

Tesis de Becarios de Investigación

“Cómo Lograr un Correcto Modelado Virtual de Terreno”

BECARIO: Luciano Brizuela

TUTOR: Ing. Luis Ricci

AREA: Estudios del Transporte

Año: 2008

TESIS BECARIOS DE INVESTIGACIÓN AÑO 2008

LEMaC

Centro de Investigaciones Viales

TEMA:

“Empleo de Software para Diseño Geométrico de Obras Viales”

SUBTEMA:

“Cómo Lograr un Correcto Modelado Virtual de Terreno”

BECARIO:

Luciano Brizuela

AREA DEL LEMaC:

Estudios del Transporte

OBJETIVO:

La intención de este trabajo es dar los lineamientos necesarios para lograr una correcta modelización de terreno. Utilizando la **Estación Total** (*) como tecnología de campo y el software **Auto Cad Civil 3D** como tecnología de modelado.

Luego de adquirir experiencia con dichas tecnologías nos proponemos volcar en el papel de forma conceptual los puntos más relevantes y sensibles de la metodología empleada.

Con el fin de brindar una documentación que le permita al lector conocer el alcance de dichas herramientas.

Auto Cad Civil 3D fue pensado para el profesional orientado a la ingeniería civil, ya que permite realizar una gran variedad de tareas de dicha rama, pero lo más interesante es que permite crear relaciones inteligentes entre objetos para que los cambios en el diseño se actualicen de forma dinámica. La gran versatilidad que posee el software hace que su manejo sea complejo, dado que permite ajustar un gran número de variables, de acuerdo a las necesidades del usuario.

(*)La metodología de colecta de datos fue desarrollada en la 1º etapa de la tesis “Metodología de trabajo con Estación Total”.

DESARROLLO:

El becario desarrollará las tareas de aprendizaje y conocimiento de un software aplicado al diseño geométrico de obras lineales. Se integrarán de esa manera los conceptos aprendidos en las cátedras correspondientes a la currícula de su carrera con los nuevos avances tecnológicos. Se reforzarán también conceptos básicos del diseño geométrico de caminos y la normativa vigente en la Argentina, tendiendo a la adaptación del programa de diseño a dichos limitantes.

PERIODO:

Abril a Diciembre de 2008

FORMA DE APROBACIÓN:

Con entrega de informe final evaluado por los Jefes de Área.

DIRECTOR:

Ing. Luis Agustín Ricci

Índice

ÍNDICE	3
INTRODUCCIÓN	4
INTRODUCCIÓN	4
MODELO DIGITAL DE TERRENO	5
PASOS BÁSICOS PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO	7
OBTENCIÓN DE CURVAS DE NIVEL	8
OBTENCIÓN DE UNA GRILLA RECTANGULAR	8
EJEMPLO DE APLICACIÓN	9
ANÁLISIS DE ESCURRIMIENTO	11
CONCLUSIONES	12
BIBLIOGRAFÍA	13

Introducción

En el desarrollo de un proyecto vial convencional, los datos necesarios del terreno, se tipificaban en tablas de datos numéricos y conformación de perfiles transversales, tomando como guía el eje del camino a proyectar. Para lo cual debía primero generarse una traza definida casi en su totalidad sobre la cual se apoyaran los relevamientos topográficos.

Esto dificultaba o incrementaba de forma sensible los costos y tiempos al momento de analizar diferentes alternativas.

Este punto en particular, se ve salvado con la modelización digital ya que lo que pretende lograr esta nueva técnica es volcar el terreno al gabinete y de esa manera generar una mayor libertad al momento de efectuar el proyecto de un camino. Es decir logrando una buena aproximación del terreno en formato digital se puede analizar distintas alternativas de trazado con un mismo conjunto de datos colectados del terreno.

Esto es una clara e importante ventaja que permite un mejor y más completo estudio del trazado y que conlleva indudablemente a una optimización del conjunto terreno-diseño que desemboca en un ahorro de tiempo y costo significativo.

Como es evidente y en consecuencia, lo más importante entonces al momento de generar dicho modelo digital, es tomar una serie de recaudos para asegurarnos, la menor discrepancia con la realidad. Al menos en los parámetros de interés para la obra en cuestión.

