

ZondGM3D

Programa para la interpretación tridimensional de datos gravimétricos y magnéticos. Manual del usuario

Índice

Introducción	
Requisitos del sistema	
Instalación y desinstalación	
Breve fundamento teórico	
Prospección magnética	
Prospección gravimétrica	
Problema directo e inverso	
Ventana principal	
Barra de herramientas	
Submenú del modelo 3D	
Funciones del menú principal	
Barra de estado	
Teclas rápidas	
Creación de un levantamiento sintético	
Carga de datos de campo	
Formato del archivo de datos *.gm3	
Editor de perfiles	
Diálogo Mesh constructor	
Diálogo del campo normal y parámetros de medición	
Visualización de datos	
Mapa de gráficos	
Modelización	
Edición del modelo	
Guardar y usar datos del modelo	
Ajustes de la inversión	
Transformaciones del campo (menú Operations)	
Deconvolución de Euler	
Transformación rápida del campo en sección	
Fondos gráficos para modelos 2D y 3D	

- Creación de datos de sondeos
- Resultados de la interpretación
 - Modos de visualización del corte
 - Modos de visualización del modelo 3D
 - Varios modelos en un proyecto
- Guardar resultados
- Diálogos de ajustes gráficos
 - Ajustes de exportación del corte
 - Ajustes del mapa de isolíneas
 - Editor de ejes
 - Ajustes de visualización del modelo
 - Ajustes del mapa de gráficos y de puntos
 - Editor de gráficos
 - Vista previa de impresión
- Algoritmos de procesamiento y rendimiento
- Bibliografía
- Materiales adicionales

Introducción

ZondGM3D está diseñado para la interpretación tridimensional de datos areales de prospección magnética y gravimétrica.

El programa resuelve los problemas directo e inverso de la magnetometría y la gravimetría (recuperación de la susceptibilidad magnética anómala, la densidad y la geometría de los objetos anómalos).

En el problema inverso se presta especial atención a la información a priori (pesos de las mediciones individuales, rangos de los parámetros).

ZondGM3D utiliza un formato de archivo de datos sencillo y claro.

El programa puede importar y mostrar resultados de otros métodos, lo que favorece una interpretación más integral.

La susceptibilidad magnética se especifica en unidades SI ($n \cdot 10^{-5}$), la densidad en g/cm³; los valores medidos en nanoteslas y miligales.

Una interfaz cómoda y amplias posibilidades de representación permiten resolver la tarea geológica de la forma más eficiente.

Requisitos del sistema

ZondGM3D se instala en un ordenador con Windows 7 de 64 bits o posterior. Configuración mínima: procesador P IV-2 GHz, 4 GB de memoria (se recomiendan al menos 32 GB), resolución de pantalla 1024 X 768 (no cambie la resolución mientras trabaja con datos), modo de color True color.

Como el programa utiliza el registro del sistema, en sistemas posteriores a Windows XP debe ejecutarse como administrador (clic derecho en el icono - Ejecutar como administrador).

Instalación y desinstalación

ZondGM3D se distribuye por Internet. Este manual se incluye en el paquete. Las últimas actualizaciones pueden descargarse de <http://zond-geo.com/>.

Para instalar, guarde el programa en la carpeta deseada (por ejemplo, C:\Zond). Para actualizar, simplemente sobrescriba la versión antigua con la nueva.

Antes del primer inicio debe instalarse el controlador de la llave de protección SenseLock. Abra la carpeta SenseLock (el controlador puede descargarse del sitio web) y ejecute InstWiz3.exe. Después de instalar el controlador, inserte la llave. Si todo es correcto, aparecerá en la bandeja del sistema un mensaje de que la llave ha sido detectada.

Para desinstalar el programa, elimine su carpeta de trabajo.

Breve fundamento teórico

Un manual no puede abarcar toda la teoría de los métodos geofísicos, las propiedades físicas de las rocas y la resolución del problema inverso, por lo que solo se da información teórica breve.

Prospección magnética

El método tradicional de búsqueda de objetos ferríferos es la magnetometría, que estudia el campo magnético creado por cuerpos que contienen minerales ferromagnéticos. La relación entre las características medidas en superficie y las propiedades magnéticas del corte permite inferir la presencia de objetos magnéticamente perturbadores.

La magnetometría mide el campo magnético total, suma del campo normal de la Tierra, el campo anómalo de los objetos magnetizados y las variaciones del campo, relacionadas principalmente con la actividad solar. La componente útil relacionada con el corte estudiado es el campo anómalo, que se separa teniendo en cuenta el campo normal y midiendo las variaciones magnéticas en la zona de trabajo.

El campo magnético en la superficie puede representarse como suma vectorial: $T = T_n + T_a + \delta T_v$, donde T_n y T_a son los campos normal y anómalo y δT_v es el campo de las variaciones. El campo normal T_n se divide en parte dipolar T_d y no dipolar T_m , es decir, $T_n = T_d + T_m$.

El campo dipolar T_d , que describe en primera aproximación el campo geomagnético, es el campo de una esfera uniformemente magnetizada. La diferencia entre el campo dipolar (calculado) y el campo normal real (medido por satélites) es la parte no dipolar T_m , llamada a menudo campo residual o campo de anomalías continentales (de tamaño comparable a los continentes); sus valores máximos no superan el 30% del campo dipolar.

T_n aumenta gradualmente de 33000 nT en el ecuador a 68000 nT cerca de los polos; la componente vertical alcanza 60000 nT cerca del polo norte, cambia de signo en el ecuador y disminuye desde 0 en el ecuador hasta -68000 nT en el polo sur. La componente horizontal es máxima cerca del ecuador (33000 nT) y se anula en los polos. El gradiente del campo normal es de unos 5 nT por kilómetro.

El campo T_a suele ser de un 10% de T_n ; una excepción es la anomalía magnética de Kursk, donde T_a alcanza decenas de miles de nT.

Las anomalías magnéticas causadas por las rocas se dividen convencionalmente en regionales y locales.

La parte variable δT_v está formada por las variaciones magnéticas, cuya contribución al campo total es inferior al 1%. Las más importantes son periódicas (oscilaciones solar-diurnas y de período corto) y aperiódicas (bahías y tormentas magnéticas).

Todas las variaciones se deben a fuentes externas a la Tierra: interacción de partículas cargadas con la ionosfera, corrientes eléctricas en zonas de altas latitudes a 100-150 km de altura, etc. En general, la corrección de las variaciones es importante, ya que distorsionan notablemente los datos observados.

La capacidad de los materiales y rocas de magnetizarse se caracteriza por la susceptibilidad magnética χ , la principal propiedad magnética de las rocas.

En el SI es adimensional y suele medirse en 10^{-5} unidades SI. Para distintas rocas varía de 0 a 10 unidades SI. Por sus propiedades magnéticas, minerales y rocas se dividen en tres grupos: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. Las rocas diamagnéticas tienen susceptibilidad muy pequeña (menos de 10^{-5} SI) y negativa; su magnetización es opuesta al campo magnetizante. Son diamagnéticos el cuarzo, la sal gema, el mármol, el petróleo, el hielo, el grafito, el oro, la plata, el plomo, el cobre y otros [Khmelevskoy, 1997].

Las rocas paramagnéticas tienen susceptibilidad positiva y también pequeña. La mayoría de los minerales y de las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas son paramagnéticos.

Los minerales ferromagnéticos, como magnetita, titanomagnetita, ilmenita y pirrotina, tienen χ especialmente alta (hasta varios millones de 10^{-5} SI).

La susceptibilidad de la mayoría de las rocas depende sobre todo de la presencia y el porcentaje de minerales ferromagnéticos.

La tabla siguiente da χ para algunos minerales y rocas. Los minerales ferromagnéticos son fuertemente magnéticos. Entre las rocas ígneas, las ultrabásicas y básicas tienen la mayor susceptibilidad; las ácidas son débilmente magnéticas. Las metamórficas tienen menor susceptibilidad que las ígneas. Las sedimentarias, salvo algunas areniscas y arcillas, son prácticamente no magnéticas.

Mineral, roca	$\chi \cdot 10^{-5}$ SI, rango	media
Cuarzo	-	10
Calcita	7 - 12	-
Yeso	-	12
Carbón	-	25
Esfalerita	-	750
Hematites	500 - 50000	6000
Pirrotina	10^3 - 10^7	150000
Ilmenita	$5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$	10^6
Magnetita	10^6 - 10^7	$5 \cdot 10^6$
Caliza	25 - 3500	300
Arenisca	0 - 20000	400
Gneis	100 - 20000	-
Granito	0 - 40000	2000
Diabasa	1000 - 15000	5000
Gabro	1000 - 100000	60000
Basalto	30 - 150000	60000
Peridotita	90000 - 200000	150000
Sedimentarias (media)	0 - 5000	1000
Metamórficas (media)	0 - 75000	50000
Ígneas ácidas (media)	50 - 80000	8000

Mineral, roca	$\chi \cdot 10^{-5}$ SI, rango	media
Ígneas básicas (media)	60 - 120000	30000

Para convertir χ al sistema CGS utilizado en el programa, la susceptibilidad SI se divide por 4π .

La susceptibilidad de para- y ferromagnéticos disminuye con la temperatura y prácticamente desaparece en la temperatura de Curie, que varía de +400 a +700 °C según el mineral. La profundidad máxima de investigación de la magnetometría es de unos 25 - 50 km; a mayor profundidad la temperatura supera el punto de Curie y todas las rocas son prácticamente no magnéticas.

Las rocas que forman las estructuras geológicas están encajadas en rocas huésped; por ello, como en gravimetría, interesa no la susceptibilidad absoluta de las estructuras (χ_{str}) sino su contraste, la llamada susceptibilidad efectiva ($\Delta\chi$). $\Delta\chi$ puede ser positiva o negativa y de distinta magnitud. Las anomalías magnéticas surgen porque $\Delta\chi$ es distinta de cero [Khmelevskoy, 1997].

Prospección gravimétrica

Para planificar un levantamiento gravimétrico y sobre todo interpretar sus resultados debe conocerse la densidad de las rocas σ , ya que es el único parámetro físico en que se basa la gravimetría.

La densidad de una roca es la masa por unidad de volumen, medida en g/cm^3 . Suele determinarse en muestras de afloramientos, sondeos y labores mineras. El método más simple es pesar la muestra en aire y en agua y calcular σ . En este principio se basa el densímetro, el instrumento más común, que determina σ con una precisión de $0,01 \text{ g/cm}^3$ [Khmelevskoy, 1997].

Para obtener resultados fiables, las mediciones deben hacerse sobre muchas muestras (hasta 50). Con mediciones repetidas de muestras de un mismo complejo litológico se construye una curva de variación (número de muestras frente a densidad); su máximo da la densidad más probable de la roca. Existen también métodos gravimétricos y otros métodos geofísicos de determinación de la densidad en campo y en sondeos.

La densidad de rocas y menas depende de su composición química y mineral, es decir, de la densidad de los granos sólidos, la porosidad y el fluido de poro (agua, salmueras, petróleo, gas). La densidad de las rocas ígneas y metamórficas depende sobre todo de la composición mineral y aumenta de las ácidas a las básicas y ultrabásicas. En las sedimentarias depende sobre todo de la porosidad y la saturación en agua y en menor medida de la composición; crece con la consolidación, la edad y la profundidad. En la tabla siguiente se dan ejemplos [Khmelevskoy, 1997].

Roca	Densidad (g/cm^3)
Petróleo	0,8 - 1,0
Carbón	1,0
Agua	1,1 - 2
Suelo	1,13 - 2,0
Arena	1,4 - 2

Roca	Densidad (g/cm³)
Arcilla	2 - 2,2
Arenisca	1,8 - 2,8
Caliza	2,3 - 3,0
Sal	2,1 - 2,4
Granito	2,4 - 2,9
Gneis	2,6 - 2,9
Gabro	2,8 - 3,1
Basalto	2,7 - 3,3
Peridotita	2,8 - 3,4
Calcopirita	4,1 - 4,3
Magnetita, hematites	4,9 - 5,2
Corteza superior (media)	2,67

Problema directo e inverso

El cálculo de la respuesta geofísica de un modelo de geometría y propiedades conocidas es el problema directo. El proceso inverso de hallar la geometría y las propiedades del modelo a partir de los valores observados es el problema inverso.

El problema directo se resuelve de forma semianalítica y el inverso por mínimos cuadrados regularizados. La regularización mejora la estabilidad y da una distribución de parámetros más suave:

$$(A^T W^T W A + \mu C^T R C) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m$$

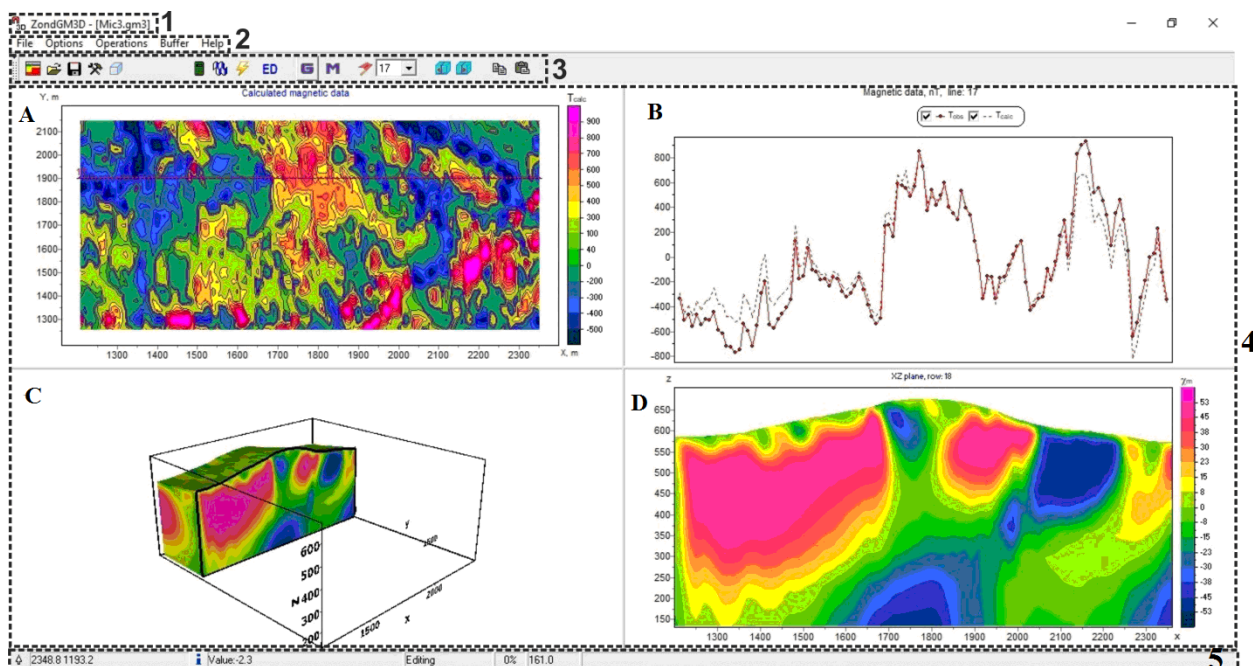
donde A es la matriz de derivadas parciales de los valores medidos respecto a los parámetros del modelo (jacobiano), C es el operador de suavizado, W es la matriz de errores relativos de medición, m es el vector de parámetros del modelo, μ es el parámetro de regularización, Δf es el vector de residuos entre valores observados y calculados y R es el operador de focalización. # Primeros pasos

Esta sección describe la ventana principal, las funciones del menú principal, los botones de la barra de herramientas y las teclas rápidas.

