

SISTEMAS EICAM
DE MODELACIÓN DIGITAL DE TERRENOS Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS

Ing. Carla Bruschi de Cardinali, Agrim. Alfonso de la Torre, Lic. Adriana Gómez de Tapella,
Ings. Alberto B. Graffigna, Juan E. Marcet y Julio Ortiz Andino.

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña "Agrim. Alfonso de la Torre"
Universidad Nacional de San Juan - Av. Libertador San Martín 1109 (Oeste) 5400 - San Juan
República Argentina.

Tele-fax: 064-228666 - E-mail: root@eicam.unsj.edu.ar

SISTEMAS EICAM PARA LA INGENIERÍA VIAL

La Escuela de Ingeniería de Caminos Montaña ha desarrollado varios sistemas informáticos aplicados a la Ingeniería Vial. Los dos que aquí se presentan se complementan entre sí, el sistema EICMT3 genera modelos digitales de terrenos y el sistema EICG02 utiliza dichos modelos para realizar, sobre ellos, el diseño geométrico asistido de caminos. Al finalizar la ejecución de un proyecto se puede calcular automáticamente el movimiento de suelos y se crea el modelo digital del proyecto más el terreno adyacente, lo cual permite recorrer e inspeccionar el camino proyectado mediante procedimientos dinámicos de visualización tridimensional.

El diseño asistido de caminos resulta de gran utilidad, sobre todo cuando el terreno sobre el cual se trabaja es ondulado o montañoso. La simplicidad del manejo del sistema y la rapidez de ejecución admite diseñar, en poco tiempo, distintas alternativas o variantes del trazado para luego seleccionar la mejor, todo lo cual favorece a la economía del proyecto.

SISTEMA EICMT3

Datos de entrada.

El sistema EICMT3 admite como datos de entrada las coordenadas X,Y,Z de los puntos relevados del terreno. Los mismos pueden provenir de la libreta electrónica de una estación total cuando el levantamiento es terrestre, o bien de un restituidor digitalizador cuando se trata de relevamientos aerofotogramétricos, o pueden ser obtenidos de planos de restitución existentes mediante la digitalización de los mismos con tablero digitalizador. También el usuario puede ingresar los datos directamente por el teclado. Además de la nube de puntos se pueden ingresar "strings", cadenas de puntos que denotan quiebres de la superficie del terreno.

Capacidad del sistema.

El sistema está concebido para trabajar con gran cantidad de puntos. La cantidad de puntos del modelo no está limitada por el sistema sino que depende del hardware con el cual se trabaja. En la EICAM se han procesado sin inconvenientes terrenos de más de 200.000 puntos, utilizando una PC 486 DX2-66 con disco duro de 500 Mb y 16 Mb de memoria RAM.

Sectorización y agilidad de explotación.

La explotación de un modelo digital de gran cantidad de puntos, no sectorizado, se vuelve ingobernable por su lentitud. El sistema EICMT3 divide el área total del modelo digital en sectores rectangulares, lo cual se realiza automáticamente o con intervención del usuario. Esta división geográfica se utiliza luego para confeccionar los "archivos sectorizados de acceso directo" en los cuales la búsqueda de un elemento resulta inmediata.

Modelos no estructurados y estructurados

El archivo de puntos nube-strings constituye un modelo digital no estructurado, donde los puntos no están vinculados entre sí. Los métodos para obtener cotas de la superficie de estos modelos no son muy exactos. Por ello conviene utilizar modelos estructurados, donde los puntos están vinculados entre sí. El sistema EICMT3 genera, a partir del modelo nube-string, modelos estructurados de malla triangular y malla cuadrada, en los cuales las cotas de los puntos de la superficie se calculan por interpolación entre las cotas de los nodos de las mallas.

La malla triangular.

La malla triangular se genera sector por sector, pudiéndose observar el procedimiento en la pantalla del monitor. Para la triangulación automática de los puntos se utiliza el método de Delauney. La configuración de la malla triangular de cada sector resulta única y encaja perfectamente con las mallas de los sectores vecinos. La generación de triángulos incluye los strings, los que quedan contenidos en la red triangular. Los triángulos se graban en el correspondiente archivo sectorizado de malla triangular. La generación de la malla respeta los contornos del área digitalizada no generando mallas en los contornos cóncavos (bahías) o zonas interiores no digitalizadas (lagos).

La malla cuadrada.

La malla cuadrada de cada sector se crea automáticamente después de haberse generado la malla triangular correspondiente. El ancho de las celdas cuadradas lo fija el usuario asistido por el sistema. Dentro de cada sector cabe una cantidad exacta de celdas en ambos sentidos. Las cotas de los nodos se graban en el archivo sectorizado de la malla cuadrada.