Modelo Digital de Terreno

Antes de entrar en la técnica de modelado propiamente dicha es necesario definir algunos conceptos básicos.

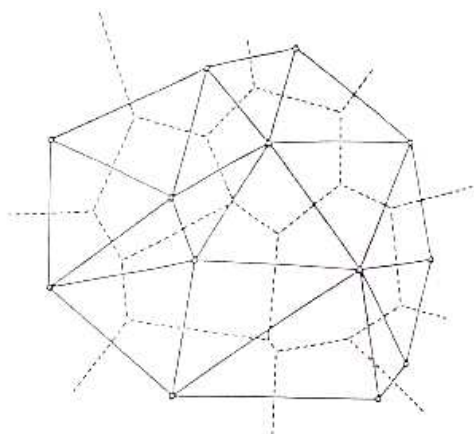
Es importante tener conocimiento que el programa de modelado **Auto CAD Civil 3D** trabaja con distintas entidades donde cada una depende de la otra, por ejemplo, el objeto más básico es un grupo de puntos.

Se debe tener claro que los puntos en Auto CAD Civil 3D dejan de ser sólo una representación gráfica para convertirse en una entidad inteligente, pero de todas las entidades esta es quizás la más importante ya que es el origen de todas las demás. Una vez que tenemos los puntos agrupados y ya reconocidos como entidad en **Auto CAD Civil 3D**, la siguiente entidad a generar sería la superficie. El programa no genera dicha superficie en forma continua, sino que realiza una discretización triangular comúnmente conocida como “TIN” (Red de Triángulos Irregulares), es decir forma planos a partir de tres puntos no colineales, y el conjunto de estos pequeños planos conforma el modelo del terreno.

En este punto es donde la nueva tecnología necesita que el profesional intervenga en forma directa ya que por sí misma le resulta imposible lograr una correcta modelización.

Para ello el programa cuenta con una serie de herramientas que permiten en forma bastante eficiente adecuar el modelo a la realidad.

Las condiciones necesarias para que una TIN sea representativa de la topografía son:



- El número de triángulos ha de ser máximo
- El área de los triángulos ha de ser mínima
- Los triángulos han de ser lo más equiláteros posible

Este método supone que la altura varía linealmente dentro del triángulo.

Como primeras herramientas tenemos las Líneas de quiebres (Breaklines) y los bordes (boundaries) que nos permiten realizar sensibles cambios en la triangulación, para que el teselado (red de polígonos) cumpla con las condiciones satisfactoriamente.

El Software no es capaz de distinguir la ubicación precisa de umbrales, fondos de cunetas, bordes de pavimento, etc. Mediante la identificación de estas líneas características del Terreno en el plano se controla la creación de los triángulos en la rutina de la construcción de la malla.

Estas líneas son llamadas LINEAS DE QUIEBRE O BREAKLINE, son líneas mediante las cuales se definen aristas fijas entre las que no debe ser interpolado el modelado de terreno. Es decir, las mismas constituirán lados fijos de los triángulos de la TIN y ninguno de esos triángulos pueden cruzar a las líneas de quiebre, de su correcta indicación dependerá buena parte de la exactitud del modelo.

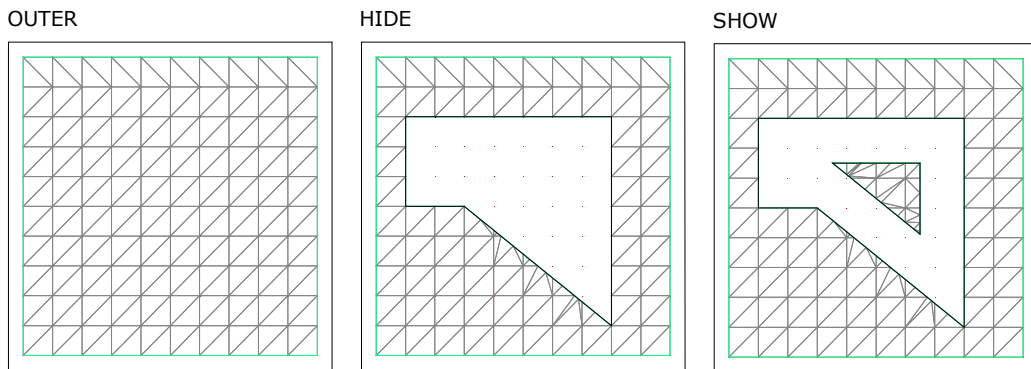
Debe indicarse también la frontera o borde de la triangulación mediante una polilínea cerrada alrededor de los puntos (BOUNDARIE). La polilínea puede tener sus vértices exactamente sobre puntos de datos o algo fuera de ellos. La elevación de esta polilínea debe ser inferior al valor mínimo