Para obtener ayuda sobre una opción de menú durante el trabajo, haga clic derecho sobre ella.

Ventana principal

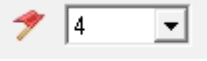
La ventana principal se muestra abajo. Consta de la barra de título, el menú principal, los iconos de la barra de herramientas, el área de trabajo y la barra de estado.



1. Ventana principal. 1 - barra de título, 2 - menú principal, 3 - barra de herramientas, 4 - área de trabajo (A - plano, B - área de datos de perfil, C - área del modelo 3D, D - área del editor de modelo), 5 - barra de estado

El área de trabajo de **ZondGM3D** se divide en 4 secciones principales:

A - la esquina superior izquierda muestra el **plano de datos**. Aquí se pueden mostrar los valores observados o calculados del campo o los residuos como mapa de isolíneas, mapa de gráficos o mapa de puntos.

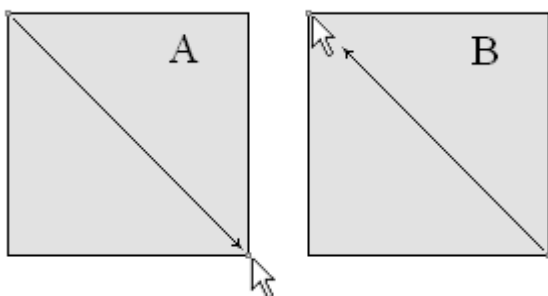
B - la esquina superior derecha contiene el **área de datos de perfil** con las curvas observadas y calculadas. El perfil se selecciona en la barra de herramientas .

C - la esquina inferior izquierda contiene el **área del modelo 3D**.

D - la esquina inferior derecha muestra el **editor de modelo** como corte (2D) por la sección seleccionada. El corte se selecciona en la barra con los botones «  ». La orientación del corte se cambia con **Options / Model / Plane**.

El clic derecho en una parte del área de trabajo abre un menú de ajustes, descritos en las secciones correspondientes del manual.

En todos los objetos excepto el modelo 3D, el zoom y el desplazamiento se realizan con el botón izquierdo pulsado («rectángulo elástico»). Para seleccionar el área a ampliar, mueva el ratón hacia abajo y a la derecha con el botón izquierdo pulsado (figura, A). Para volver a la escala original, haga lo mismo moviendo hacia arriba y a la izquierda (figura, B).



2. Movimiento del ratón para el zoom

Barra de herramientas

La barra de herramientas da acceso rápido a las funciones más usadas. Contiene los siguientes botones (de izquierda a derecha):

-  — Crear un levantamiento sintético para modelización.
-  — Abrir un archivo de datos o proyecto *.GM3.
-  — Guardar el archivo de datos o proyecto.
-  — Abrir el diálogo de parámetros de inversión.
-  — Abrir los ajustes de visualización del modelo 3D.
-  — Ejecutar el problema directo. En la primera ejecución para la malla (y método) actual se calculan los núcleos del problema directo. Esto lleva tiempo y puede requerir mucha memoria. Después los núcleos se guardan en memoria y solo se recalculan si cambian la malla o los parámetros del campo normal.
-  — Iniciar la inversión o detenerla (segundo clic).
-  — Transformación rápida del campo en sección.
-  — Abrir la ventana de deconvolución de Euler.
-  — Modo de datos gravimétricos.
-  — Modo de datos magnéticos.
-  — Lista desplegable para elegir el perfil actual.
-  — Ir al corte anterior/siguiente del modelo.
-  — Copiar el corte actual al portapapeles.
-  — Clic izquierdo: pegar el modelo del portapapeles en el corte actual.

Clic derecho: menú de opciones de pegado:

Current – pegar en el corte actual para el parámetro seleccionado.

Current&+ – pegar en el corte actual y en todos los siguientes.

Current&- – pegar en el corte actual y en todos los anteriores.

All params – aplicar el modo de pegado a todos los parámetros del corte.

Submenú del modelo 3D

Este submenú se abre con el botón  de la barra principal. Contiene:

- **3D view settings** — Ajustes del modelo 3D.

- **Print preview** — Impresión del modelo 3D.
- **Plane cut** — Orientación del corte (XZ, YZ, XY).
- **Model** — Parámetros del modelo inicial
Halfspace value - nuevo valor del parámetro del medio encajante.
Clear model - borrar el modelo actual.
Clear limits - eliminar los límites de los parámetros.
MinMax auto - calcular los límites automáticamente.
Smooth/raster model - suavizar/agrupar el modelo. Con **rasterization** se agrupan celdas de parámetros cercanos según el contraste (**Degree**); con **Smoothing** se promedian los parámetros según el factor de suavizado (**Degree**).
- **Axes settings** — Ajustes de los ejes (X,Y,Z) del modelo 3D.
- **Show** — Objetos mostrados (marque los necesarios):
Cutting plane - posición del corte en el modelo 3D;
Survey points - posiciones de los puntos de medición;
Boreholes - datos de registros y litología;
Background - imagen de fondo 3D.
- **Synchronous cut** — Mover el corte del modelo 3D de forma síncrona con el plano 2D al usar los botones .
- **X:Y:Z 1:1:1** — Escalas iguales en los tres ejes.

Funciones del menú principal

Los elementos del menú principal y su función:

- **File**
- **File / Create survey** — Crear un levantamiento sintético para modelización.
- **File / Open file** — Abrir un archivo de datos o de proyecto *.GM3.
- **File / Import from text/excel** — Importar datos de un archivo de texto (o tabla Excel) de varias columnas. Los nombres de columna deben estar en la primera fila.
- **File / Save file** — Diálogo de guardado.
- **File / Edit file** — Abrir el archivo de datos en el Bloc de notas.
- **File / Print preview** — Impresión de la ventana principal.
- **File / Recent** — Cargar un proyecto reciente.
- **File / Exit** — Salir del programa.
- **Options**
- **Options / Project information** — Información editable del proyecto.
- **Options / Mesh constructor** — Constructor de la malla de modelización, con opciones de creación automática y ajustes finos para usuarios expertos. La elección correcta de la malla es una de las tareas principales del intérprete.

- **Options / Set survey line** — Definir líneas de perfil y mostrar curvas a lo largo de ellas.
- **Options / Lines from mesh** — Crear líneas de perfil automáticamente a partir de la geometría del levantamiento (si no están en el archivo).
- **Options / Observation settings** — Parámetros del campo magnético normal y otros parámetros de medición.
- **Options / Program setup** — Ajustes principales; la mayoría se refiere a la inversión.
- **Options / Data / Contour map** — Datos observados, calculados o residuo como mapa de isolíneas.
- **Options / Data / Graphics map** — Datos calculados y/u observados como mapa de gráficos.
- **Options / Data / Points map** — Datos como puntos en el plano; el color corresponde a la escala y el tamaño se cambia con la rueda del ratón.
- **Options / Data / Observed data** — Mostrar datos observados en el plano.
- **Options / Data / Calculated data** — Mostrar datos calculados en el plano.
- **Options / Data / Data misfit** — Mostrar residuos (diferencia entre observados y calculados).
- **Options / Model / Block-section** — Modelo en bloques.
- **Options / Model / Smooth section** — Modelo en isolíneas. Para una paleta suave interpolada active **Continuous** en la pestaña **Colors** del diálogo **Model setup**.
- **Options / Model / 2D mode** — Para un solo perfil o una sección 2D; las celdas en Y se unen.
- **Options / Model / Infinite borders** — Si está activa, los objetos del borde se prolongan fuera del área visible; si no, se limitan a ella. Úsela cuando los campos en los bordes no alcanzan el valor de fondo.
- **Options / Model / Plane** — Orientación del corte en el editor: **XZ, YZ, XY**; **Autosize** – escalado automático de los cortes.
- **Options / Model / Model histogram** — Distribución del parámetro del modelo; permite fijar el mínimo y máximo de la escala de color.
- **Options / Inversion / Smoothness** — Opciones de suavidad y del operador de suavizado; influyen mucho en el resultado. Se refieren al segundo término de la función objetivo $C^C(m-m_0)$.
- **Options / Inversion / Smoothness / «0»** — m_0 (modelo de referencia) es el modelo nulo sin fuentes. La inversión reduce el residuo manteniendo los parámetros cercanos a cero, controlado por *Smoothing factor*. Para *Occam* y *Focused*.
- **Options / Inversion / Smoothness / Median** — m_0 es la mediana del modelo en la iteración actual; la inversión reduce el residuo manteniendo el modelo lo más suave posible. Para *Occam* y *Focused*; la mejor opción con *Focused inversion*.
- **Options / Inversion / Smoothness / Start model** — m_0 es un modelo de referencia dado por el usuario o resultado de una inversión previa; la inversión se mantiene cerca de él. Para *Occam* y *Focused*.

- **Options / Inversion / Smoothness / Previous** — m0 es el modelo de la iteración anterior; la velocidad de convergencia se controla con *Smoothing factor*. Con *Focused inversion* puede no dar el modelo deseado (constante por tramos).
- **Options / Inversion / Smoothness / Diagonal filter** — Suavizado diagonal; úselo con estructuras inclinadas.
- **Options / Inversion / Resolution** — Parámetros para aumentar la resolución: aumentan la influencia de las celdas poco sensibles y reducen la de las muy sensibles, permitiendo detectar objetos más pequeños en profundidad. Úselas con cuidado. **Log norm** usa una norma log-lineal que da objetos más compactos y contrastados; la convergencia es más lenta y no está garantizada.
- **Options / Inversion / Cross-gradient / Pushing factor** — Parámetro principal de la inversión conjunta que controla la semejanza (gradiente cruzado) de los modelos de ambos métodos. Se elige por tanteo entre 0 y 1000; con cero los modelos son independientes. Valores grandes pueden causar residuos en uno o ambos métodos.
- **Options / Inversion / Cross-gradient / Up Off layers num** — La parte superior suele ser muy heterogénea y distinta para cada método; excluya algunas capas del operador de gradiente cruzado para que queden libres.
- **Options / Inversion / Cross-gradient / Joint inversion** — Inversión conjunta magnética y gravimétrica si el proyecto tiene datos de ambos métodos. Requiere el doble de memoria.
- **Options / Inversion / Line search** — Búsqueda del amortiguamiento óptimo en cada iteración (ralentiza la inversión unas 3-4 veces). Suele alcanzar el residuo mínimo en pocas iteraciones, pero puede llevar a un mínimo local. Si está desactivada, el amortiguamiento lo controla *smoothing factor* (valor inicial).
- **Options / Inversion / Optimization / Lim based inv** — Si hay límites estrechos globales o individuales, la inversión intenta sacar los parámetros de ellos, lo que ralentiza la convergencia. Esta variante reduce la contribución de las celdas que exceden los límites y usa normas especiales que lo dificultan.
- **Options / Inversion / Groups blank cells** — Agrupar las celdas fuera del área del levantamiento.
- **Options / Inversion / With derivative** — Incluir en la inversión las derivadas horizontales del campo: resultados más estables, pero más memoria y tiempo.
- **Options / Import/Export / Background 2D / Load background** — Cargar una imagen de fondo para el corte 2D actual; se piden las coordenadas de las esquinas. **Remove current** – eliminarla.
- **Options / Import/Export / Background 3D / Load background** — Cargar una imagen de fondo para el modelo 3D con las coordenadas de sus esquinas en 3D (por defecto, las esquinas del corte actual); un color puede hacerse transparente. **Remove background** – eliminarla.
- **Options / Import/Export / Import mod3D** — Importar un modelo 3D en formato MOD3D, p. ej. una copia guardada cuando los 4 modelos del búfer están ocupados o la malla ha cambiado.
- **Options / Import/Export / Export mod2D** — Exportar el corte 2D actual a MOD2D; puede abrirse en **ZondGM2D** o cargarse en otro corte.