Exactitud y utilización de ambas mallas.

Los nodos de la malla triangular coinciden exactamente con los puntos relevados del terreno, por lo tanto describe su forma con mayor fidelidad. Para calcular la cota Z de un punto cualquiera de coordenadas X,Y de la superficie del modelo, se realiza una interpolación entre las cotas de los tres vértices del triángulo correspondiente, por ello la malla triangular es la más precisa.

La malla cuadrada tiene sus nodos apoyados sobre las caras planas de los triángulos de la malla triangular. Una celda cuadrada puede tener sus cuatro nodos contenidos en distintos triángulos, en cuyo caso puede ser una celda alabeada. Para calcular la cota de un punto de la superficie del modelo, se realiza una interpolación entre las cotas de los cuatro nodos de la celda correspondiente. Esta interpolación es de segundo orden porque las cotas de los nodos de la celda cuadrada, a su vez, fueron obtenidas por interpolación entre cotas de nodos de la malla triangular. Por ello se considera que la malla cuadrada es algo menos precisa que la malla triangular, sin embargo describe con mayor realismo el relieve del terreno.

Ambas mallas tienen distintas cualidades y ambas resultan útiles según sean las aplicaciones a que se las destine. Por ello el Sistema EICG02 utiliza la malla triangular, que es más precisa, cuando hay que calcular cotas -como cuando se calcula el perfil longitudinal del terreno a lo largo de la traza del camino-, y utiliza la malla cuadrada toda vez que se representa el terreno en perspectiva.

Representación del modelo Nube-strings.

El modelo que incluye la nube de puntos y los strings se representa en vista superior. Es posible, con diversos comandos, inspeccionar sectores del mismo, elegir áreas parciales, solicitar ventanas y desplazarse en todas direcciones para explorar el modelo. Se pueden capturar puntos representados en pantalla y conocer sus datos.

Representación del modelo de malla triangular y cuadrada.

El sistema permite visualizar el modelo total o parcialmente, con cualquier tipo de vista o perspectiva, mediante el dibujo de cualquiera de las siguientes entidades: la malla triangular, la malla cuadrada, las líneas de nivel, y cualquier combinación de ellas.

Además, es posible visualizar otras entidades (strings, puntos creados por el operador, etc.), seleccionar a voluntad el área a representar, elegir vistas diversas (isométricas, axonométricas y

cónicas), abrir ventanas sucesivas, desplazarse sobre el modelo en cualquier dirección, conocer las coordenadas de cualquier punto de su superficie, cambiar los colores de las distintas entidades e imprimir las imágenes que aparecen en la pantalla.

Modelos ficticios aleatorios.

El sistema puede crear modelos de terrenos ficticios mediante procedimientos fractales. En ellos la distribución de puntos es aleatoria y la rugosidad del terreno la elige el usuario, pudiéndose obtener modelos con superficie de llanura, ondulada o montañosa.

SISTEMA EICG02

El sistema EICG02 es una herramienta CAD específica de ingeniería vial. Posibilita el diseño geométrico asistido del camino sobre la imagen tridimensional o plana del modelo digital del terreno generado por el sistema EICMT3.

Diseño planimétrico.

El módulo de planimetría permite definir los vértices de la poligonal con el uso del ratón o ingresando sus coordenadas por teclado. Se pueden agregar, intercalar o eliminar vértices y modificar su posición. Las curvas horizontales se definen ingresando el radio, la tangente o la externa, y la longitud de las espirales de transición. Cualquiera de estos valores pueden ser luego modificados. Admite curvas simétricas o asimétricas. Los peraltes y sobreanchos se calculan automáticamente según normas.

El sistema posee múltiples opciones para facilitar la tarea del proyectista. Pueden visualizarse las líneas de nivel con cualquier equidistancia. Pueden trazarse líneas de pendiente constante a partir de un punto como paso previo a definir la traza del camino. Un interesante procedimiento de simulación de lluvias permite estudiar el escurrimiento superficial del agua y marcar los cauces naturales. Otro procedimiento posibilita definir las líneas de crestas o divisorias de las aguas para estudiar las cuencas.

Diseño Altimétrico.

El diseño altimétrico se realiza en forma interactiva sobre el perfil longitudinal de la traza. La colocación de los vértices de la rasante se realiza con el ratón o ingresando su progresiva y cota por el teclado, pudiéndose agregar, eliminar, reubicar o intercalar vértices, las veces que se desee. Las curvas verticales se pueden definir ingresando el parámetro, o la longitud, o la tangente. También se pueden hacer pasar por un punto determinado, o pueden ser empalmadas con otras curvas contiguas.