especificado para los datos de entrada, de esta manera los puntos de la frontera no ingresan al modelo. Si no se especifica una frontera, se define por defecto el polígono convexo que contiene a todos los puntos.

Existen distintos tipos de borde (BOUNDARIE) o de contorno de la superficie que se pueden definir. El más utilizado es el de tipo OUTER, el cual sirve para definir el borde exterior de la triangulación. Pero también está el tipo HIDE, que sirve para definir un área donde no se quiere modelado (lugar de un edificio, laguna, etc.). O el tipo SHOW que sirve para mostrar el modelado dentro de una región oculta.

En proyectos de obras lineales con geometría curvilínea es conveniente la definición del borde por el usuario, en especial en zonas onduladas o montañosas donde puede haber gran cantidad de curvas sucesivas.

Pueden existir otras áreas del plano donde se quiere evitar que el programa construya curvas de nivel, tales como lagunas, charcas o parcelas edificadas. Estas zonas se denominan AREAS VACIAS O AREAS NULAS, y para definir las se dibuja una polilínea cerrada a modo de frontera interior de la triangulación (HIDE BOUNDARIE), representando que dentro de esa área no deben dibujarse triángulos. Como en general los programas trabajan en un modo gráfico, la malla triangular creada puede ser editada para su corrección, borrado de triángulos, cambio de cotas de puntos, cambio de diagonales, corrección o agregado de líneas de quiebre, etc.



Pasos básicos para la generación del modelo

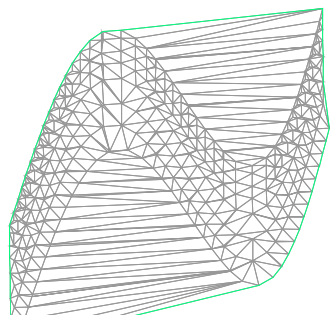
Creación de puntos COGO (geometría de coordenadas, coordinate geometry) o Entidad Inteligente de Puntos:

- Una vez obtenida la colecta de datos en forma correcta, esto significa logrando una nube de puntos uniforme y con la densidad correcta y abarcando una zona bastante más amplia que la del camino, volcamos dicha información a un archivo con formato compatible con el programa de modelado a emplear. Para el caso de **Auto Cad Civil 3D** sería “.dxf ”
- Se debe convertir los puntos de dibujo a entidad inteligente de **Auto Cad Civil 3D**, al hacerlo el programa le da la opción de crear grupos de puntos. Para la correcta creación de los mismos es de mucha utilidad la identificación de campo ya que de esta manera podemos agrupar todos los puntos que sabemos con anterioridad forman parte de una Línea De Quiebre o un Borde. También debemos agrupar los puntos que colectamos para generar la “TIN” por un lado y los que sean de ubicación y orientación por otro.
- Una vez creado los grupos de puntos se debe cotejar la información obtenida con mucho cuidado ya que como se sabe es el origen de nuestro modelo, es recomendable que una vez que estén creados los grupos de puntos, se realice una verificación para asegurarse de que no exista un dato mal colectado. Una manera simple de hacerlo es revisando las cotas de los puntos y verificando o constatando que algún valor no se escape groseramente del resto de su mismo grupo.
- De todas formas cualquiera sea su metodología es válida siempre y cuando se asegure que ha encontrado y eliminado datos erróneos.