- **Options / Import/Export / Export mod3D** — Exportar el modelo 3D actual a MOD3D.
- **Options / Import/Export / Import mod2D's** — Importar un conjunto de modelos 2D (con sus coordenadas en planta) e integrarlos en el modelo 3D, p. ej. resultados de inversión 2D.
- **Options / Import/Export / Save rotations** — Guardar el modelo 3D como imágenes para distintos ángulos de giro.
- **Options / Import/Export / Save slides** — Guardar el modelo 3D como imágenes para distintas posiciones del corte.
- **Options / Import/Export / Save 3D image** — Guardar el modelo 3D como *.bmp.
- **Options / Import/Export / Output settings** — Ajustes de la imagen exportada.
- **Options / Import/Export / Draw to surfer** — Construir el modelo 3D como cortes en profundidad en Surfer.
- **Options / Import/Export / Draw to voxler** — Construir el modelo 3D en Voxler; antes debe indicarse la ruta de Scripiter.exe (una vez).
- **Options / Boreholes / Load borehole data** — Abrir registros y columnas litológicas (crt) y archivos mod1d (interpretación 1D y pseudo-sondeos).
- **Options / Boreholes / Create/Edit borehole data** — Añadir (editar) datos de sondeos.
- **Options / Boreholes / Remove borehole data** — Eliminar del proyecto registros y columnas litológicas.
- **Options / Boreholes / Set column's width** — Ancho de la columna litológica (porcentaje de la longitud del perfil).
- **Options / Boreholes / Edit positions** — Editar las posiciones en planta de los sondeos.
- **Operations**
 - **Operations / Bouguer&Free Air** — Densidad de la capa intermedia en kg/m³ y correcciones correspondientes. Modo gravimétrico.
 - **Operations / Subtract incident field** — Restar el campo normal de todos los valores magnéticos medidos. Modo magnético.
 - **Operations / Smooth data** — Suavizar los datos areales del modo actual. El programa pide el radio de suavizado R (por defecto, dos espaciados medios del levantamiento). En cada punto se ajusta una superficie cuadrática local con pesos gaussianos ($\sigma = R/2$) a los vecinos dentro de 1,5R; su valor sustituye al observado. Se usan todos los puntos; los coincidentes (a menos de 0,1 m) se excluyen. Cada nuevo radio se aplica a los datos originales. Tras el suavizado, las derivadas de la capa equivalente se anulan y la capa debe recalcularse.
 - **Operations / Subtract median field** — Restar la mediana de todas las mediciones del modo actual.
 - **Operations / Subtract user value** — Restar un valor dado por el usuario.
 - **Operations / Return to original data** — Anular todos los cambios y volver a los datos originales.

- **Operations / Reduce to pole** — Reducción al polo (RTP): los valores observados se sustituyen por el campo de la capa equivalente con magnetización y campo normal verticales (componente vertical). Las anomalías se sitúan sobre los centros de las fuentes. Antes debe calcularse la capa equivalente (**Operations / Equivalent layer**). En modo gravimétrico no se aplica. Cerca del ecuador magnético (inclinación inferior a 15-20°) la reducción es inestable; compruebe el error de control de la capa.
- **Operations / Equivalent layer** — Calcular la capa equivalente: fuentes puntuales bajo la topografía cuyo campo coincide con el observado. A partir de ella se calculan analíticamente el campo, las derivadas dT/dx , dT/dy , dT/dz y la reducción al polo. Es necesaria para la deconvolución de Euler y **Reduce to pole**. Véase «Transformaciones del campo».
- **Buffer**
- **Buffer / Model 1, 2....** — El búfer guarda hasta cuatro modelos 3D para comparar resultados de inversión con distintos ajustes.
- **Buffer / Open** — Ventana con todos los modelos del búfer para el corte actual.
- **Buffer / Only current** — Cargar en el búfer solo el modelo del parámetro actual.
- **Help**
- **Help / Manual** — Abrir el manual.
- **Help / Check for updates** — Buscar actualizaciones.
- **Help / Restart library** — Reiniciar las bibliotecas DLL. Si el cálculo se detiene en cada inversión, revise el antivirus, que puede bloquear la DLL.
- **Help / Bing maps api_key** — Si los mapas no se cargan, introduzca una clave Bing api propia.
- **Help / Show news** — Mostrar noticias.
- **Help / Send message to us** — Enviar un mensaje al desarrollador (solo caracteres latinos).

Barra de estado

La barra de estado, en la parte inferior, tiene varias secciones:

- Coordenadas del cursor y de la celda activa.
- Parámetros de la celda activa.
- Modo del editor de modelo.
- Indicador de proceso.
- Residuo relativo.
- Información adicional, p. ej. número de mediciones y celdas o estado de la inversión.

Teclas rápidas

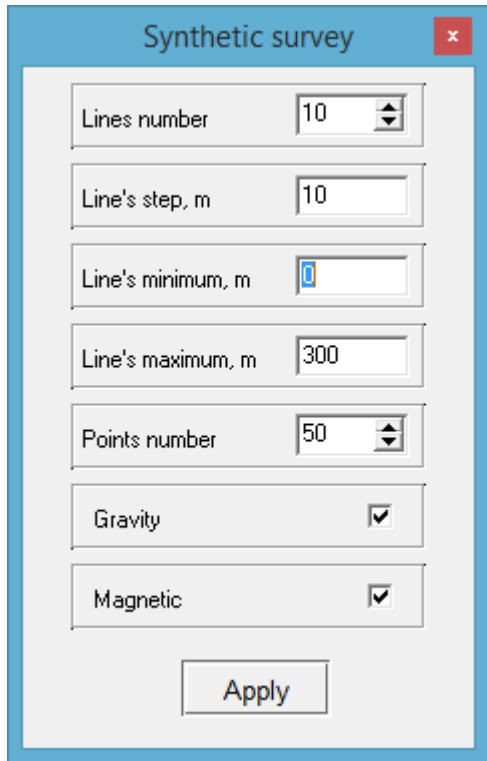
- **Flechas / cursor en el editor** — Cambiar la celda activa.
- **Delete / cursor en el editor** — Devolver la celda al valor del semiespacio.
- **Insert / cursor en el editor** — Asignar el valor actual a la celda activa.

- **X / cursor en el editor** — Seleccionar celdas de valores cercanos.
- **V / cursor en el editor** — Quitar la selección.
- **Ctrl+C / cursor en el editor** — Mover con el ratón el área seleccionada.
- **Arriba/Abajo / cursor en la escala de color** — Cambiar el valor actual.
- **Alt+1, Alt+2, Alt+3** — Orientación del corte 2D en los planos XZ, YZ y XY.

Creación de un levantamiento sintético

El constructor del levantamiento se abre con **File / Create survey**.

El diálogo Synthetic survey (figura) crea la geometría de la red de medición.



The image shows a software dialog box titled "Synthetic survey". It contains the following controls:

- Lines number:** A spinner box with the value 10.
- Line's step, m:** A text input field with the value 10.
- Line's minimum, m:** A text input field with the value 0.
- Line's maximum, m:** A text input field with the value 300.
- Points number:** A spinner box with the value 50.
- Gravity:** A checkbox that is checked.
- Magnetic:** A checkbox that is checked.
- Apply:** A button at the bottom of the dialog.

3. Diálogo «Synthetic survey»

Parámetros del modelo sintético:

Lines number – número de perfiles;

Line's step, m – distancia entre perfiles en metros;

Line's minimum, m – distancia mínima a lo largo del perfil;

Line's maximum, m – distancia máxima a lo largo del perfil;

Points number – número de puntos por perfil;

Gravity – modelizar el campo gravimétrico;

Magnetic – modelizar el campo magnético.

Tras fijar todos los parámetros pulse **Apply**.

Carga de datos de campo

Formato del archivo de datos *.gm3

Para trabajar con **ZondGM3D** se necesita un archivo de datos con las coordenadas de los puntos, la topografía y los resultados de medición.

Los archivos de texto en formato **ZondGM3D** tienen la extensión «*.gm3». Pueden ser archivos de datos de texto (descritos abajo) o archivos de proyecto (creados al guardar). El archivo de proyecto es binario y solo lo lee **ZondGM3D**; contiene toda la información del proyecto: datos observados y calculados, modelos, información a priori, etc.

Un archivo «*.gm3» de texto puede crearse con cualquier editor, por ejemplo el Bloc de notas, cambiando la extensión a *.gm3.

El archivo no debe contener:

- separadores inusuales entre valores (use TAB o ESPACIO);
- valores absurdos de los parámetros de medición.

Es preferible que el número total de mediciones no supere 100 000; para volúmenes mayores, diezme o interpole los datos previamente.

Estructura del archivo de texto *.gm3:

El bloque de datos gravimétricos (magnéticos) empieza con la línea **start_d_grav** (**start_d_mag**), seguida de líneas con coordenadas y datos. Columna 1: número de perfil; columnas 2 y 3: coordenadas de los puntos (m); columna 4: campo gravimétrico medido (mGal) o magnético (nT); columna 5: coordenada vertical con signo menos (m, valor negativo); columna 6: peso de la medición (opcional). El bloque termina con **end_d_grav** (**end_d_mag**). No es obligatorio tener ambos tipos de datos en un archivo.

```
start_d_mag
1      350869.00      7422345.00      -56.00  -941.00  1.00
1      350873.00      7422354.00      -69.68  -939.00  1.00
1      350877.00      7422363.00      -74.42  -938.00  1.00
<.....|.....>
138    358902.00      7423356.00      -60.81  -758.00  1.00
138    358906.00      7423365.00      -61.38  -758.00  1.00
138    358910.00      7423374.00      -61.13  -759.00  1.00
end_d_mag
start_d_grav
1      352695.85      7426168.80      0.90    -951.82    1.00
2      352685.45      7425961.95      0.80    -965.42    1.00
2      352930.02      7425981.16      0.80    -1030.04   1.00
<.....>
27     356667.44      7419736.73      -0.80    -972.00    1.00
27     356968.89      7419733.04      -0.90    -1034.73   1.00
27     357190.99      7419696.53      -0.90    -919.35    1.00
end_d_grav
start_setting
* 6.0 56000.0 7.0 * 5.0 * * 11.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 * * 0.1 2.0 * * * * *
end_setting
```

4. Ejemplo de archivo

Importación desde un archivo de texto o tabla Excel

El programa importa archivos de texto de formato tabular arbitrario. Seleccione **File / Import from text/excel**; aparece el diálogo **Import text data** (figura). Los botones **Start** y **End** fijan la primera y última línea de datos: seleccione la línea y pulse el botón. Estas líneas se resaltan en la tabla.

Import text data

OK Start End Read every 1

Type	line	None	X/Longitude	Y/Latitude	Z	Mag
Units	none	None	m	m	m	nTl
1	Line	ProfPos	X	Y	Z	T, nT
2	23	X/Longitude	1210	2140	550.37817382	122.7
3	23	Y/Latitude	1220	2140	550.34185791	53.16
4	23	Z	1230	2140	550.37542724	-8.39
5	23	Grav	1240	2140	550.40899658	-113.34
6	23	Mag	1250	2140	550.53479003	-140.19
7	23	line	1260	2140	550.66058349	-51.07
8	23		1270	2140	551.39825439	-32.52
9	23		1280	2140	552.13592529	41.04
10	23		1290	2140	552.94412231	-25.01
11	23		1300	2140	553.75231933	-343.45
12	23		1310	2140	554.56295776	-363.67
13	23		1320	2140	555.37359619	-503.95
14	23		1330	2140	556.30715942	-525.04
15	23		1340	2140	557.24072265	-507.89
16	23		1350	2140	558.42581176	-558.26
17	23		1360	2140	559.61090087	-248.83
18	23		1370	2140	561.18948364	-53.68
19	23		1380	2140	562.76806640	211.15
20	23		1390	2140	564.34030151	52.68
21	23		1400	2140	565.91253662	1662.97
22	23		1410	2140	566.95785522	881.68
23	23		1420	2140	568.00317382	638.24
24	23		1430	2140	568.88177490	377.05
25	23		1440	2140	569.76037597	444.22

5. Diálogo «Import text data»

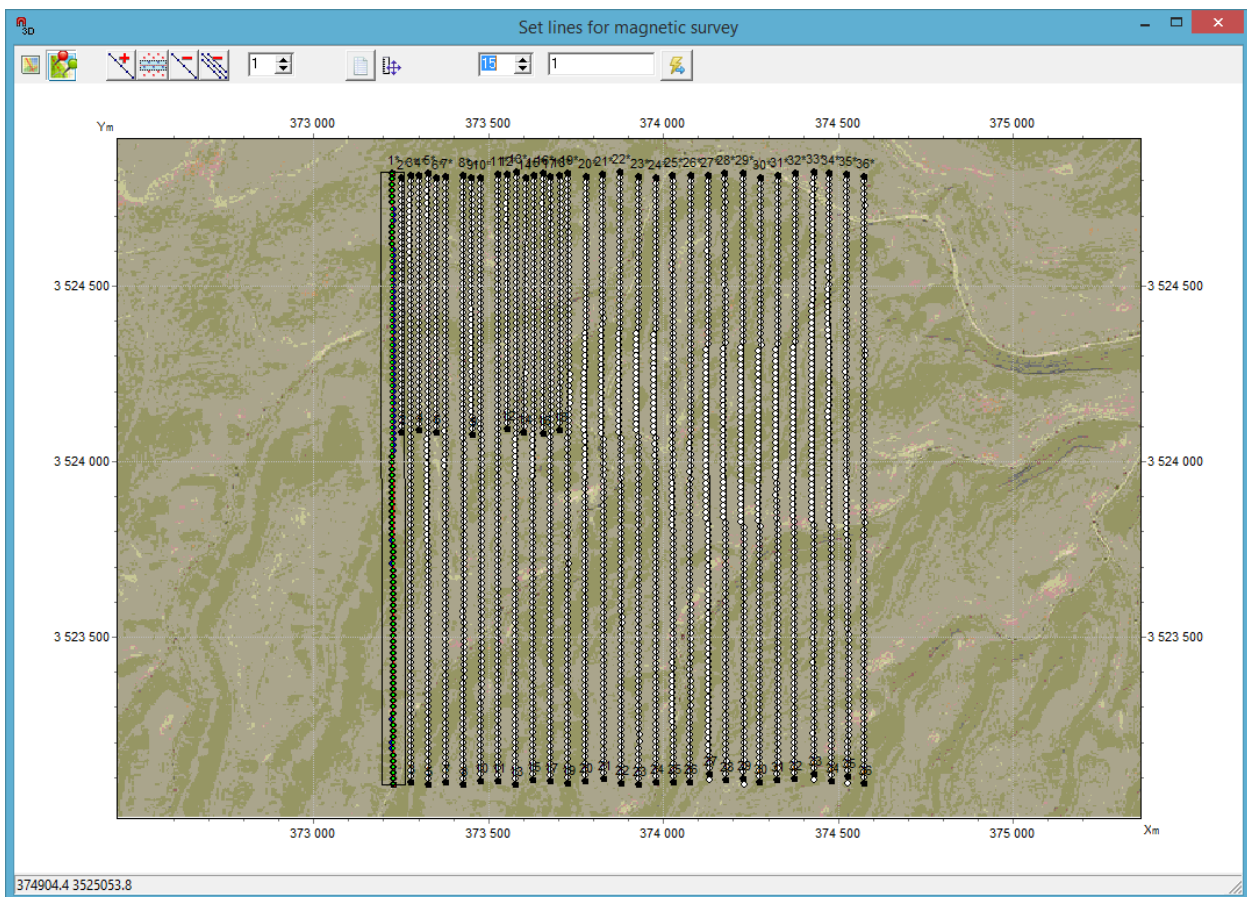
La primera fila de cada columna contiene una lista para el tipo de dato: ProfPos – distancia a lo largo del perfil (piquete), X/Longitude – coordenada X o longitud, Y/Latitude – coordenada Y o latitud, Z – cota del punto, Grav – gravedad, Mag – campo magnético, line – número de perfil, mheight – altura del sensor magnético sobre el terreno, gheight – altura del sensor gravimétrico.

