modelo. Comprende las siguientes pestañas:
  - Borde o contorno.
  - Curvas de nivel. Destacar las siguientes propiedades:
    - Intervalos de curvas de nivel. Permite especificar una representación de rangos de altitudes mediante colores. Por defecto, desactivada (false).
    - Intervalos de curvas de nivel. Se fija la cota a partir de la cual se establecen las curvas maestras (Elevación base), la equidistancia (intervalos secundario) y la identificación de las maestras (intervalo principal)
    - Curvas de nivel en depresión. Permite fijar si se simbolizan de forma singular.
    - Suavizado de curvas de nivel. Por defecto, no se suaviza. No se aconseja además su uso.
  - Triángulos.

A continuación se muestra para una cierta superficie (potes, escala 1/5000) los tres componentes anteriores.

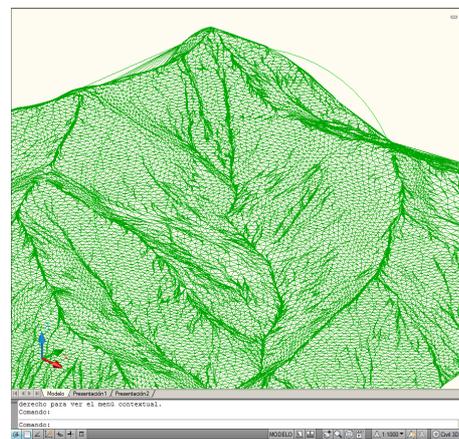
Bordes



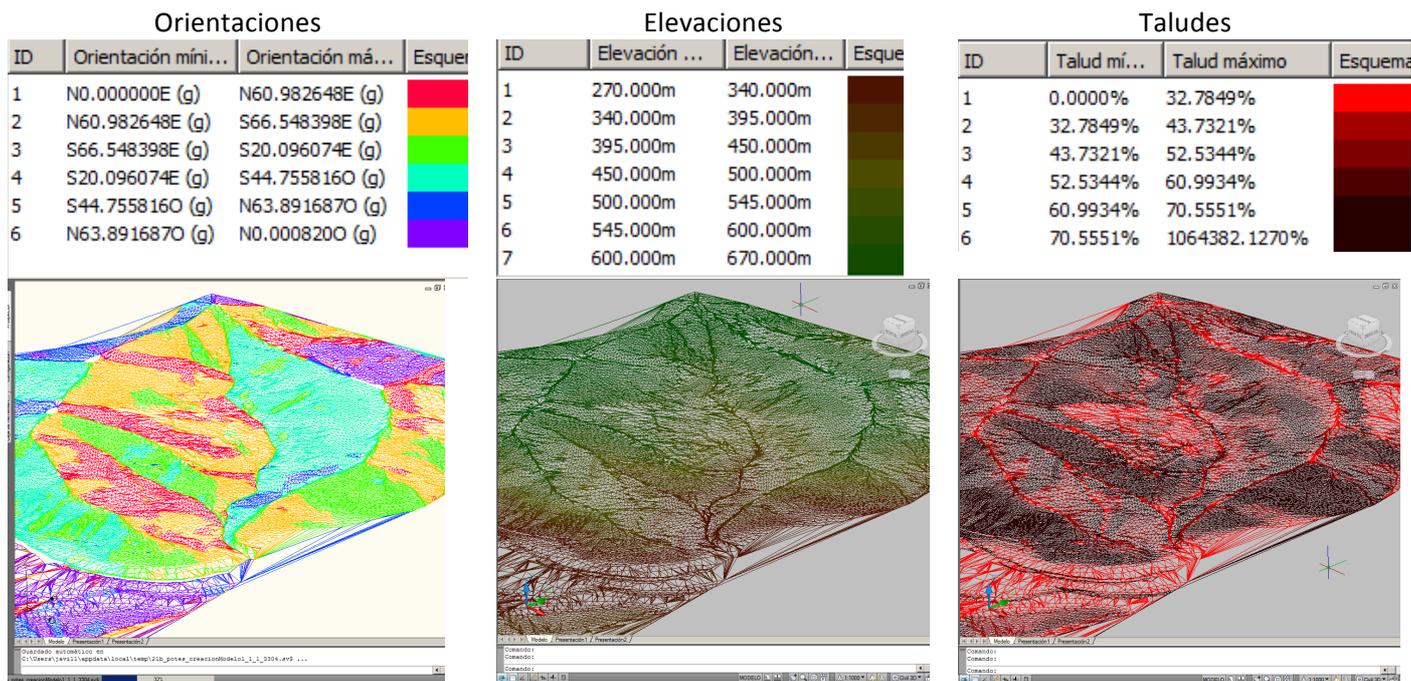
Curvas de nivel



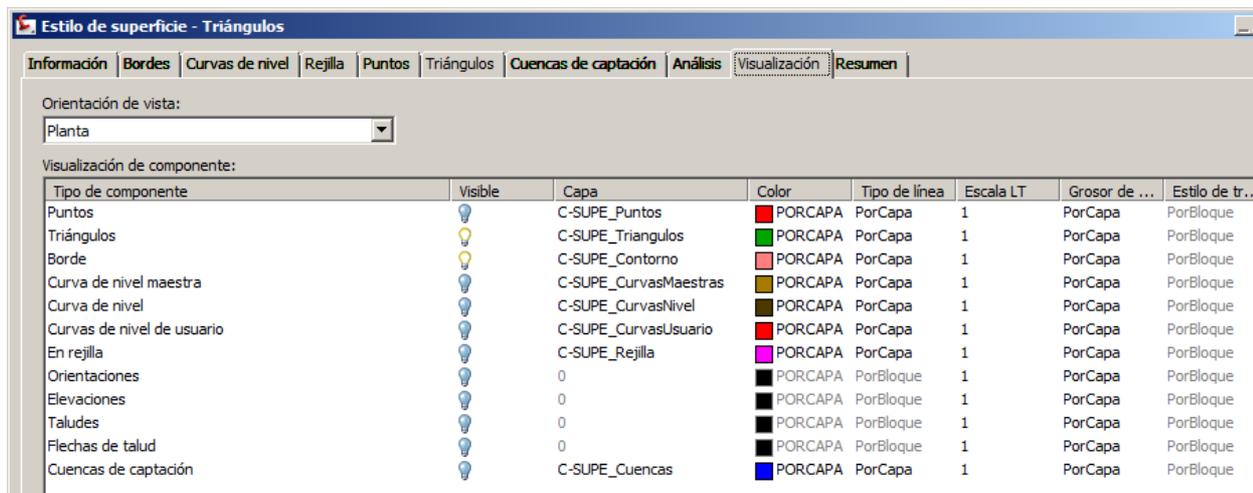
Triángulos



- Visualizaciones destinadas al análisis de la superficie. Se concentra en la pestaña "Análisis". Básicamente permite fijar el número de rangos y los atributos gráficos para el análisis de la superficie generada en base a rangos de elevaciones, orientación de los triángulos (ángulo formado entre la dirección del norte y la proyección del vector normal a cada triángulo) y talud (inverso de la pendiente del vector normal a cada triángulo).