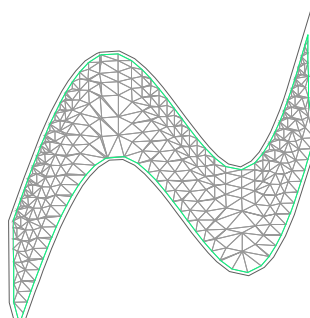
Creación de La TIN:

- Como primera medida se debe crear la entidad “Superficie TIN”, darle un nombre y asociarle uno o varios grupos de puntos.
- Luego de asociar los puntos a la superficie podríamos realizar una primera visualización del modelado para ver cómo y dónde intervenir con las herramientas de edición (Boundarie, Breakline, etc.) para ajustar el modelo.
- En la observación de la TIN uno debe asegurarse que se cumplan lo mejor posible las premisas ya mencionadas, por ende donde la triangulación no respete dichas premisas (Pág. 3) es donde debemos asistir a dicha tecnología en forma manual. Es importante que el profesional encargado del modelado halla tenido un contacto real con la zona a modelar ya que si se quiere, él va a ir forzando la triangulación hasta que se aproxime al terreno natural.
- Finalizada las intervenciones debemos orientar la superficie apoyándonos en el grupo de puntos “ubicación y orientación”.

Visualización del modelado:



Primera Visualización de la “TIN”



Visualización de la “TIN” Editada mediante boundarie

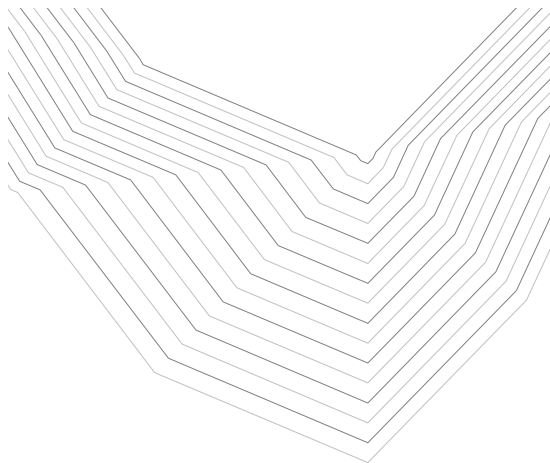
Obtención de Curvas de nivel

Con la superficie “TIN” generada y editada, la obtención de las curvas de nivel se realiza por interpolación sobre los lados de los triángulos.

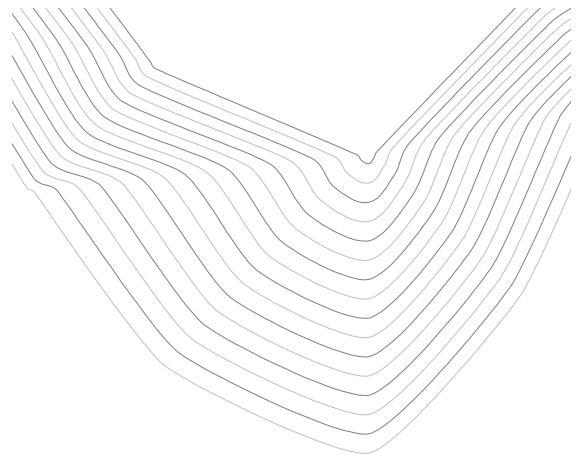
Se define el intervalo deseado para las curvas de nivel (minor contour) por ejemplo 1 metro y a continuación el intervalo a considerar para las curvas principales (major contour) por ejemplo 5 metros.

Si se especifica un factor de suavizado, el programa recalcula las curvas de nivel para ser más exactas, construyendo más triángulos dentro de los ya definidos. Cuanto más alto sea el factor de suavizado, más tiempo se demora para calcular una curva, crece el tamaño del archivo. También debe tener cuidado con dicho factor ya que al mayorarlo se corre el riesgo de la superposición de curvas de distinta cota lo cual conceptualmente es una incoherencia.