Tras elegir las columnas, pulse **OK**.

Editor de perfiles

Tras cargar los datos o crear un levantamiento sintético aparece el diálogo «**Set lines for magnetic (gravity) survey**» (figura). Permite añadir, eliminar y editar líneas de perfil, cambiar coordenadas de piquetes y cargar una imagen o mapa topográfico como fondo.

También se abre con **Options / Set survey lines**.



6. Diálogo «Set lines for magnetic survey»

Barra de herramientas del diálogo:

-  — Cargar un ráster o mapa de isolíneas topográficas como fondo.
-  — Cargar una imagen satelital; debe indicarse la zona UTM y las coordenadas deben estar en UTM.
-  — Añadir una línea de perfil: clic izquierdo para los puntos, clic derecho para el último. El clic derecho abre un menú:
Set line coordinates - introducir coordenadas a mano;
Cursor to near point - la línea pasa por los puntos más cercanos al cursor;
Invert line - invertir la línea;
Create lines auto - crear líneas automáticamente.
-  — Incluir en el perfil los puntos dentro de un rectángulo alrededor de la línea.
-  — Eliminar el perfil actual.
-  — Eliminar todos los perfiles.
-  — Número del perfil activo.

-  — Abrir y editar la tabla de coordenadas (diálogo Locations).
-  — Escala isométrica o llenado máximo de la ventana.
-  — Tamaño del área de selección automática de puntos.
-  — Nombre del perfil activo.
-  — Pasar a la inversión con el sistema de perfiles seleccionado.

Para cambiar coordenadas use , que abre **Locations** (figura). Las coordenadas pueden cargarse de un archivo de texto (número de punto, dos coordenadas horizontales y la vertical) o copiarse de Excel.

Locations				
name	X	Y	Z	v
	50.000	10.000	0.000	☒
	60.000	10.000	0.000	☒
	70.000	10.000	0.000	☒
	80.000	10.000	0.000	☒
	90.000	10.000	0.000	☒
	100.000	10.000	0.000	☒
	110.000	10.000	0.000	☒
	120.000	10.000	0.000	☒
	130.000	10.000	0.000	☒
	140.000	10.000	0.000	☒
	150.000	10.000	0.000	☒
	160.000	10.000	0.000	☒
	170.000	10.000	0.000	☒
	180.000	10.000	0.000	☒
	190.000	10.000	0.000	☒
	200.000	10.000	0.000	☒
	0.000	20.000	0.000	☒
	10.000	20.000	0.000	☒
	20.000	20.000	0.000	☒
	30.000	20.000	0.000	☒

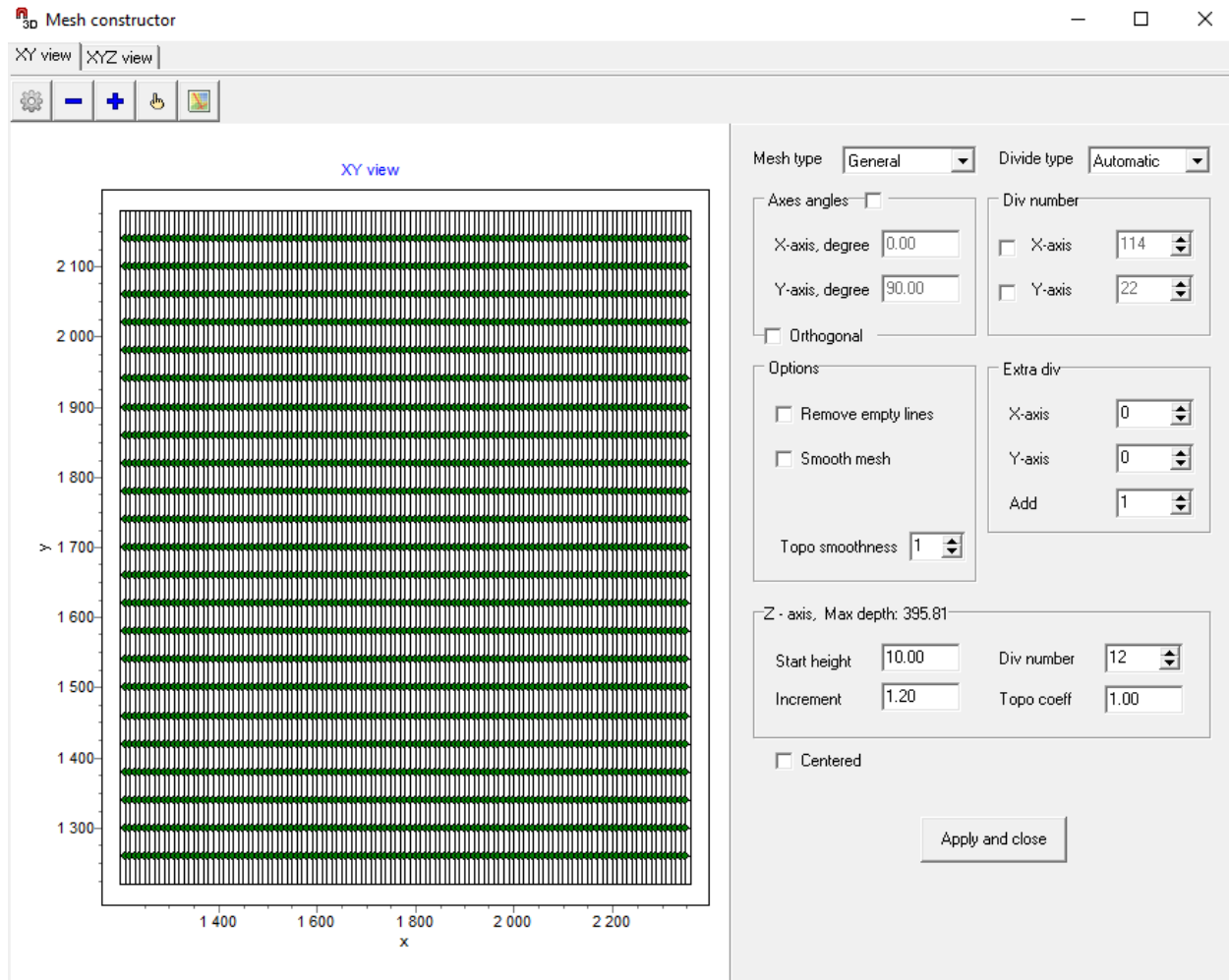
7. Diálogo Locations de coordenadas de los puntos

Para salir y pasar a la interpretación pulse .

Diálogo Mesh constructor

Tras cargar los datos y elegir los perfiles aparece el diálogo **Mesh constructor**, también disponible en **Options / Mesh constructor**.

La ventana tiene dos pestañas - **XY view** y **XYZ view**. Todos los parámetros de la malla se fijan en **XY view**:



8. Diálogo «Mesh constructor», pestaña «XY view»

A la izquierda se muestra el **plano horizontal**, a la derecha los **ajustes de la malla**.

Botones de la barra:

-  — Reconstruir el modelo con los parámetros dados.
-  — Eliminar una fila o columna: sitúe el cursor sobre la línea y pulse el botón izquierdo; el derecho elige fila o columna.
-  — Añadir una fila o columna de la misma forma.
-  — Editar la posición de los nodos con el ratón.
-  — Mostrar u ocultar el mapa topográfico (clic izquierdo) o cargar la topografía de un archivo XYZ (clic derecho).

Ajustes de la malla

Mesh type fija el tipo: *Regular* – para la mayoría de levantamientos con puntos distribuidos de forma más o menos uniforme, *General* – para levantamientos irregulares, *One line* – para un único perfil.

Axes angles fija los ángulos locales de los ejes X e Y (X-axis, degree y Y-axis, degree). Con **Orthogonal** se mantiene la ortogonalidad.

Div number fija el número de divisiones en X e Y si se eligen las opciones correspondientes.

Divide type elige el modo automático (*Automatic*) o manual (*Manual*).

Con *Automatic* están activas:

El área **Options**:

Remove empty line – eliminar filas/columnas sin puntos adyacentes;

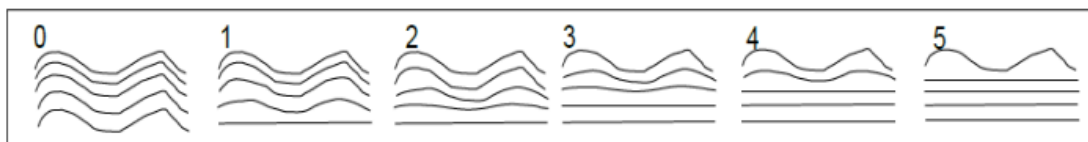
Smooth mesh – suavizar las líneas guía de la malla, útil en levantamientos muy irregulares;

Topo smoothness – grado de suavizado de la topografía (0 a 5, 5 el máximo).

Extra div fija el número de celdas intermedias en X e Y.

Con *Manual* se activa **Axes Range** (división uniforme), donde se fijan las coordenadas mínima y máxima en X e Y.

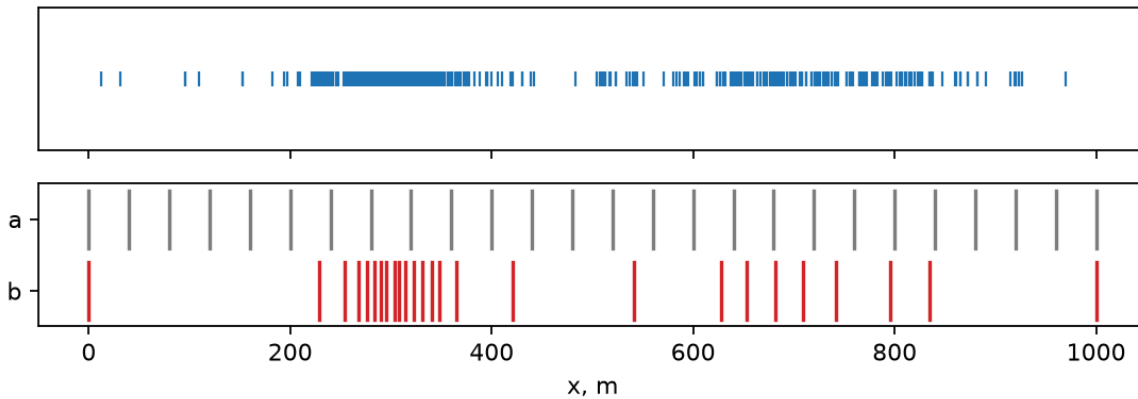
El área **Z-axis, Max depth** define la división vertical. **Max depth** – profundidad de la capa inferior; no debe ser excesiva, porque la influencia de los parámetros disminuye con la profundidad. **Start height** – espesor de la primera capa, aproximadamente igual a la longitud de celda y acorde con la resolución. **Increment** – relación entre espesores de capas adyacentes, normalmente de 1 a 2. **Div number** – número de capas; suelen bastar 12-20. Valores grandes ralentizan el cálculo. **Topo coeff** – aplanamiento de la topografía con la profundidad (0-5): 0 – cada capa repite la anterior; 1 – la topografía se aplanar y la última capa es plana; 5 – el límite entre la primera y segunda capa ya es plano. El principio se muestra en la figura:



9. Aplanamiento de las capas con la profundidad para «Topo coeff» de 0 a 5

Con **Centered** la malla se construye de modo que los puntos queden principalmente en los centros de las celdas, lo que favorece una capa equivalente más fiable.