El usuario puede definir distintos perfiles tipos para aplicar en diferentes tramos de su proyecto. Los perfiles pueden ser simétricos o asimétricos e incluyen calzada, banquetas, cunetas, taludes, contrataludes, bermas, etc.

Se pueden visualizar los perfiles transversales a la traza, incluyendo el gálibo y terreno adyacente en cualquier progresiva, y modificar la altura del gálibo para luego perfeccionar el diseño de la rasante.

Movimiento de suelos.

Después de definir la rasante puede realizarse el cálculo automático de movimiento de suelos.

Normas

Para todo el diseño geométrico del camino el sistema trabaja con las normas de la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina, no obstante el usuario puede aplicar su propio criterio.

Modelo digital y vistas del proyecto.

Una vez completado el diseño planimétrico y altimétrico mediante el uso de los módulos anteriores, se obtiene el modelo digital del proyecto, el cual contiene los puntos característicos del

camino y del terreno adyacente, pudiéndose visualizar en el monitor mediante el uso de distintos sistemas de representación.

Se puede representar la planta del proyecto, con líneas de nivel que abarcan la obra y el terreno circundante. Admite también todo tipo de vistas isométricas, axonométricas y cónicas. Al utilizar las vistas cónicas, se puede colocar al observador en cualquier punto del espacio y dirigir la visual en cualquier dirección.

Las "vistas desde el camino" simulan lo que vería un conductor desde su vehículo al recorrer el camino, incluyendo la obra y el terreno natural. La posibilidad de desplazar al observador, lateral y verticalmente, y cambiar la dirección de observación, permiten la inspección visual de los detalles del proyecto, como taludes, cunetas, bermas, etc. El agregado del "obstáculo a la distancia de detención del vehículo", combinado con el "cuadro de visión descansada", completan los elementos necesarios para el control de la visibilidad en curvas horizontales y verticales y el control de calidad del proyecto.

Se puede simular el recorrido del camino y visualizar lo que vería el conductor al recorrer el camino con su vehículo, tanto de ida como de vuelta. Las vistas panorámicas que pueden obtenerse posibilitan el estudio del impacto visual de la obra en el paisaje y, de esta manera el sistema, mediante sus múltiples opciones, facilita la visión anticipada de lo que será la obra.