Visualización de las curvas de nivel:



Visualización sin suavizado



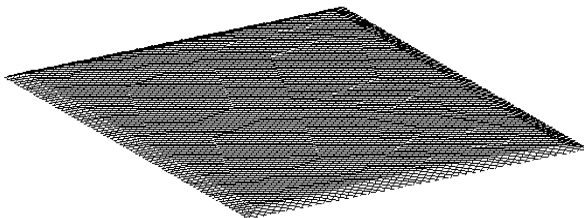
Visualización con suavizado

Obtención de una grilla rectangular

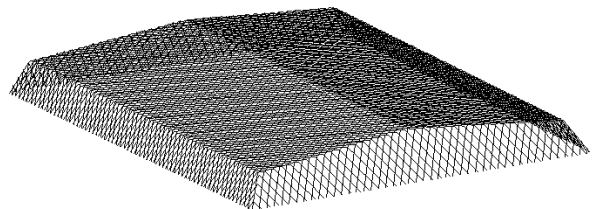
Una vez definida la malla triangulada irregular se puede generar una grilla rectangular, que permite una mejor visualización tridimensional del terreno.

Se puede elegir el intervalo en X e Y de la malla, como así también un factor de Deformación vertical si se desea.

Visualización de las grillas:



Visualización sin factor de exageración vertical

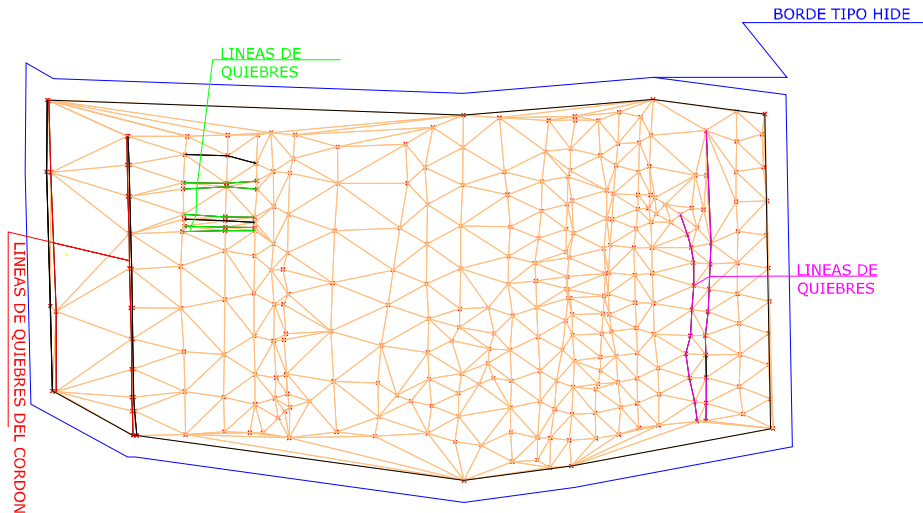


Visualización con factor de exageración vertical

Ejemplo de aplicación

Siguiendo los pasos arriba expuestos se desarrollara un pequeño proyecto con le fin profundizar en lo que respecta a metodología de trabajo y potencial de dicha tecnología.

Nivelación areal y movimiento de suelos:

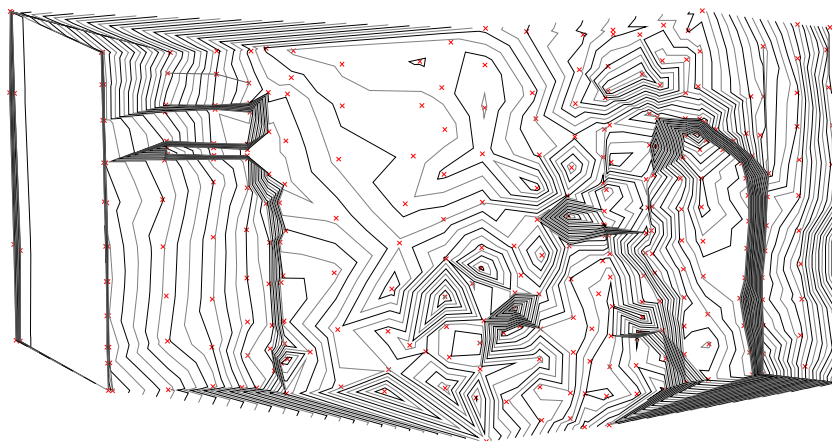


TIN (Red de Triángulos Irregulares) editada mediante líneas de quiebres y borde

Como se puede apreciar en la imagen el grado de editado de la superficie “TIN” dependerá de la topografía del terreno y de la tarea a realizar. En este caso en particular bastó con unas pocas líneas de quiebre y un borde tipo hide. También podemos ver que la densidad de puntos colectados por metro cuadrado varía en función de la topografía, siendo obviamente más denso mientras mas irregularidad se presenta el terreno.

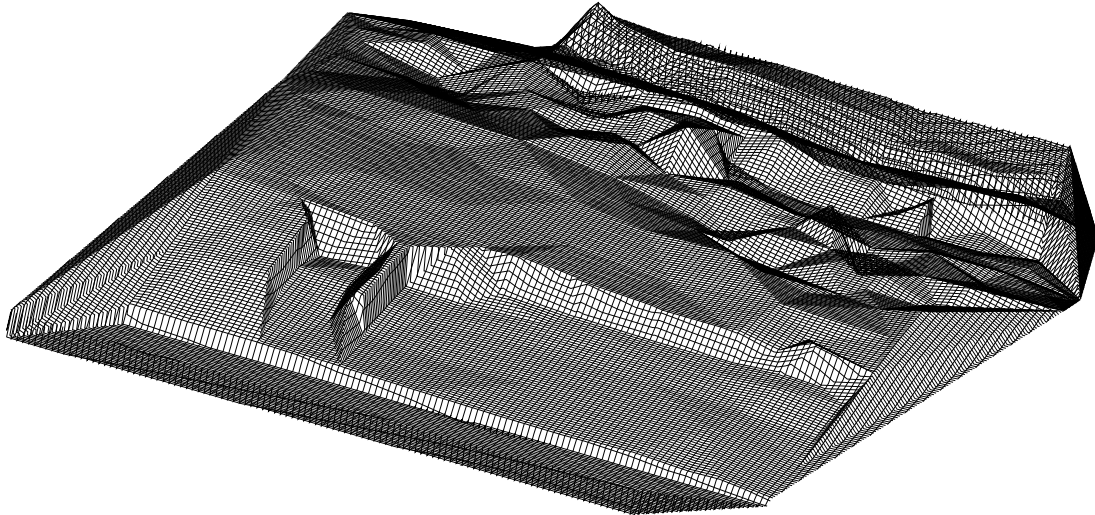
Una vez conforme con el editado de la triangulación es conveniente visualizar las curvas de nivel para asegurarnos que dicho modelo se asemeje a la realidad e identificar posibles errores en el procesamiento de la información.

El suavizado de las curvas en este caso es el mínimo ya que como sabemos al aumentar dicho parámetro aumenta el tamaño del archivo y además se puede incurrir en incoherencias. De todas formas si se quisiera visualizar un plano de curvas de nivel más realista bastará con ajustar el suavizado a un valor optimo, dicho proceso se realiza por prueba y error.