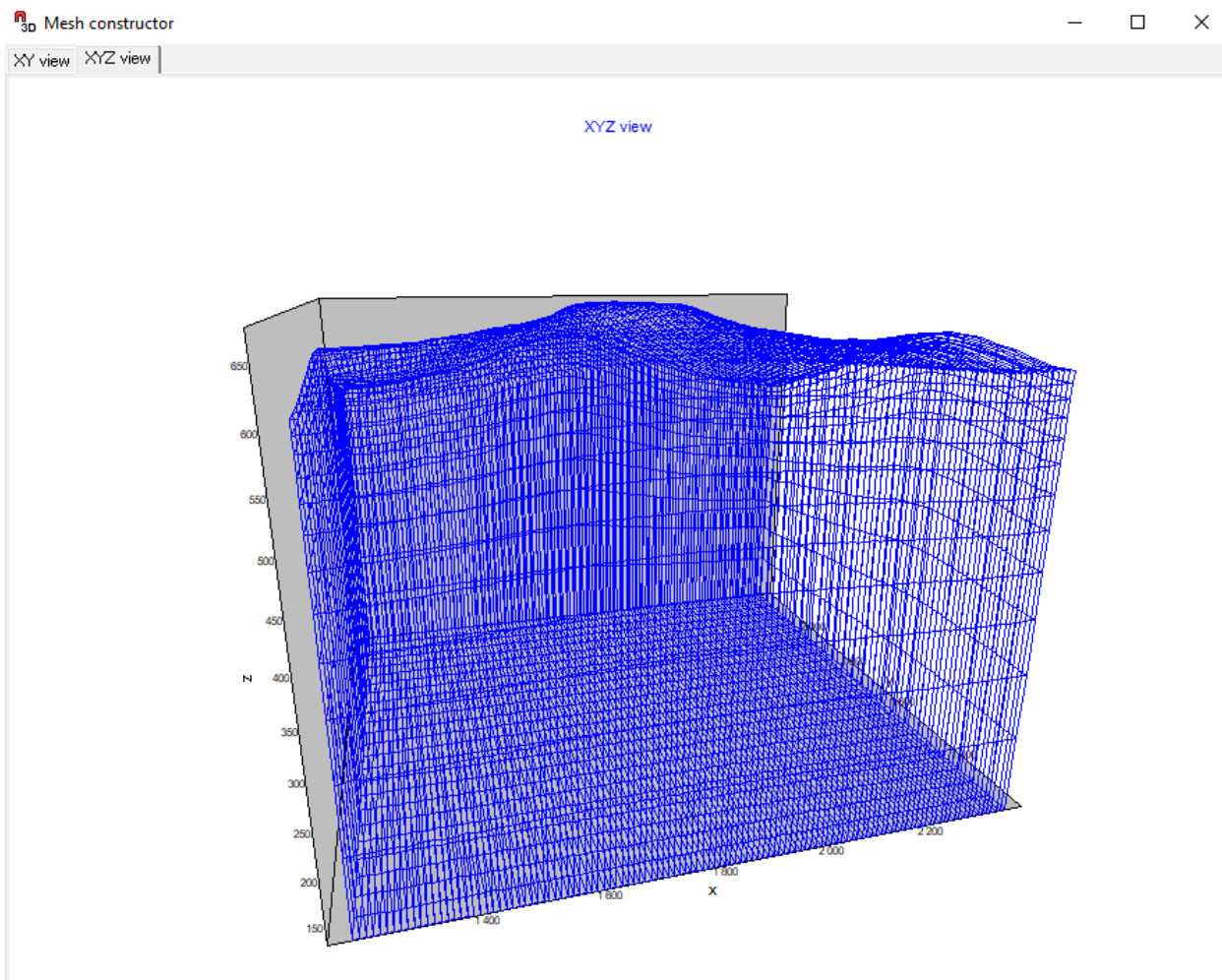
Selección automática de la malla. Para el tipo *Regular* el programa prueba ángulos de ejes y números de divisiones en X e Y y evalúa cada variante según la uniformidad con que los puntos se reparten en las celdas; la mejor se refina localmente. Las variantes se evalúan en paralelo en todos los núcleos. Para el tipo *General* los nodos de cada eje se sitúan de forma adaptativa: celdas más pequeñas donde el levantamiento es denso y más grandes donde es escaso, y celdas adyacentes que no difieren en tamaño más de una razón dada (cambio suave del paso).



Colocación de nodos a lo largo de un eje: distribución de puntos (arriba), nodos uniformes (a) y nodos adaptativos del tipo General (b)

La interpolación de la topografía (kriging) y la triangulación se realizan en paralelo; construir una malla para decenas de miles de puntos lleva segundos.

La pestaña **XYZ view** muestra la malla en 3D (figura). Gire con el botón izquierdo, amplíe con la rueda y desplace con el derecho. Clic derecho sobre un eje con Shift abre los ajustes del eje.



10. Diálogo «Mesh constructor», pestaña XYZ view

Para terminar pulse **Apply and close**. Se activan las secciones de la ventana principal y la barra de estado muestra el número de puntos y de celdas del modelo 3D.

Diálogo del campo normal y parámetros de medición

Tras configurar la malla, en un proyecto nuevo deben fijarse los parámetros del campo normal.

El diálogo está en **Options / Observation settings** y tiene dos áreas: **Magnetic survey** y **Gravity survey**.

Observation settings

Magnetic survey ☒

Incident field, nT ☐ 56000.0

Inclination, deg 7

Declination, deg 6

Azimuth Y, deg 0.0

☐ Magnetometer elev, m 2.00

Data type T

Gradient base, m 0.0

Gravity survey ☒

☐ Gravimeter elev, m 0.1

Data type Gz

Gradient base, m 0.0

DC shift, mG 0.0

Apply Cancel

11. Diálogo Observation settings

Área Magnetic survey

Incident field – módulo del campo magnético normal, nT. Si la opción está activa, se suma a los valores calculados.

Inclination – inclinación del campo normal, grados: ángulo entre el vector de inducción total y el plano horizontal.

Declination – declinación, grados: ángulo entre la proyección horizontal del vector y el norte geográfico, en sentido horario.

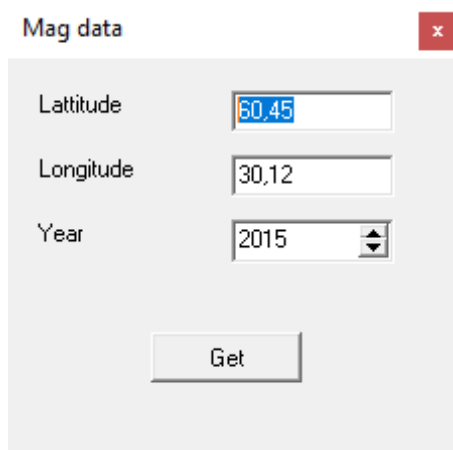
Azimuth Y – azimut del eje Y, grados, en sentido horario desde el norte.

Magnetometer elev – altura del sensor magnético, m, relativa al terreno (opción desactivada) o absoluta (activada).

Data type – tipo de datos: **T** – campo total, **GrZ** – gradiente, **Tx**, **Ty**, **Tz** – componentes según los ejes.

Gradient base, m – distancia entre sensores del gradiómetro.

El botón  a la derecha de *Magnetic survey* carga los parámetros del campo desde Internet (para latitud, longitud y año dados). Las coordenadas se dan en grados con coma decimal (figura).



Mag data

Latitude 60.45

Longitude 30,12

Year 2015

Get

12. Diálogo Mag data

Área Gravity survey:

Gravimeter elev, m – altura de las observaciones gravimétricas, relativa al terreno (opción desactivada) o absoluta (activada).

Data type – Gz – componente vertical de la gravedad, **Grz** – su gradiente.

Gradient base, m – distancia entre sensores del gradiómetro.

DC shift, mG – constante añadida a los datos gravimétricos calculados. Puede determinarse automáticamente (clic derecho) para una densidad media dada si en program setup están bien fijadas las densidades mínima y máxima.

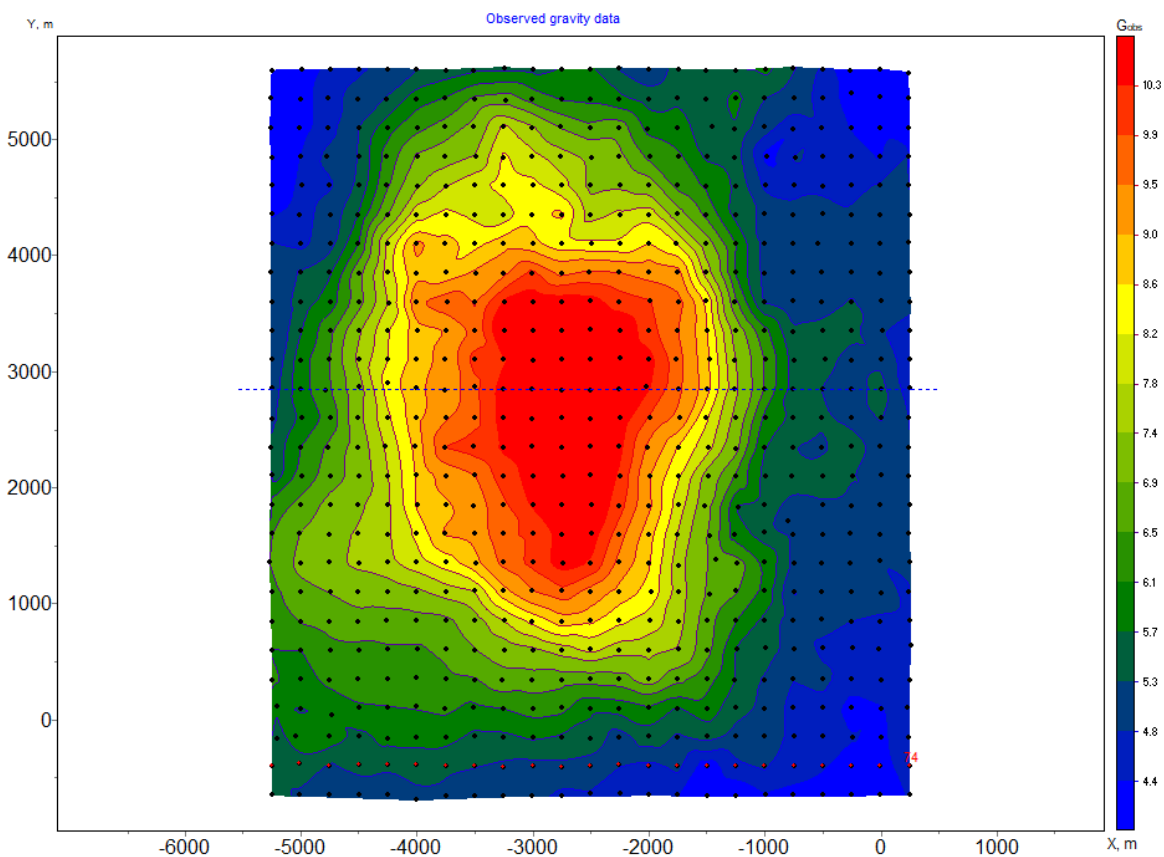
Visualización de datos

Los datos areales pueden mostrarse como mapa de isolíneas (**Options / Data / Contour map**), mapa de gráficos (**Options / Data / Graphics map**) o puntos en el plano (**Options / Data / Points map**).

Mapa de isolíneas

El mapa de isolíneas del parámetro seleccionado se muestra sobre el modelo 3D. Puede mostrar:

- datos observados (**Options / Data / Observed data**);
- datos calculados (problema directo) (**Options / Data / Calculated data**);
- residuo entre observados y calculados (**Options / Data / Data misfit**).



13. Ejemplo de mapa de isolíneas

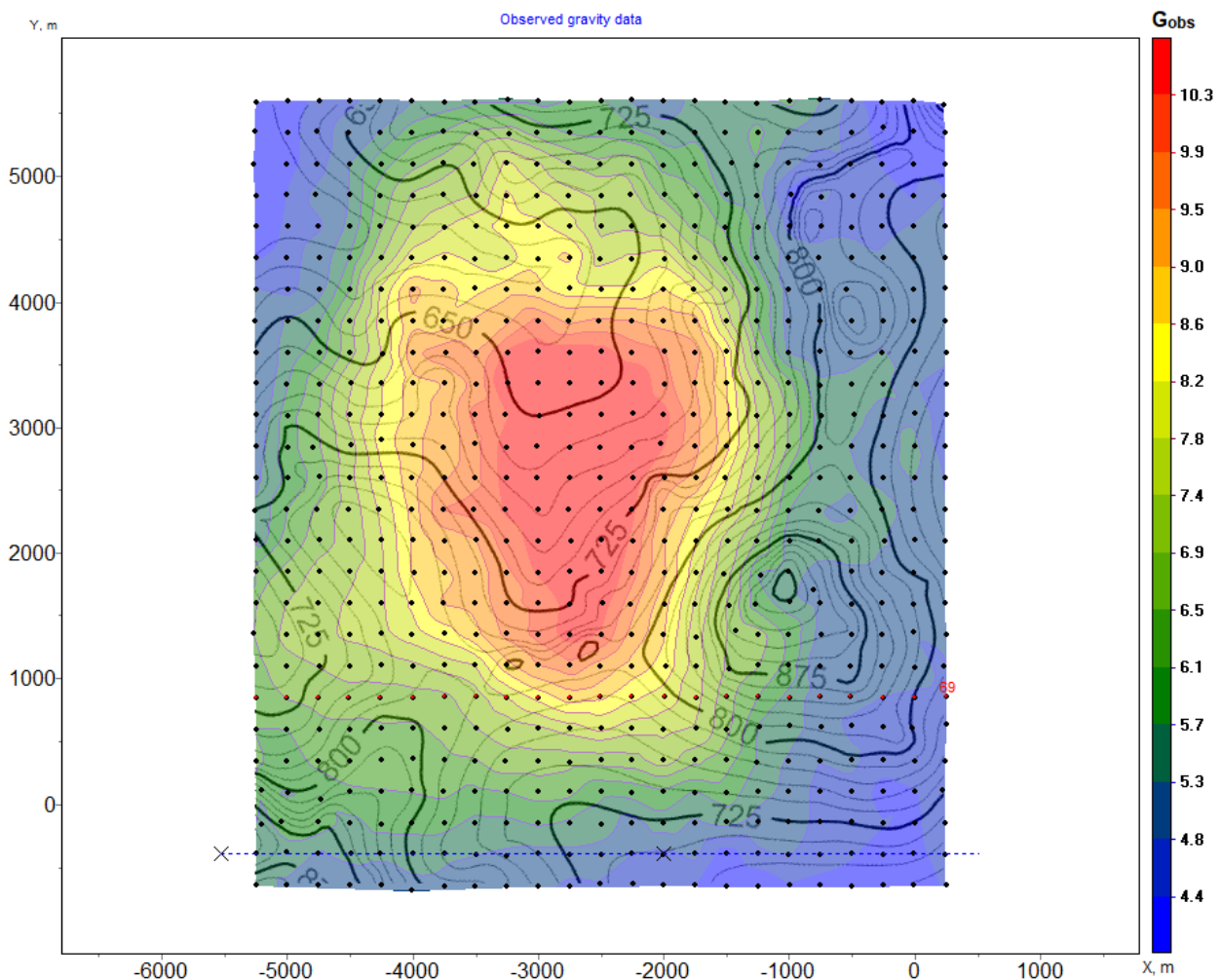
Los puntos rojos indican el perfil cuya curva se muestra en el área de datos de perfil; los números son los números de perfil. La línea azul muestra la posición del corte del modelo 3D. Los sondeos se indican con cruces negras.