- Pestaña “visualización”. Para el estilo de superficie definido, se especifica que componentes se visualizan así como sus atributos gráficos, como se muestra a continuación para un cierto estilo, en el que se mostrarían únicamente los componentes de triángulos y borde.

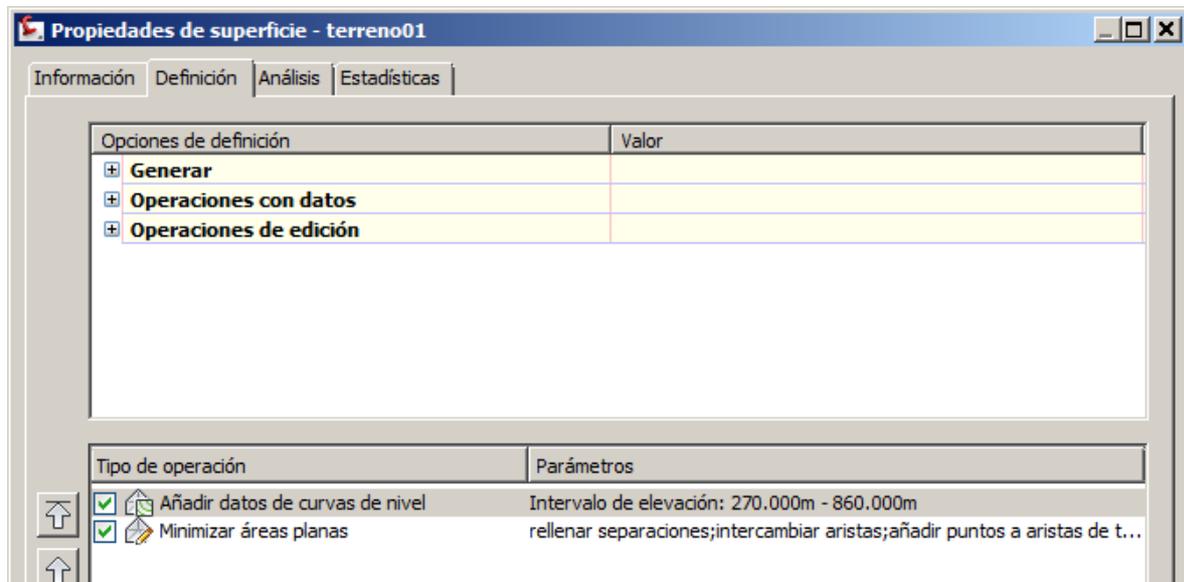


• Pestaña “definición”.

En la ventana superior, “Opciones de definición”, en la opción “Generar”, algunas opciones a destacar:

- Se permite establecer un lado máximo para los triángulos generados
- Se puede indicar un límite en Z para el área de trabajo.
- Cuando dos entidades definidas como roturas se cruzan, permite establecer cuál debe ser su comportamiento. Por defecto, se ignoran ambas líneas de rotura, pero también se puede fijar que entidad debe prevalecer en base al orden de incorporación al modelo (permitir líneas de rotura transversales).

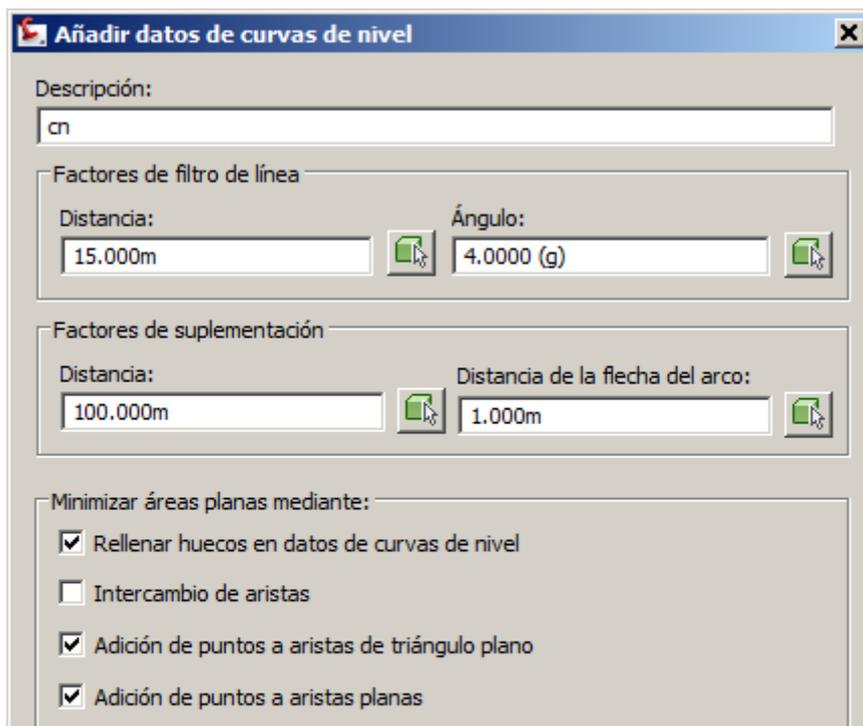
Es interesante conocer que en la ventana inferior, denominada "Tipo de operación" se muestran ordenadas todas las operaciones efectuadas en la edición del fichero, permitiendo su eliminación o desactivación de forma individualizada.