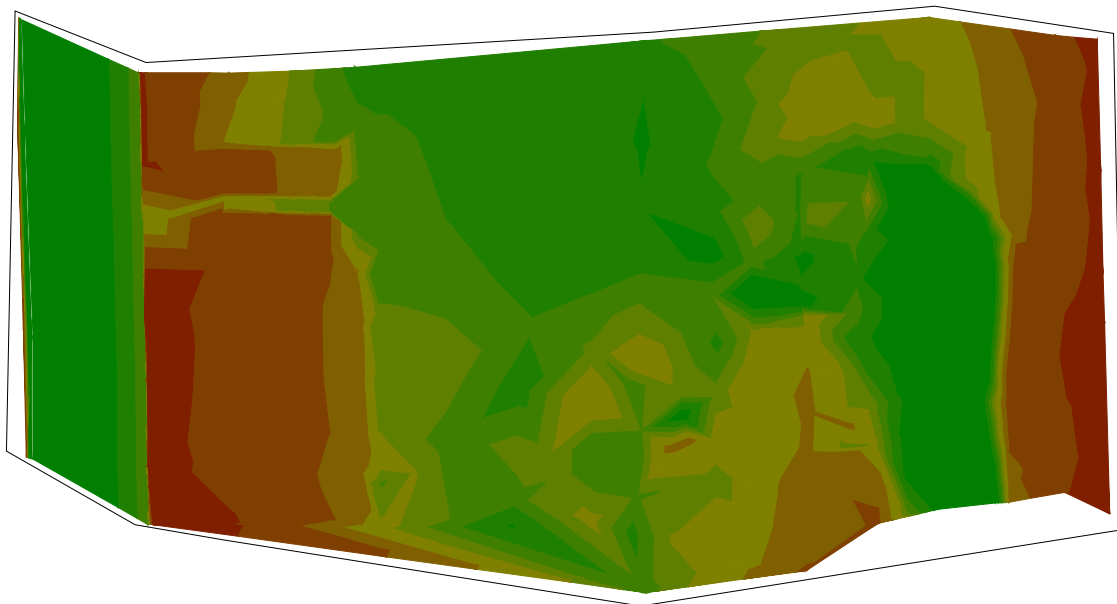
Curvas de Nivel con suavizado mínimo aplicado

Materializar una grilla exagerada en ordenadas nos ayuda a corregir errores más específicos de la TIN, tanto el factor de exageración como el tamaño de la grilla dependerá de la topografía del terreno y de la perspectiva buscada. El valor exacto de dichos parámetros se consigue para cada caso en particular de forma grafica por prueba y error.



Grilla editada en perspectiva exagerada 5 veces en vertical

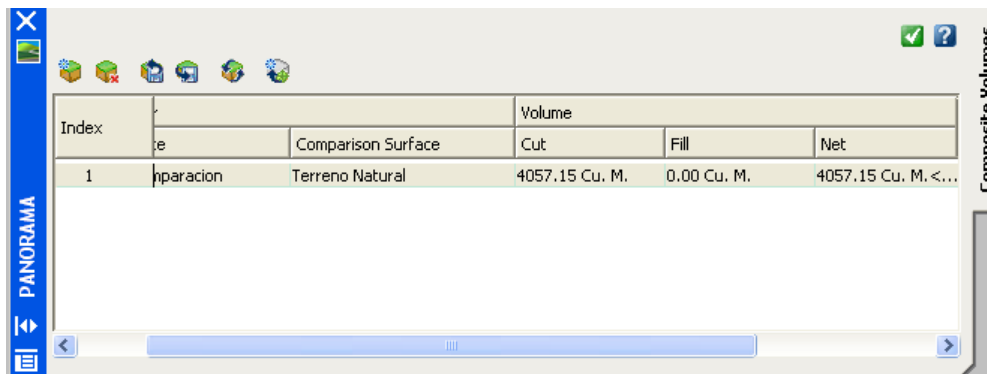
Con estas herramientas debería ser suficientes para ajustar el modelo a la realidad. Abordándose ahora lo que respecta a presentación, una manera de visualizar la superficie modelada que permite una rápida y acabada representación es utilizando una superficie de elevación. Se conoce con este nombre a un gráfico que asigna colores a las distintas regiones de igual cota, lo que generalmente también se conoce como plano o mapa orográfico.



Mapa Orográfico

Generando una superficie de comparación y ubicándola en la cota de proyecto por ejemplo, **Auto CAD Civil 3D** permite calcular el volumen de suelo a remover o colocar según sea el caso. Dicho software da la posibilidad de introducir factores que nos permiten más precisión en el cálculo, tales como factor de compactación, de esponjamiento, etc.

En este caso en particular se trabajo con una superficie plana ubicada en cota cero, se puede observar que el programa calculó un volumen de corte de 4057.15m³, o sea se debe desmontar dicho volumen.