Menú contextual (clic derecho):

- **Log data scale** — Escala de color logarítmica.
- **Smooth mode** — Paleta suave interpolada / sección de isolíneas.

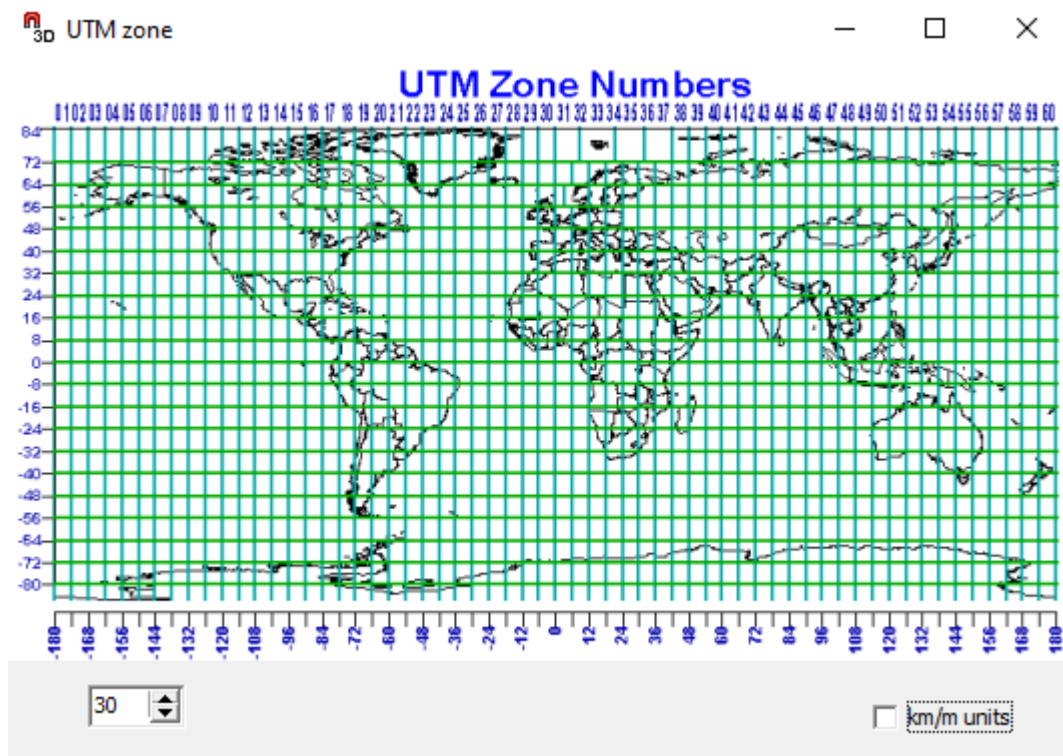
- **Display grid point** — Mostrar los puntos de medición.
- **Display ColorBar** — Mostrar la escala de color.
- **Setup** — Ajustes del mapa de isolíneas.
- **Print preview** — Imprimir el mapa.
- **Save picture** — Guardar como *.bmp, *.png.
- **Save XYZ file** — Guardar como texto *.dat.
- **X:Y=1:1** — Escalas iguales en los ejes horizontales.
- **Load background** — Cargar una imagen de fondo.
- **Load bingmap** — Cargar un mapa satelital de fondo.
- **Remove background** — Eliminar el fondo.
- **Draw in Surfer** — Construir el mapa en Golden Software Surfer.
- **Copy BG from model** — Con el corte XY seleccionado, usar su imagen como fondo del mapa.

Load background carga cualquier ráster como fondo semitransparente, útil para comparar los datos con mapas topográficos, esquemas estructurales y tectónicos, mapas geológicos y datos de otros métodos. La figura muestra un mapa topográfico como fondo.



14. Comparación del mapa de isolíneas con un mapa topográfico

Load bingmap carga un mapa satelital según las coordenadas (en UTM); en la ventana UTM zone se elige el número de zona.

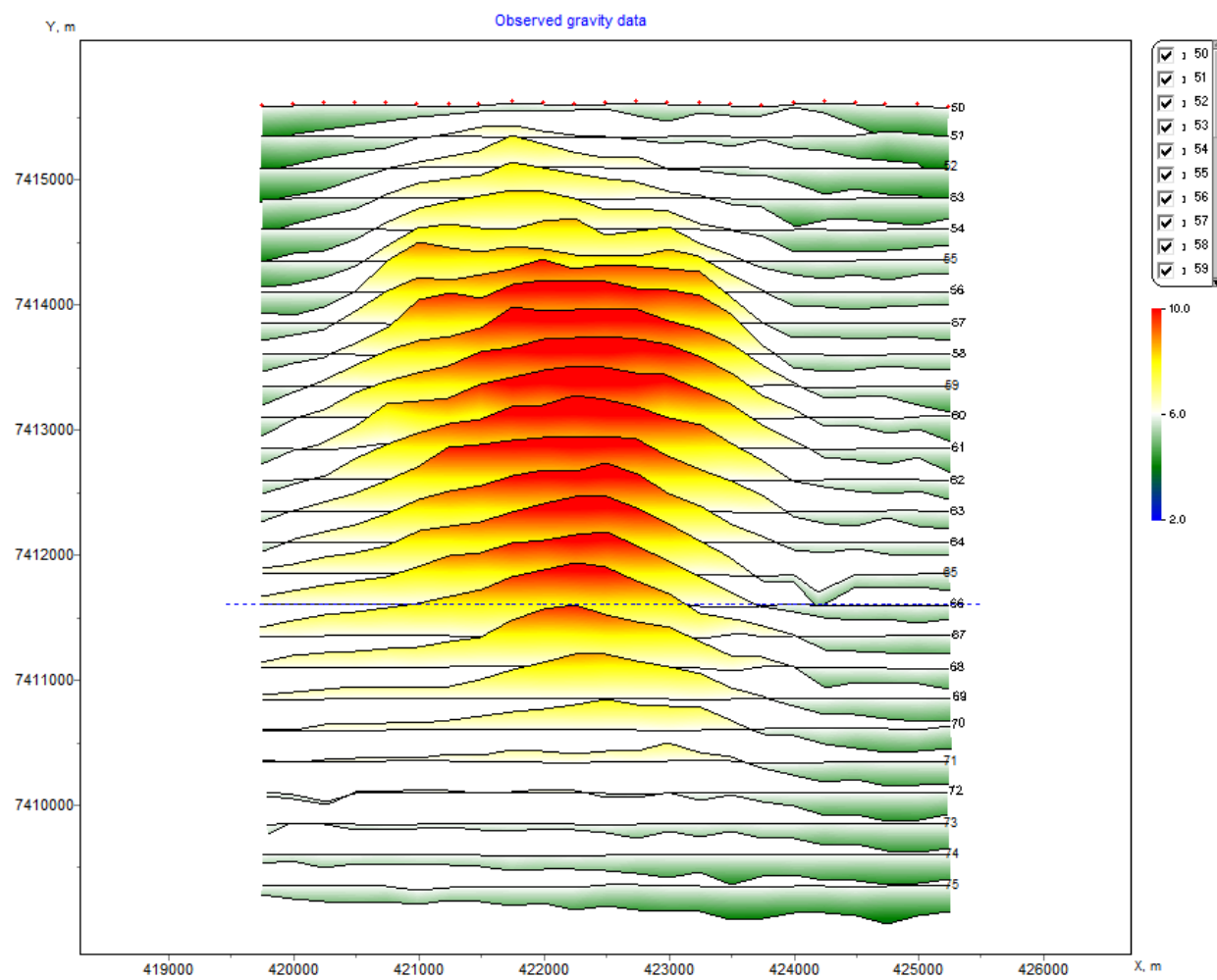


15. Diálogo UTM zone

Mapa de gráficos

Muestra curvas de valores teóricos o experimentales a lo largo de los perfiles.

Pueden mostrarse curvas observadas (**Options / Data / Observed data**) y teóricas (**Options / Data / Calculated data**). En modo residuo (**Options / Data / Data misfit**) las observadas se rellenan y las calculadas se muestran con línea roja. La rueda del ratón cambia la escala; la leyenda de la derecha activa o desactiva cada perfil.



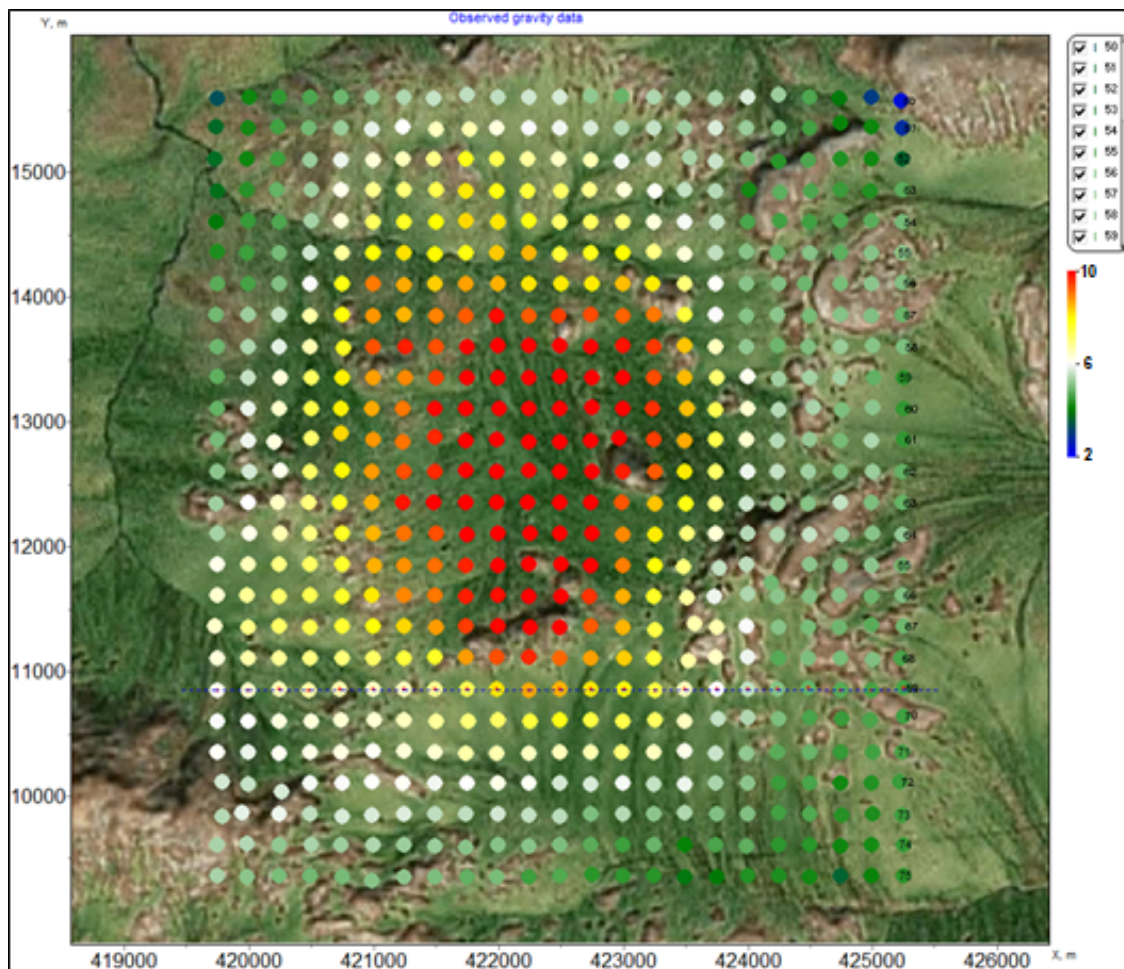
16. Ejemplo de mapa de gráficos

Menú contextual: **Setup**, **Print preview**, **Save picture** (*.bmp, *.png), **X:Y=1:1**, **Load background**, **Load bingmap**, **Remove background**, con el mismo significado que en el mapa de isolíneas.

Para ajustar la escala de color, haga clic derecho sobre ella.

Mapa de puntos

La representación por puntos es cómoda con un fondo. Pueden mostrarse valores observados y calculados. La rueda cambia el tamaño de los puntos; la leyenda activa o desactiva cada perfil.



17. Datos representados como puntos

Como en el mapa de isolíneas, puede cargarse cualquier imagen o mapa satelital de fondo.