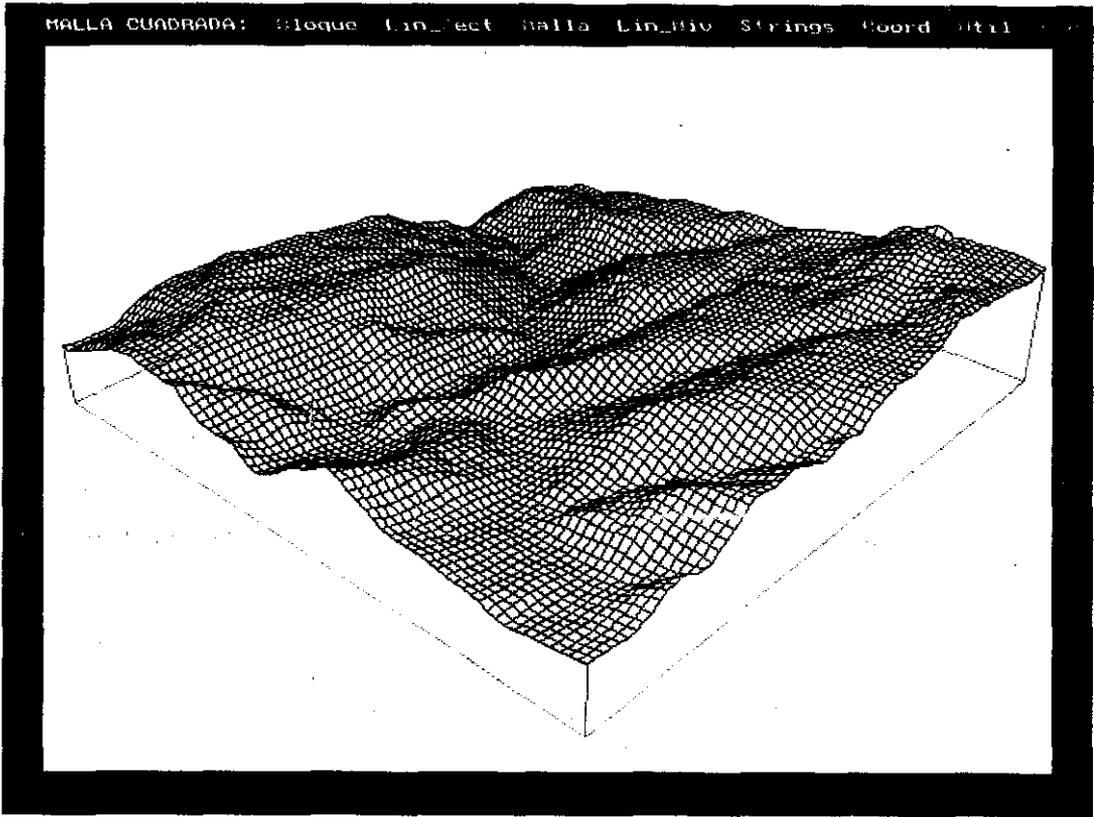
VERSIONES EDUCATIVAS

Existen versiones educativas de ambos sistemas las cuales tienen las mismas prestaciones que las versiones comerciales salvo que solamente se pueden utilizar modelos digitales de terrenos provistos por el sistema o los modelos aleatorios generados por el EICMT3.

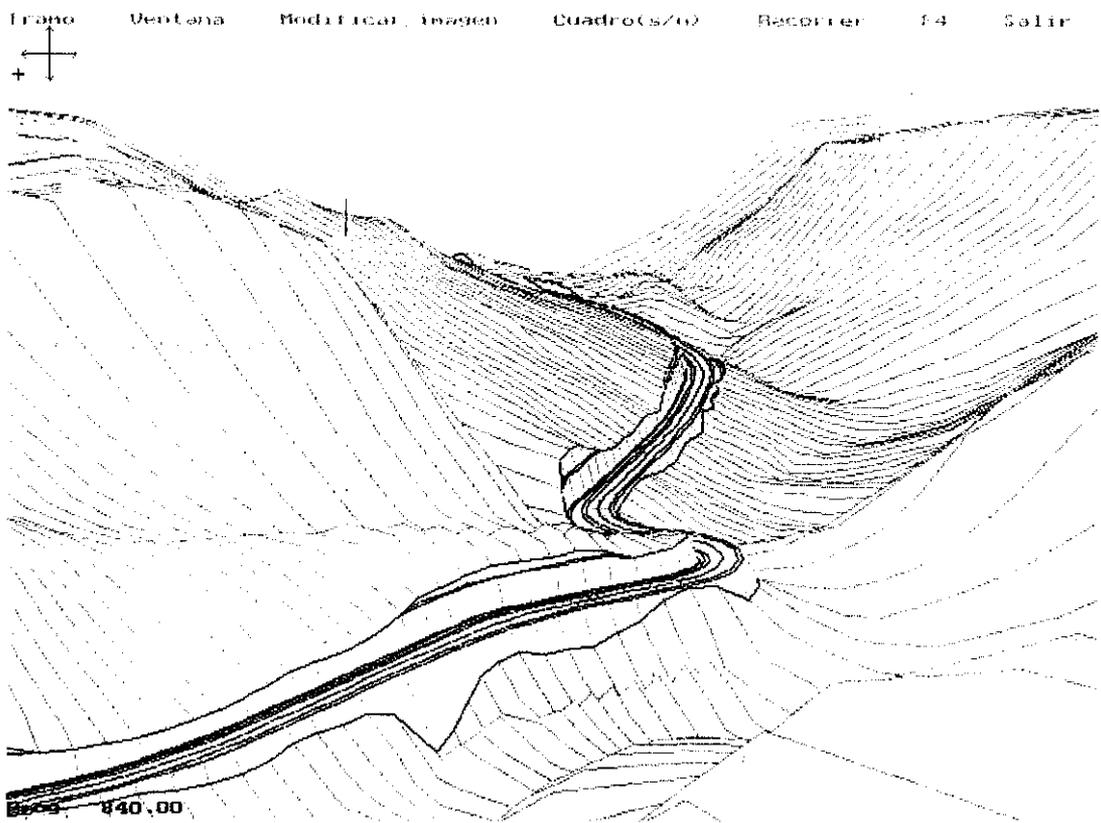
UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS EICAM

Los sistemas EICAM se han utilizado y se continúan utilizando intensivamente en la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, tanto para estudios de factibilidad de obras viales, como de selección de alternativas, o la confección de proyectos de caminos. Esta utilización interna ha posibilitado la depuración y el perfeccionamiento de los sistemas, dada la gran cantidad de mejoras que se han ido incorporando sugeridas por los ingenieros que los usan cotidianamente.

También son utilizados por las Direcciones Provinciales de Vialidad que tienen convenios con la EICAM y por empresas consultoras que compraron dichos sistemas.



Perspectiva cónica del Modelo Digital del terreno, con malla cuadrada, Sistema EICMT3.



Proyecto del camino diseñado con el Sistema EICG02, sobre el Modelo Digital anterior.