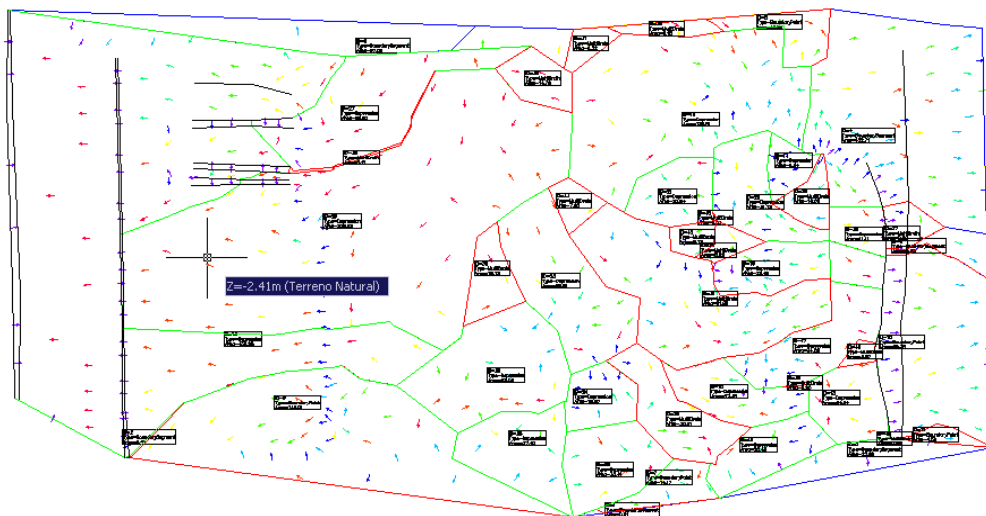


Index			Volume		
	Comparison Surface	Cut	Fill	Net	
1	Terreno Natural	4057.15 Cu. M.	0.00 Cu. M.	4057.15 Cu. M. <...>	

Cálculo de movimiento de suelos emitido por el programa

Análisis de Escurrimiento

Auto CAD Civil 3D permite realizar un análisis de escurrimiento, sobre una superficie editada, dicha función es de mucha utilidad ya que realiza una subdivisión de cuencas clasificándolas en: Depression watershed, Flan Area Watershed, Multi Drain Watershed y Multi Drain Notch Watershed. Pudiendo también materializarse el sentido de escurrimiento sobre cada subcuenca.



Análisis de Escurrimiento

Una herramienta útil para el estudio de la cuneca es “Water dorp path” que nos permite ver en forma dinámica el recorrido de la gota de agua sobre cada subcuenca y de esta manera determinar por ejemplo los posibles puntos críticos del escurrimiento superficial.

Conclusiones

Se concluye que se ha alcanzado con éxito el objetivo buscado a comienzos de dicha investigación, por lo tanto a fin de volcar la experiencia con este tipo de tecnología se puede decir que es muy útil para los profesionales de la rama ingeniería.

El proceso de modelado, si bien es automatizado, no puede dejarse librado a los resultados arrojados por la computadora. Inevitablemente el control exhaustivo por parte de un profesional es necesario, el cual en numerosas ocasiones debe intervenir y modificar elementos fundamentales que definen a la superficie.

Se debe tener en cuenta que la adaptación a esta nueva técnica de trabajo no es sencilla y por ende lleva un tiempo real acostumbrarse a trabajar con ella, ya que no sólo se modifican los procedimientos de gabinete sino que también lo hacen y en forma considerable los de campo.

De todas formas y como contra partida existe un ahorro de tiempo realmente considerable al momento de desarrollar un proyecto y sobretodo al momento de analizar distintas alternativas. Lo que es realmente atractivo de esta técnica es la cantidad de tareas que se pueden realizar con un mismo conjunto de datos.

Bibliografía

- Autodesk. "Manual del usuario Autodesk Civil 3D 2006". Autodesk. 2006. España
- Goñi, Rodolfo. "Relevamiento Topográfico y Modelización del Terreno Natural". Maestría en Ingeniería del Transporte – Orientación Vial – UBA. 2006. Argentina
- Ing. Francisco J. Sierra. "Trazado y diseño geométrico de caminos rurales", Escuela de Graduados Ingeniería de Caminos, Argentina