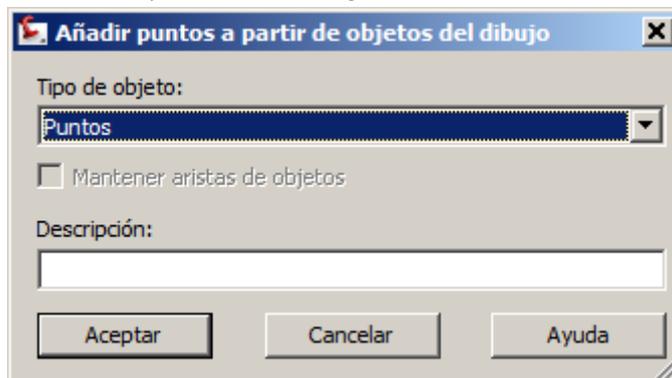
### Incorporación de datos desde la cartografía a la superficie.

Se efectúa a partir de la opción "Definición", en la categoría "superficies" para la superficie creada. Se consideran las siguientes categorías de componentes en el modelo digital de terreno:

- **Curvas de nivel.** Destacar los ajustes que se indica a continuación, con distintos objetivos:
  - Filtro de línea. Busca reducir la densidad de vértices de la curva de nivel para reducir el número de triángulos generados sin pérdida significativa de precisión en el modelo, para agilizar su gestión por la herramienta. Los ajustes se refieren a un algoritmo recursivo, que se aplica sucesivamente a tres puntos consecutivos con dos ajustes básicos: *ángulo* y *distancia*, como se indica: si la distancia entre el primer y el tercer vértice es menor del valor establecido, se determina el ángulo formado entre los segmentos definidos por los vértices 1-2 y 2-3, y si es menor del valor fijado en el ajuste, se elimina el punto intermedio. Un valor razonable puede ser 4 ó 5 mm, en *distancia*. Para una escala concreta, se determinará la distancia resultante: a escala 1:5.000 supone 20 ó 25 m, por ejemplo.
  - Suplementación o densificación de líneas. Trata de evitar triángulos con lados muy descompensados, creando nuevos vértices en los tramos largos. En el parámetro *distancia*, un valor razonable puede ser de 10 a 15 mm.
  - El último grupo de ajustes propone soluciones que tratan de minimizar áreas planas, que constituyen un tipo de error frecuente en la modelización del terreno. Una opción interesante es la de *Intercambio de aristas*, que se aconseja activar.



- **Líneas de rotura.** Constituyen líneas que necesariamente deben formar parte de los lados de los triángulos del modelo. El tipo de comportamiento habitual será el definido como tipo estándar.
- **Objetos del dibujo.** Esta opción permite introducir cualquier otro elemento que no tenga el comportamiento anterior. En particular, es la forma de introducir los puntos de cota, bien como texto, punto, o bloque, dependiendo del tipo de elemento gráfico usado en su modelización.



- **Contornos.** Permite introducir polígonos que definen zonas en las que no se formará el modelo, bien el límite exterior, o áreas vacías interiores.

Recordar que sí se precisa eliminar alguno de los componentes anteriores se puede hacer en las propiedades de la superficie.

### Herramientas de edición.

Están disponibles como una opción más en la categoría “Definición” de la superficie. Básicamente, se tienen las siguientes opciones:

- Modificación de los lados de triángulos. Las más usadas son las que permiten el intercambio de una arista interior en un cuadrilátero y la que permite borrar una arista. Usos típicos de esta última opción: eliminar triángulos de borde incorrectos o crear áreas vacías interiores.
- Modificación de puntos. Se permite la adicción, eliminación y modificación de puntos existentes.

Sin duda, esta es una de las tareas más importantes en el proceso de obtención de un MDT: asegurar que el modelo numérico que se genera a partir de los datos disponibles constituye una modelización de la realidad precisa y veraz. Esta fase puede llegar a ser muy laboriosa, y de hecho es una mezcla de técnica y arte, en la que se debe de interpretar y verificar de forma continua que el modelo que se está creando se corresponde de la forma más fiel al terreno real.

Se debe tener claro que existe una componente subjetiva importante en esta tarea: la edición de un mismo modelo por personas distintas va a dar lugar a modelos diferentes. Y finalmente un consejo: limitar el esfuerzo de la edición y modelización correcta exclusivamente a la zona de influencia del proyecto.

### Extracción de datos de la superficie del modelo.

Este entorno de trabajo considera la superficie como un objeto, en el que todos los componentes están aglutinados. Una vez validado el modelo que se ha formado, se deberán extraer a elementos del dibujo los componentes finales que serán útiles en otros procesos o con otras herramientas, de forma genérica las curvas de nivel y los triángulos; destacando que son estos últimos los elementos que realmente definen el modelo.

Con este objetivo, se procederá a seleccionar la superficie, apareciendo en la cinta una nueva opción: *superficie tin*. En la categoría *herramientas de superficie > Extraer objetos*, se permite crear entidades de dibujo a partir de los componentes seleccionados, entre los visibles.

Las entidades se extraen en la capa definida por defecto en el modelo. Se aconseja mover los gráficos creados a nuevas capas, independientes de las usadas por la esta herramienta.