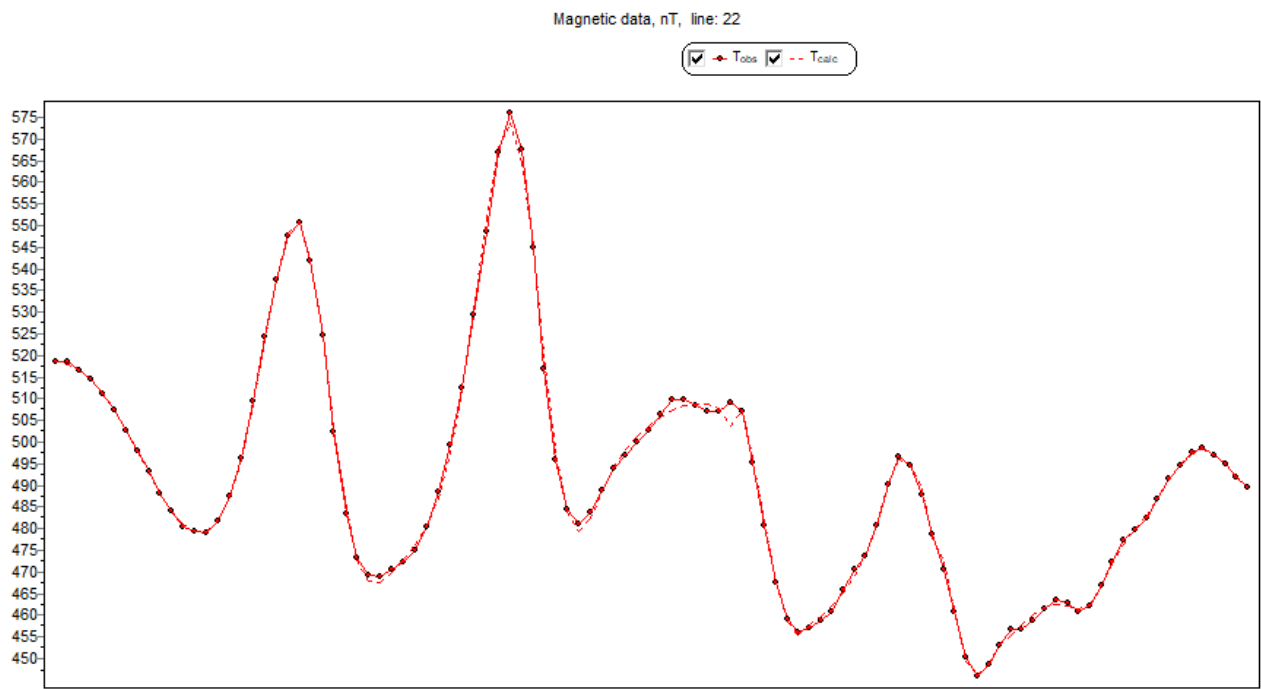
Curvas de perfil

La curva del perfil seleccionado se muestra en la sección superior derecha, sobre el editor de modelo (figura).

Los valores medidos se editan arrastrando un punto con el botón derecho.

El editor de gráficos se abre con clic derecho y SHIFT sobre el gráfico; el editor de ejes, con clic derecho y SHIFT sobre el eje.

La rueda del ratón pasa al perfil siguiente (anterior).

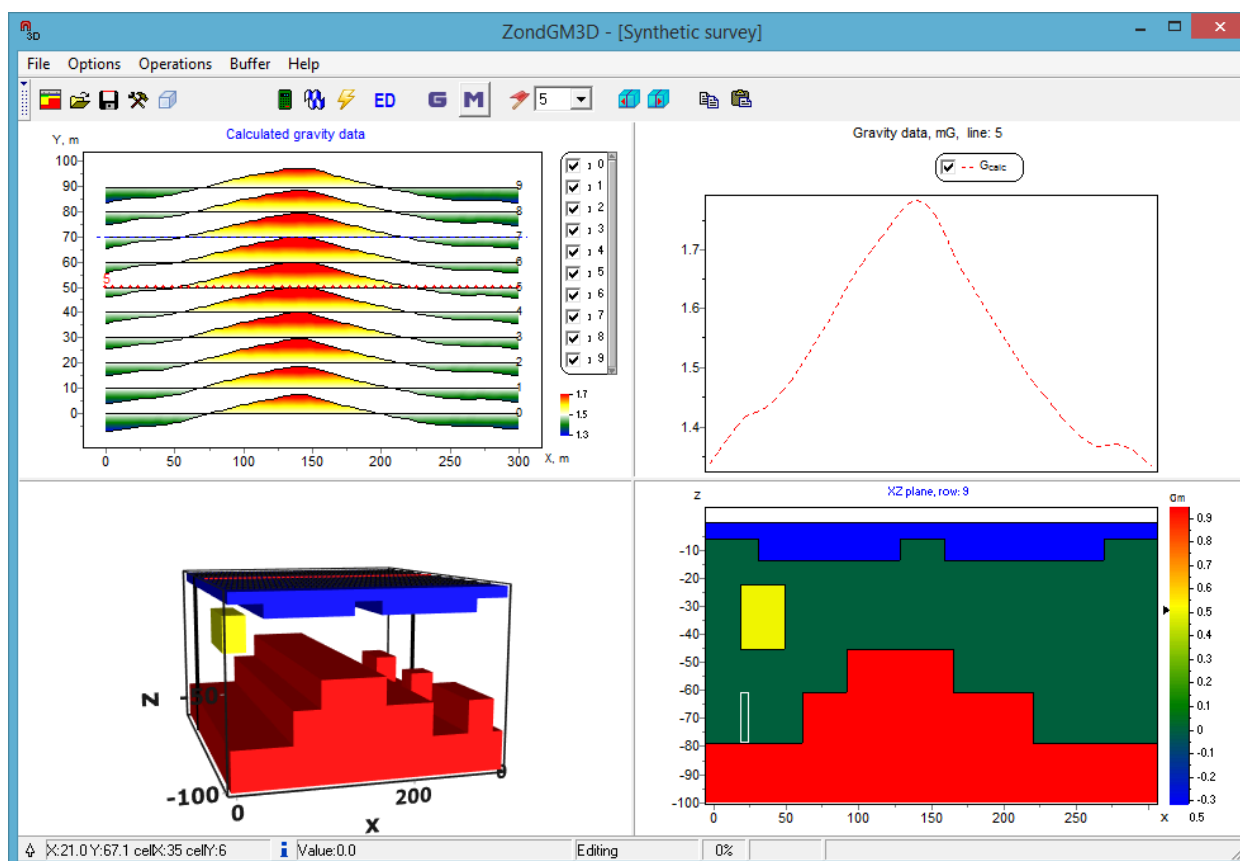


18. Curvas calculada (discontinua) y observada (continua)

Modelización

La modelización es un proceso importante previo al trabajo de campo. Con información a priori sobre el objetivo, sus propiedades y el medio encajante, el geofísico construye un modelo teórico acorde con la geología esperada. La modelización muestra el carácter y la amplitud de la anomalía y ayuda a optimizar el diseño del levantamiento.

ZondGM3D modeliza datos magnéticos y gravimétricos en 3D con topografía. Se necesitan la geometría del levantamiento, los parámetros del campo normal y el modelo. También pueden construirse modelos a partir de otros modelos **Zond** y de secciones geológicas en imagen ráster.



19. Ventana principal en modo de modelización

Edición del modelo

El modelo se edita en el **editor de modelo** – la sección inferior derecha en modo **Options / Model / Block-section**.

El editor cambia los parámetros de celdas con el ratón. La escala de color de la derecha relaciona colores y valores; para elegir el valor actual haga clic izquierdo en la escala, y el valor aparece debajo.

Options / Model / Plane elige la orientación del corte (XZ, YZ, XY); teclas: «Alt+1» – XZ, «Alt+2» – YZ, «Alt+3» – XY.

Trabajar con celdas es similar a editar una imagen ráster. La barra de estado muestra coordenadas y parámetros de la celda activa, rodeada por un rectángulo (cursor). Las celdas

seleccionadas se marcan con puntos blancos.

Modos de selección (menú del clic derecho):

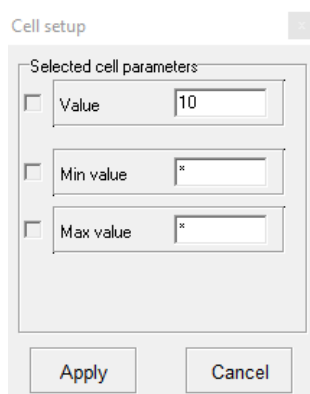
- **Display cell setup** — Diálogo de parámetros de celda.
- **Cell to cursor value** — Usar el parámetro de la celda activa como valor actual.
- **Edit mode** — Modo de edición.
- **Selection \ Free form selection** — Selección de forma libre.
- **Selection \ Rectangular selection** — Selección rectangular.
- **Selection \ Elliptical selection** — Selección elíptica.
- **Selection \ Magic wand** — Seleccionar la celda activa y las adyacentes de parámetros cercanos; la tolerancia se fija en los ajustes del modelo.
- **Selection \ Remove selection** — Quitar la selección.
- **Clear model** — Borrar el corte actual.

El clic izquierdo sobre una celda o selección asigna el valor actual.

El zoom y desplazamiento se hacen en modo **Zoom&Scroll**: hacia abajo y a la derecha para ampliar, hacia arriba y a la izquierda para volver.

Con CTRL pulsado la selección puede moverse: con el botón izquierdo se copia, con el derecho se corta y se mueve.

Los valores también pueden fijarse en **Display Cell setup**:



20. Diálogo «Display Cell setup»

Value – valor del parámetro. **Min value**, **Max value** – rango del parámetro en la inversión. Marque las casillas para aplicar el nuevo valor a todas las celdas seleccionadas.

Menús contextuales del editor:

- **Área superior** — Display model mesh: mostrar la malla.
- **Display objects border** — Mostrar los bordes de los objetos.
- **Display color bar** — Mostrar la escala de color.
- **Setup** — Ajustes del modelo.
- **Zoom&Scroll** — Modo de zoom y desplazamiento.
- **Print preview** — Imprimir el modelo.

- **X:Y=1:1** — Escalas iguales.
- **Escala de color** — Set range: mínimo y máximo de la escala; **Automatic** – límites automáticos según el corte; **Log scale** – escala logarítmica; **Smooth image** – paleta suave; **Set cursor value** – situar el cursor en un valor de la escala.

Guardar y usar datos del modelo

Para usar valores calculados como datos de campo en la inversión, guarde el resultado en modo **Calculated data** (archivo de texto) y ábralo como datos observados. Alternativamente use **Project with calculated**, borrando el modelo actual antes de la inversión. Así se puede invertir y comparar el modelo recuperado con el original.

Este mecanismo permite probar diseños de levantamiento y verificar hipótesis. # Interpretación de datos de campo

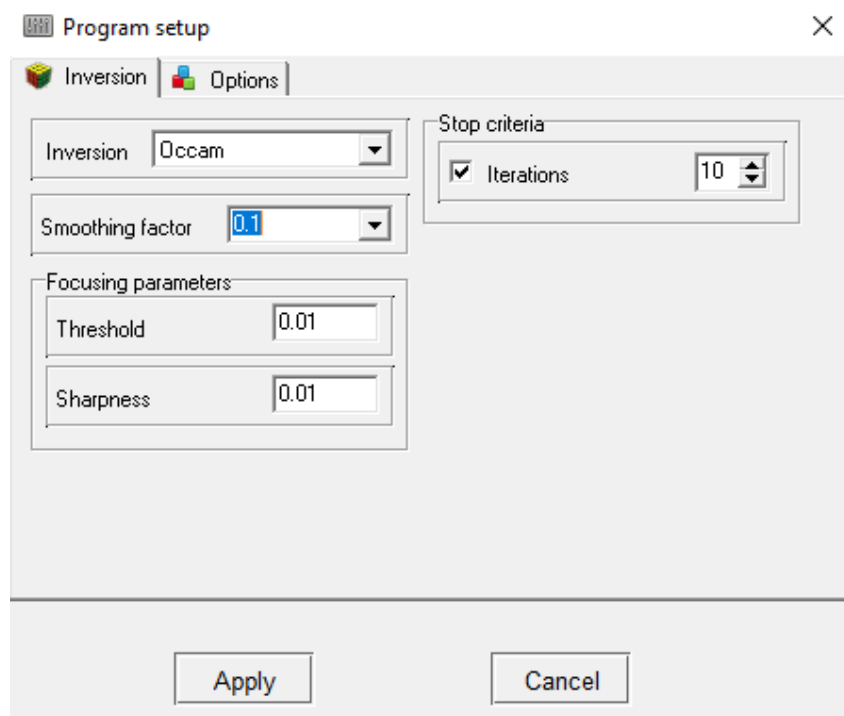
Ajustes de la inversión

El programa invierte datos magnéticos y gravimétricos por separado o de forma conjunta (**Options / Inversion / Cross-gradient**).

Tras cargar los datos y configurar el modelo inicial, elija el tipo de inversión y sus parámetros. El diálogo se abre con el botón  o con **Option / Program setup**.

El diálogo contiene los parámetros de los problemas directo e inverso.

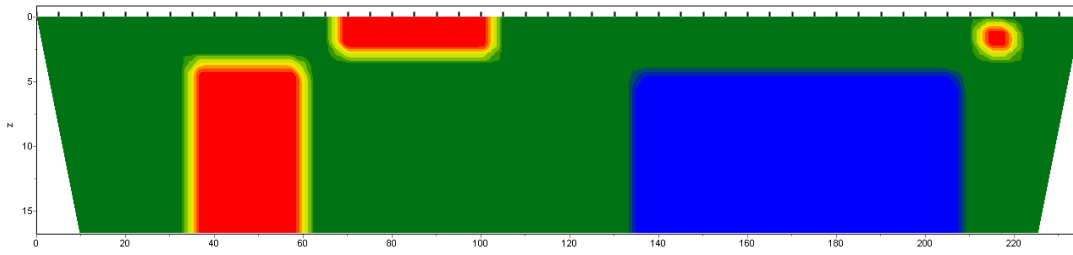
La pestaña **Inversion** contiene los parámetros de inversión:



21. Diálogo «Program setup», pestaña «Inversion»

La opción **Inversion** elige el algoritmo del problema inverso.

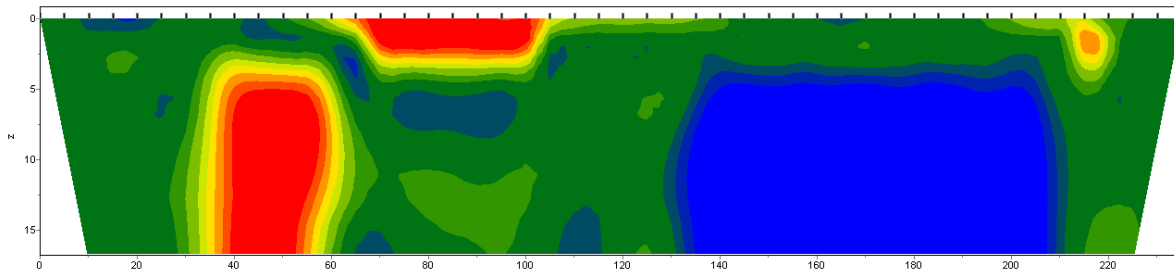
Los algoritmos se ilustran con un corte 2D de un modelo de varios bloques (figura):



22. Modelo de prueba

Se calculó la respuesta teórica y se añadió un 5% de ruido gaussiano.