### Desarrollo de la práctica.

Siguiendo el flujo de trabajo anteriormente descrito, se procederá a formar y editar los modelos digitales de terreno para los tres casos indicados a continuación, que constituyen los casos más habituales en la práctica profesional:

- Datos procedentes de un levantamiento topográfico. Los datos proporcionados se incorporarán a la superficie como roturas y puntos aleatorios, procediendo a obtener las curvas de nivel que definen la superficie, con la equidistancia que se considere adecuada.
- Datos procedentes de cartografía numérica. Se formará el modelo en base al empleo de roturas, curvas de nivel y puntos aleatorios. Se prestará especial atención a la zona del cauce, para el fichero de Piélagos.

- Datos que forman modelos digitales de elevaciones. Se obtendrá la modelización del terreno para un DEM con separación de 25 metros, obtenido de la página del Centro Nacional de Información Geográfica. Se generarán curvas de nivel con equidistancia de quince metros.

En todos los casos se obtendrá la malla de triángulos que constituye el modelo.

### Algunas pautas generales.

La formación de modelos digitales de terreno correctos exige conocer los tipos de componentes del modelo digital (contornos, líneas de rotura, curvas de nivel y puntos aleatorios), las herramientas disponibles (filtrado y densificación de líneas, edición de zonas planas, edición de aristas, edición de puntos, adecuación de contornos exteriores e interiores, perfiles rápidos) y las características de los distintos tipos de datos iniciales (levantamiento topográfico, cartografía con curvas de nivel y DEM).

Como producto final se trata de obtener bien el modelo digital de terreno (la malla de triángulos TIN), bien representaciones convencionales del mismo (curvas de nivel o perfiles). Algunas pautas generales para la edición de los modelos:

- Al añadir datos desde curvas de nivel, establecer distancias de filtrado adecuadas (a la escala de la cartografía empleada). Se debe intentar trabajar con el número de triángulos estrictamente necesario: trabajar con más triángulos supone ralentizar todas las operaciones de edición y explotación sin mejorar la precisión.
- Crear estilos de superficie adecuados al objetivo que se busca. Para la edición, es conveniente visualizar de forma simultánea el contorno, los triángulos y las curvas, con colores adecuados.
- Durante el proceso de edición es habitual emplear una equidistancia menor que la del plano que se va generar, para identificar más fácilmente las posibles zonas erróneas del modelo. Por ejemplo: si se quiere generar un mapa con equidistancia de un metro, en la fase de edición trabajar con una equidistancia de 0,50 m.

De forma particular en el entorno civil3D 2012, indicar:

- Es útil la herramienta de perfil rápido que se encuentra en la opción del menú *Analizar > Datos de terreno > Perfil rápido*. Es un perfil temporal, no se guarda en el dibujo.
- La supresión de aristas modifica el contorno exterior (para aristas exteriores) y crea áreas vacías en las zonas interiores (para aristas interiores).
- Es posible controlar la edición de forma exhaustiva, paso a paso, en la definición de la superficie.
- Recordar que todos los componentes del modelo forman parte de un objeto especial, de tipo superficie TIN. Para poder utilizarlas en otro entorno de trabajo, es preciso exportar los datos de los elementos precisos del modelo, habitualmente los triángulos y las curvas de nivel, con sus etiquetas.

### Trabajo con datos procedentes de levantamientos topográficos.

Los datos que se proporcionan en la carpeta pLab02\_mdt1\21\_levantamientoTopografico corresponden a un levantamiento topográfico en el entorno del pueblo de Cabezón de la Sal. Indicar que no se ha efectuado edición alguna de los datos tal como se han registrado. El contenido de los niveles es el que se indica a continuación.

Importante: el alumno deberá identificar en qué capas se ha incorporado información a cota cero, para inutilizar las mismas a efectos de formación del modelo digital de terreno. Es un aspecto particular de los datos entregados.

Capa	Contenido	Tipo de componente en el modelo
Nivel 2	Bloques, Puntos del levantamiento	Puntos aleatorios
Nivel 3, Nivel 4, Nivel 5	Valores descriptivos de los puntos: número, código, cota	
Nivel 6	Estaciones topográficas	
Nivel 15, Nivel 17, Nivel 18	Borde carretera, talud, acera, Cunetas, Caminos	Roturas
Nivel 20, Nivel 21, Nivel 22	Edificios, cierres, aglomerado,...	Roturas

Las fases de formación del modelo para la obtención del mapa topográfico son las siguientes:

1. Creación de la superficie.

Asignación de un nombre. Añadir: líneas de rotura y puntos aleatorios como objetos de dibujo; observar que los puntos son elementos de dibujo de tipo bloque.

2. Edición de la superficie creada. Tareas a desarrollar:

- Adecuación del contorno.  
Para eliminar triángulos de borde: Ediciones > Suprimir arista. Se pueden seleccionar aristas por captura, con la opción de teclado <c>.
- Edición del modelo. A continuación se procederá a editar aquellas zonas cuya modelización no es correcta. Se deja al alumno la edición de aquellos triángulos que generen curvas "extrañas". A continuación se indican algunas de esas zonas, sin carácter exhaustivo (se ha establecido una equidistancia 0,25m en esta fase).

Coordenada de referencia	Situación inicial	Situación editada
398903, 4796400 Intercambio de aristas		
398811, 4796411 Intercambio de aristas, eliminación de 2 puntos		



Destacar en esta fase los siguientes aspectos:

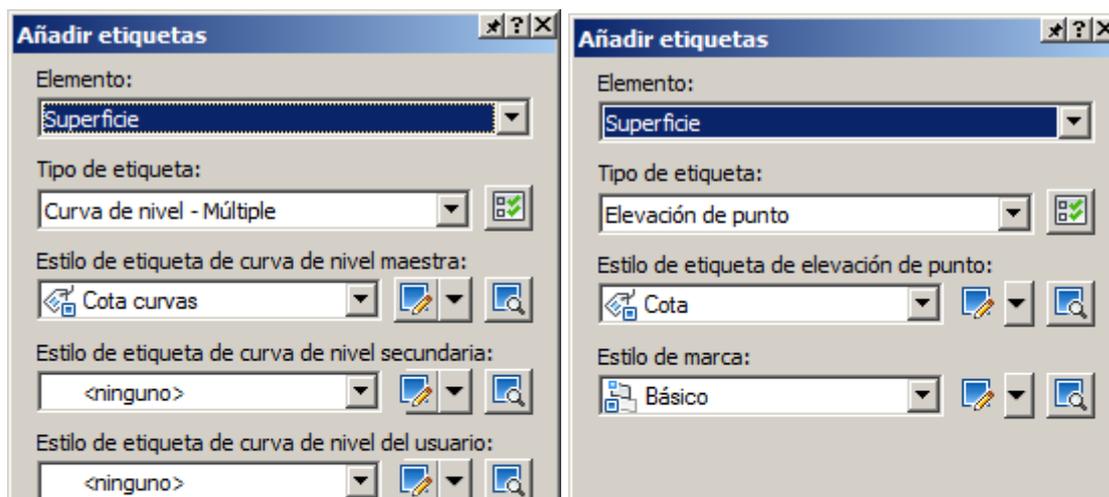
- El terreno se debe capturar en campo de forma coherente con las metodologías empleadas en la fase de formación del modelo.
- Conocer el terreno, a al menos las pautas habituales de la morfología del terreno, es importante.
- Hay una componente subjetiva importante.

3. Etiquetado de las curvas de nivel maestras y de los puntos de cota significativos.

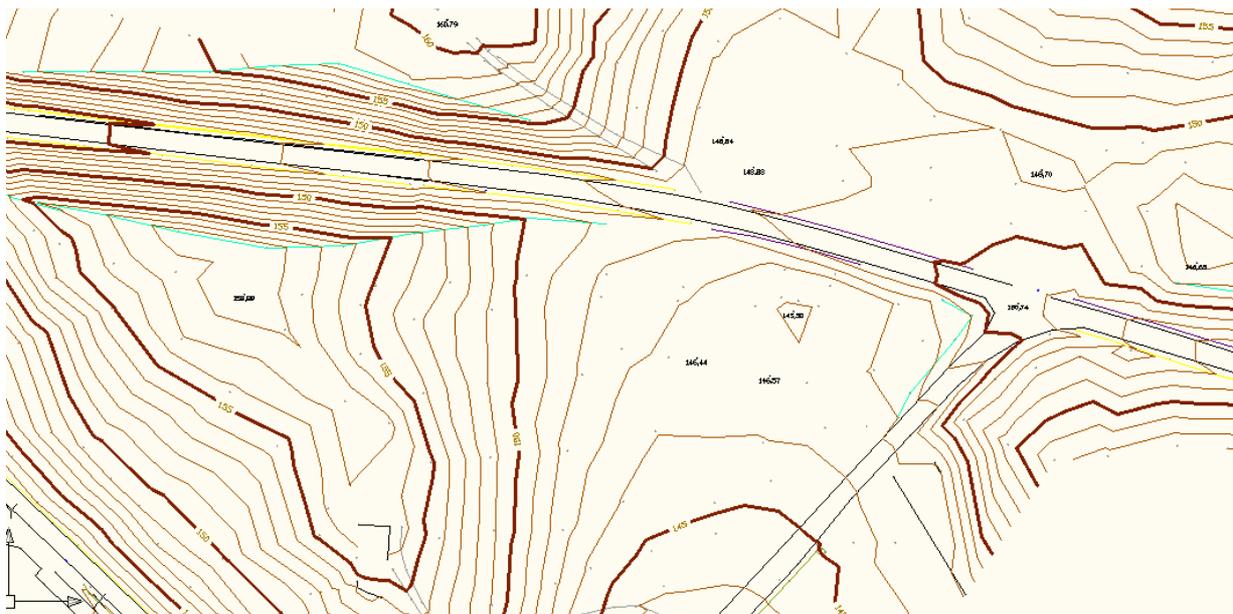
Una vez se considera que el modelo es correcto, se procederá a dibujar las curvas de nivel con su simbología y equidistancia correcta, en este caso 1 metro, que corresponde a la precisión del levantamiento efectuado.

Posteriormente se procederá al etiquetado de las curvas, a partir de la opción del menú **Anotar > Etiquetas y Tablas > Añadir etiquetas**. Se personalizará el estilo de etiqueta:

- Curvas de nivel maestras: sin decimales, altura de texto: 2 mm (Pestaña Composición).
- Puntos de cota: símbolo <+>, altura 1.5 mm, 2 decimales, justificación Izquierda-Abajo.



El aspecto final del mapa será semejante al que se muestra a continuación.



4. Exportación a elementos de dibujo de los componentes finales del modelo: curvas de nivel, puntos de cota y triángulos.

Seleccionada la superficie, en la ficha contextual *Superficie TIN* > *Extraer objetos*. Por defecto, los extrae en las capas definidas en el estilo de la superficie. Se cambiarán a nuevas capas, de nombres más claros.



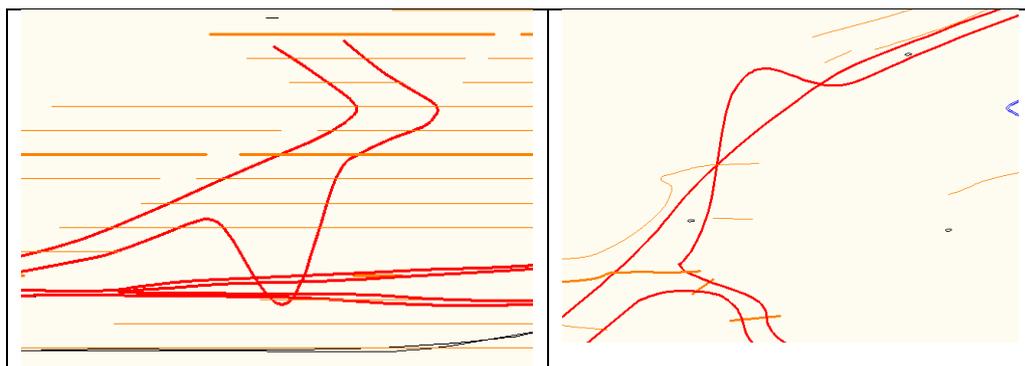
## Trabajo con datos procedentes de bases cartográficas convencionales.

Probablemente constituye el origen de formación de un MDT más habitual: ficheros de cartografía numérica procedentes de restitución. A continuación se proporciona el modelo de datos simplificado para el fichero correspondiente a una zona de Piélagos, a escala 1:1.000, en la carpeta pLab02\_mdt1\22\_cartografiaNumerica. El objetivo de la formación del modelo es generar el mejor MDT posible de la zona de influencia del río, para un hipotético estudio hidráulico.

Nivel	Contenido	Componente en el MDT
Nivel 1, Nivel 2	Curvas de nivel	Curvas de Nivel
Nivel 6	Puntos de cota	Otros objetos de dibujo, texto
Nivel 30 a Nivel 39	Red Viaria	Roturas
Nivel 10, nivel 17	Hidrografía	Roturas

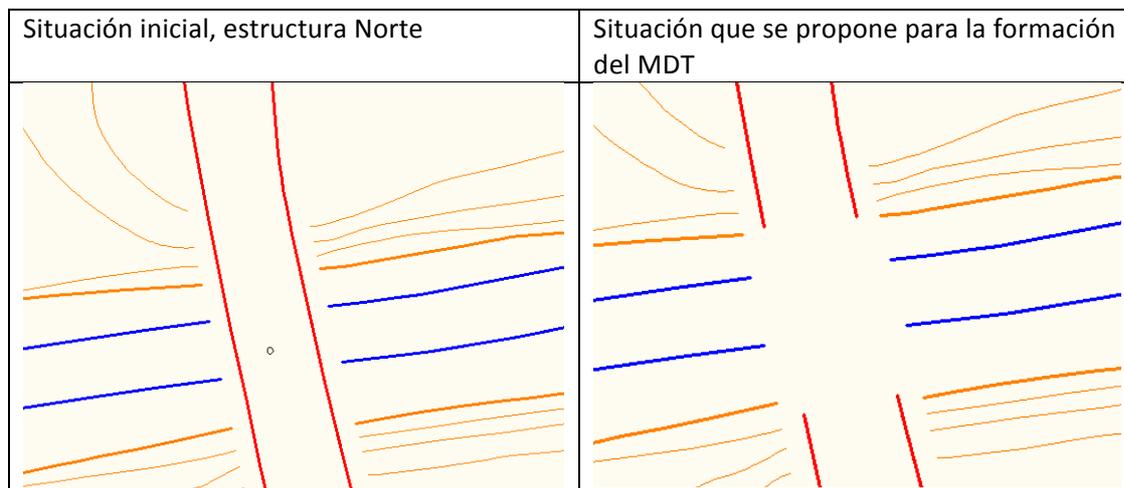
Se consideran las siguientes fases:

1. Revisar los datos. Identificar posibles datos erróneos en la cartografía. Puntos de vista aconsejados: frontal, libre 3D. A continuación se muestran las zonas en las que claramente existen errores. ¿Posibles soluciones?.



Se identificarán los dos puentes que cruzan sobre el río. ¿Qué ocurrirá en la formación del modelo?

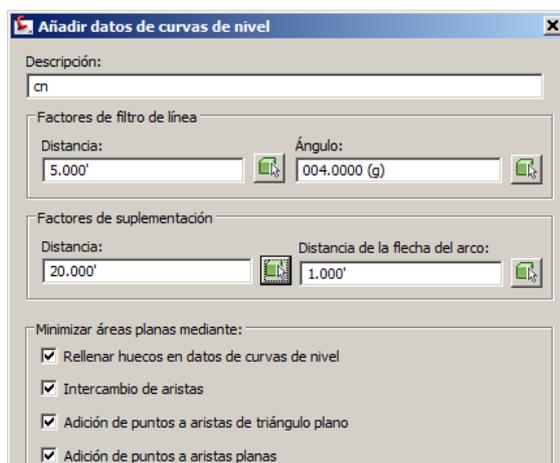
Es claro que caben dos opciones: o la edición posterior del modelo formado, o la modificación previa de los datos para que se obtenga directamente el MDT deseado. A modo de ejemplo, y para la estructura situada más al norte, se debería proceder a “borrar” los tramos de carretera que se prevé modelizarán de forma incorrecta el cauce, como se muestra la figura siguiente.



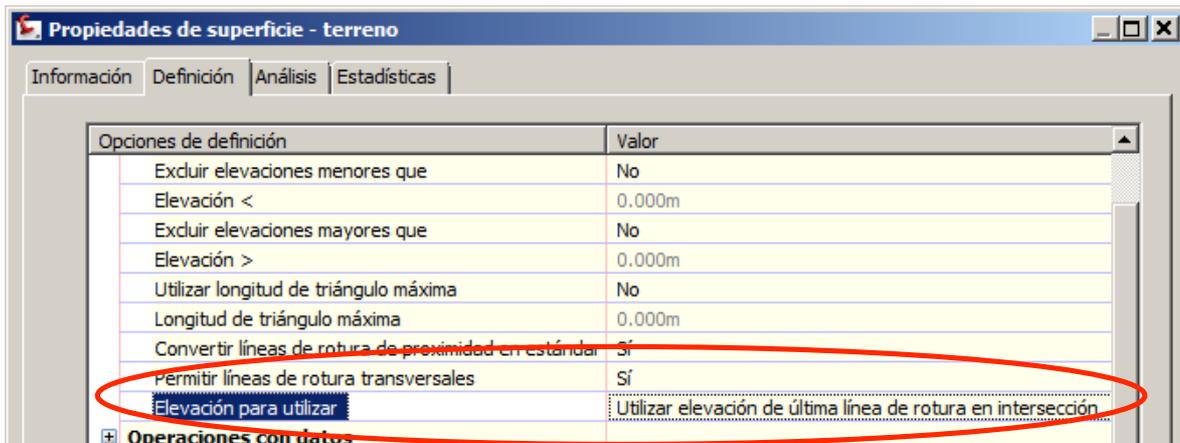
2. Creación de la superficie e incorporación de los componentes del modelo.

Se creará la superficie, y se procederá a añadir los diferentes componentes. Se tendrá presente:

- Curvas de nivel. A continuación se muestran los ajustes recomendados. ¿Qué se busca con los valores indicados?



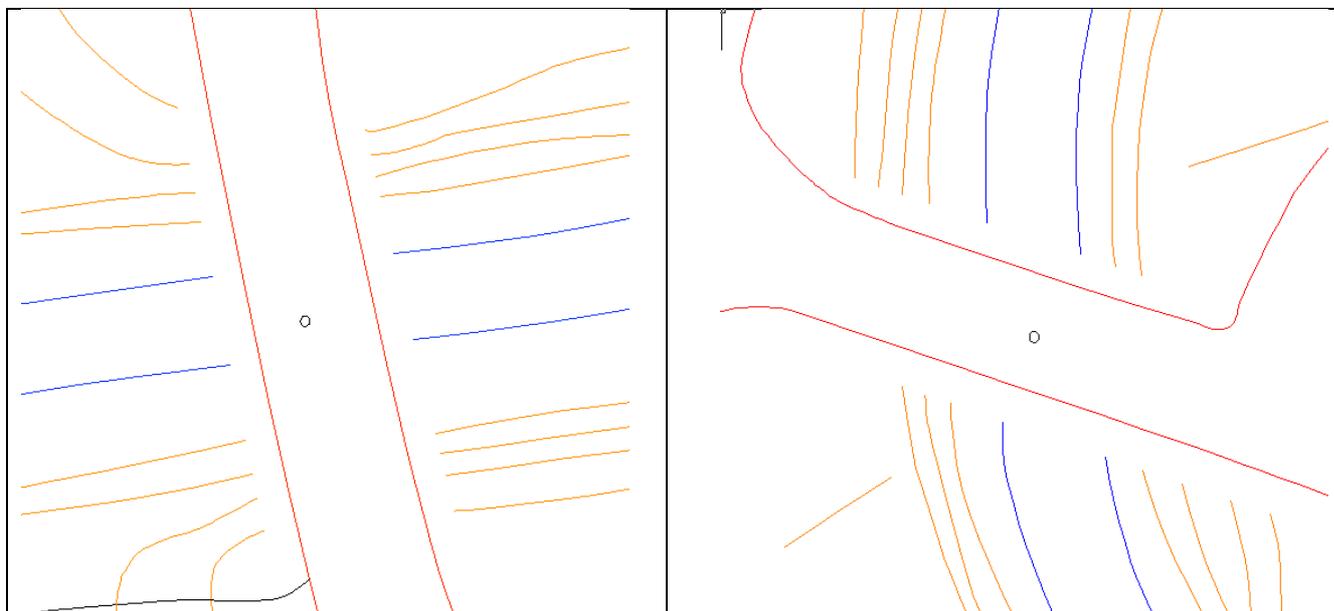
- Roturas. Supuesto el orden de incorporación de los datos sea primero curvas y después roturas, se forzará a que en los puntos de cruce de aristas prevalezca la cota de las roturas. Con este objetivo se establecerá el ajuste que se muestra.

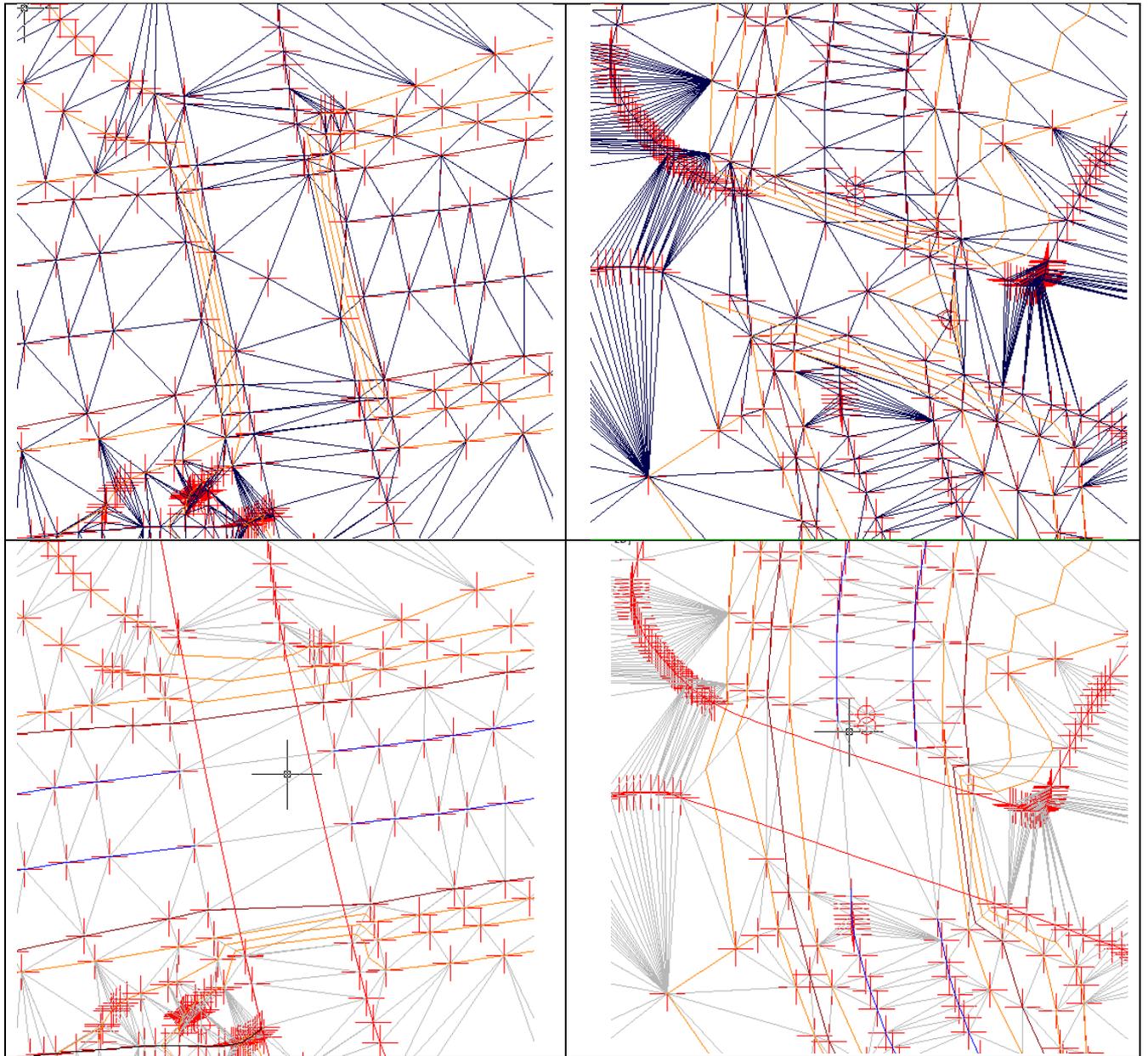


- Puntos de cota. Se añaden como Objetos de dibujo, de tipo texto.

### 3. Edición del contorno del modelo.

4. Edición del modelo en la zona de influencia del río. A continuación se adjuntan imágenes de los 2 cruces, mostrando los datos empleados así como el modelo antes y después de la edición (equidistancia de edición 0.50 m). Es claro que la definición del MDT en estas ubicaciones se tendrá que completar con trabajo de campo, en el que se defina con precisión la ubicación del estribo bajo el tablero.





5. Extracción de los triángulos y curvas de nivel. Se generarán de nuevo las curvas, con equidistancia de 1 m.

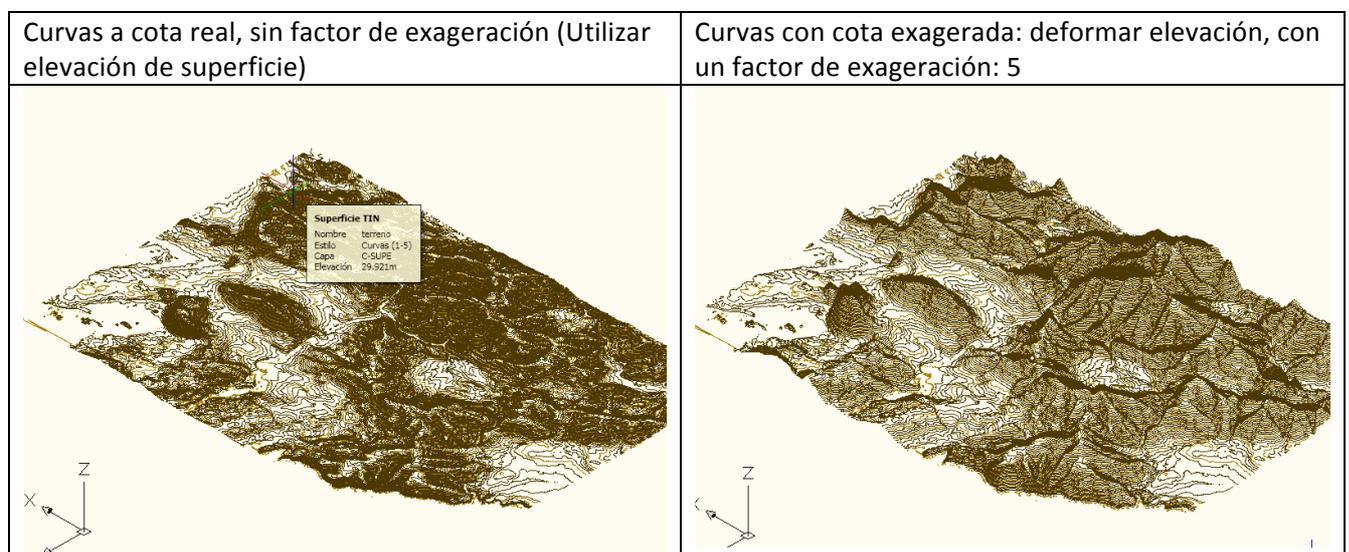
Trabajo complementario para el alumno: para visualizar los problemas asociados a la formación de zonas planas, se experimentarán las opciones disponibles con este objetivo con el fichero de Potes (22\_potes\_e5000.dwg), en particular en ladera Sur, en la que existen vaguadas y divisorias más marcadas.

## Trabajo con MDE.

El fichero que se adjunta se ha descargado del CNIG, y corresponde al modelo digital de elevaciones con separación de 25 m, para la hoja 0035-C2 del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 .

Para que pueda ser reconocido por Civil3D, es preciso renombrar la extensión original de <\*.agr> a <\*.asc>. Indicar que el sistema de referencia ETRS89, proyección UTM huso 30N. Pasos a seguir:

1. Creación de una superficie, de tipo TIN. Añadir datos, desde un archivo DEM, de tipo ascii Esri Grid.
2. Visualización de la superficie. Se crearán curvas de nivel cada 10 m. Se exagerará el relieve, para facilitar su interpretación (En la definición del estilo de superficie, pestaña Curvas, opción de Geometría 3D).



3. Crear mapas de análisis del terreno: elevaciones, pendientes y orientaciones. Se establecerán entre 5 y 7 clases para cada mapa, a criterio del alumno. Se salvarán en objetos de dibujo. Experimentar con los distintos tipos de objetos de dibujo disponibles.
4. Extracción de las curvas de nivel como objetos de dibujo, con equidistancia de 10 m.