Smoothness constrained – inversión por mínimos cuadrados con operador de suavizado. Da una distribución suave (sin límites bruscos) y estable (figura).



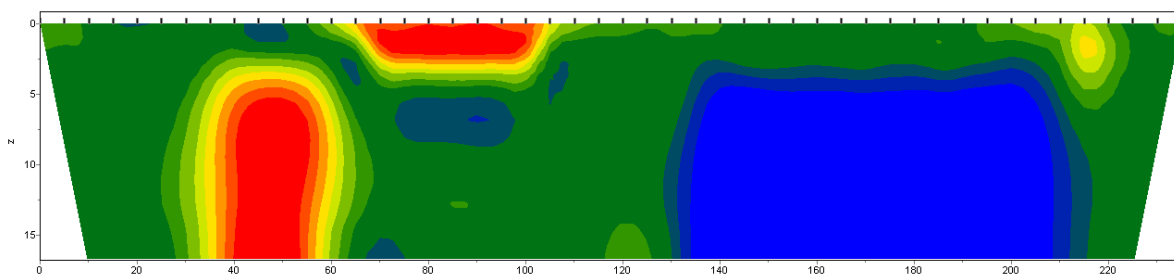
23. Modelo recuperado con Smoothness constrained

Ecuación matricial:

$$(A^T W^T W A + \mu C^T C) \Delta m = A^T W^T \Delta f$$

El contraste del modelo no se minimiza. El algoritmo alcanza el menor residuo y se recomienda en las primeras etapas de la interpretación.

Occam – mínimos cuadrados con operador de suavizado y minimización adicional del contraste [Constable, 1987]. Da la distribución más suave (figura).



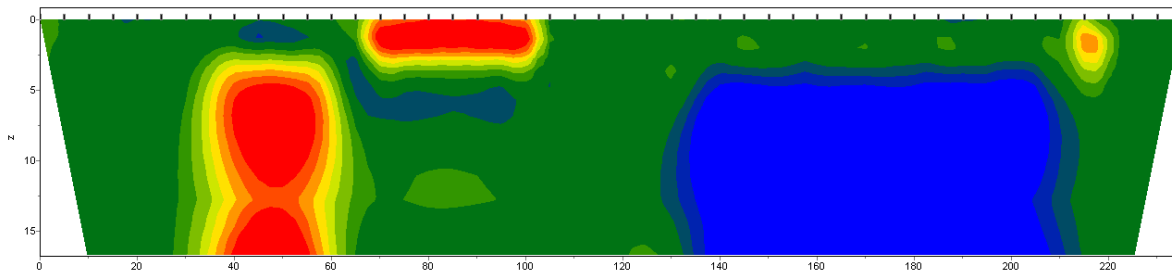
24. Modelo recuperado con Occam

Ecuación matricial:

$$(A^T W^T W A + \mu C^T C) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T C m$$

La suavidad es proporcional a **Smoothness factor**; valores demasiado grandes pueden aumentar el residuo.

Marquardt – mínimos cuadrados clásicos con parámetro de amortiguamiento (**Ridge regression**) [Marquardt, 1963]. Con pocos parámetros da un modelo contrastado (figura).



25. Modelo recuperado con *Marquardt*

Ecuación matricial:

$$(A^T W^T W A + \mu I) \Delta m = A^T W^T \Delta f$$

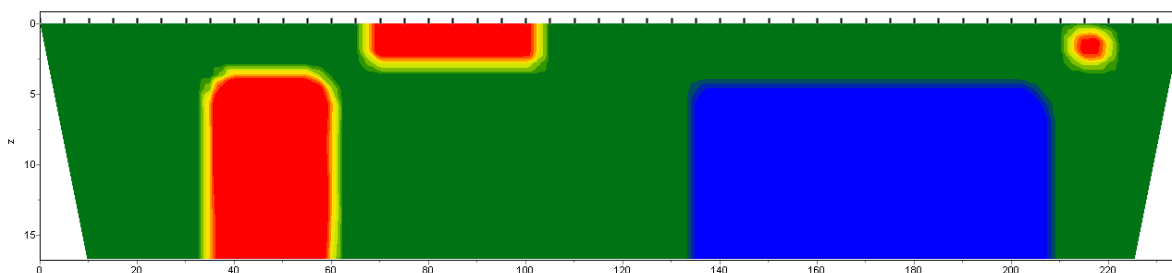
Un uso descuidado puede dar resultados inestables o divergencia.

Marquardt se usa mejor como refinamiento tras **Smoothness constrained** u **Occam**.

Blocks – ajuste de parámetros de áreas con distintos valores; las áreas de igual valor se tratan como bloques (figura). Se recomienda aplicar antes **Rasterization (3D settings menu / Model / Smooth/raster)**.

La ecuación es la misma que en **Marquardt**:

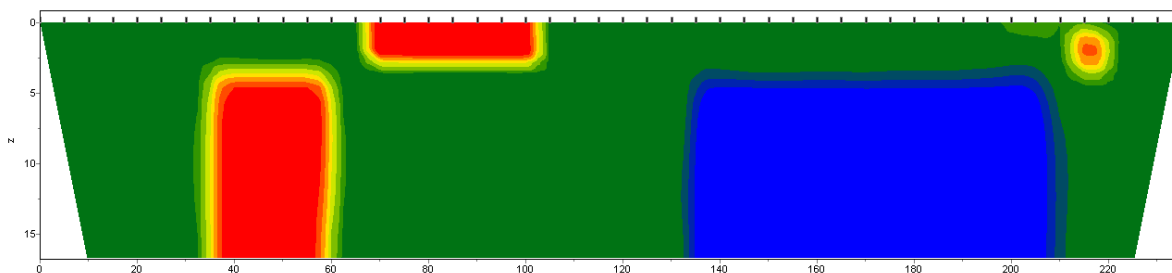
$$(A^T W^T W A + \mu I) \Delta m = A^T W^T \Delta f$$



26. Modelo recuperado con *Blocks*

Conviene usarlo para refinar resultados previos (mejor **Focused**) tras unir celdas en bloques con **Smooth/Raster**. Los bloques pueden definirse a mano en el editor asignando parámetros distintos; se resaltan mientras el diálogo está abierto.

Focused – mínimos cuadrados con operador de suavizado y focalización del contraste [Portniaguine, 2000]. Da una distribución suave por tramos, es decir, un modelo de bloques de valor constante (figura).



27. Modelo recuperado con *Focused*

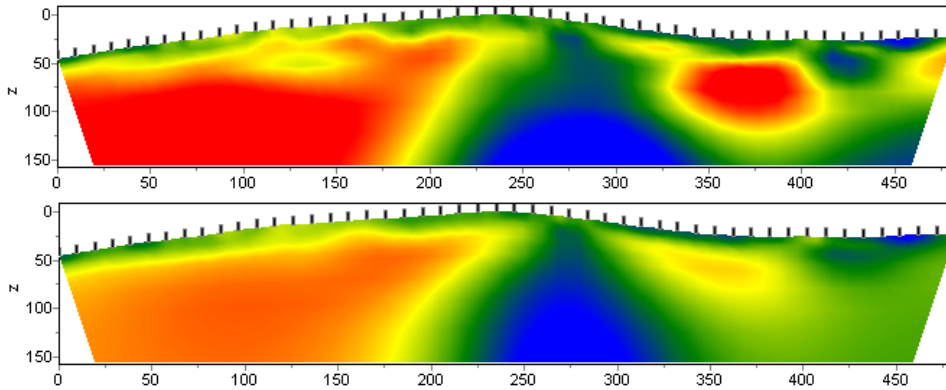
Ecuación matricial:

$$(A^T W^T W A + \mu C^T R C) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m$$

Requiere elegir con cuidado el umbral de contraste **Threshold** (pestaña **Inversion**): por encima de él los parámetros de celdas adyacentes no se promedian (se supone un límite). El peso de promediado R_i depende del umbral e y del contraste r_i :

$$R_i = \frac{e^2}{e^2 + r_i^2}$$

Smoothing factor – equilibrio entre minimizar el residuo de datos y el del modelo. Para datos ruidosos o para un resultado más suave se usan 0,5 - 2; para datos de alta calidad 0,005 - 0,01. Valores grandes suelen dar residuos mayores (figura). Se usa en **Occam** y **Focused**.

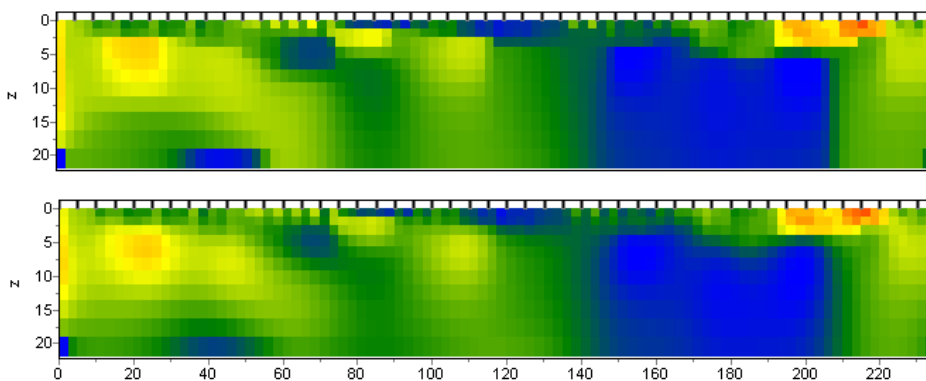


28. Modelos *Occam* con smoothing factor 0,01 (A, arriba) y 1,0 (B, abajo)

El área **Stop criteria** contiene los criterios de parada. **Iterations** – la inversión se detiene en la iteración indicada.

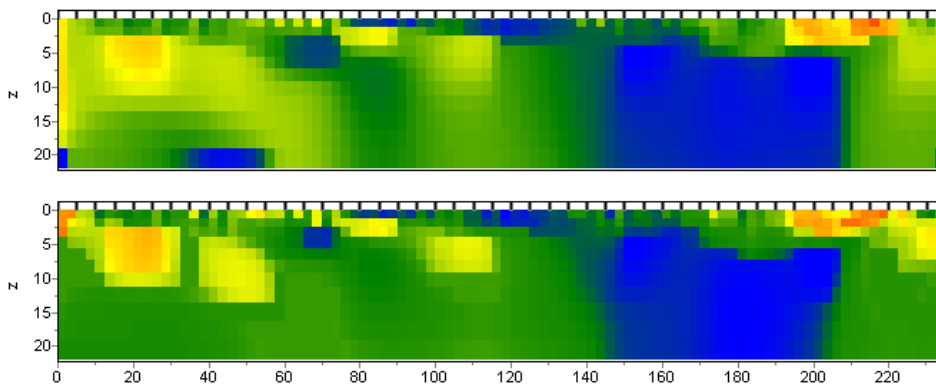
Área **Focusing parameters**:

Threshold – umbral de contraste entre celdas adyacentes; se elige empíricamente (0,001-1) (figura). Valores muy pequeños pueden causar divergencia; valores grandes dan una distribución suave.



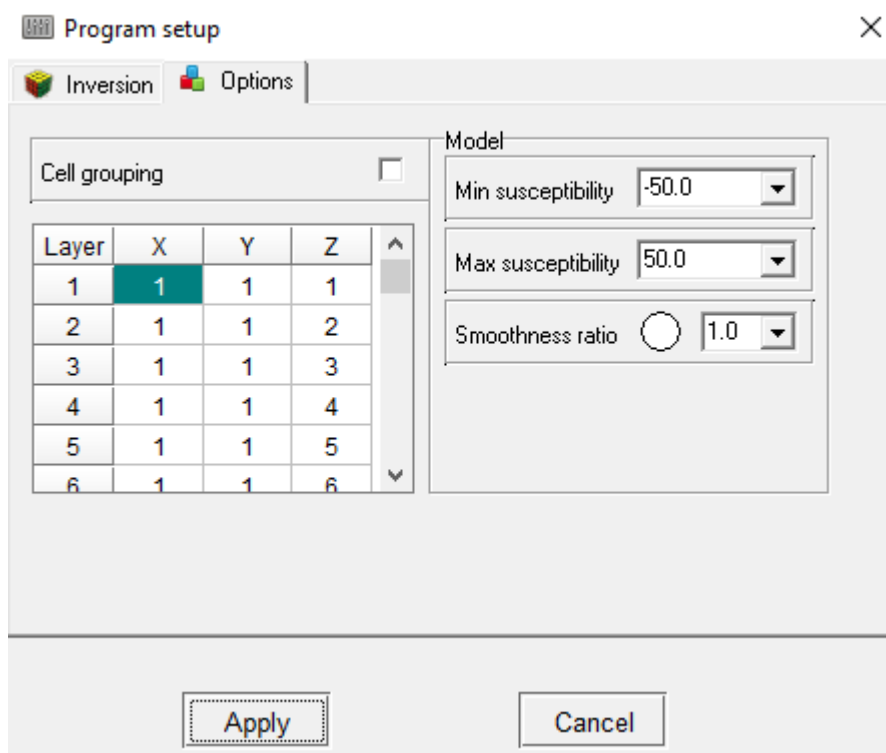
29. Modelos *Focused* con Threshold 0,01 (A, arriba) y 0,1 (B, abajo)

Sharpness – equilibrio entre minimizar el volumen de los objetos anómalos (0) y obtener una distribución suave por tramos (1) (figura). Se elige empíricamente.



30. Modelos *Focused* con Sharpness 0,8 (A) y 0,2 (B)

La segunda pestaña **Options** contiene parámetros adicionales:

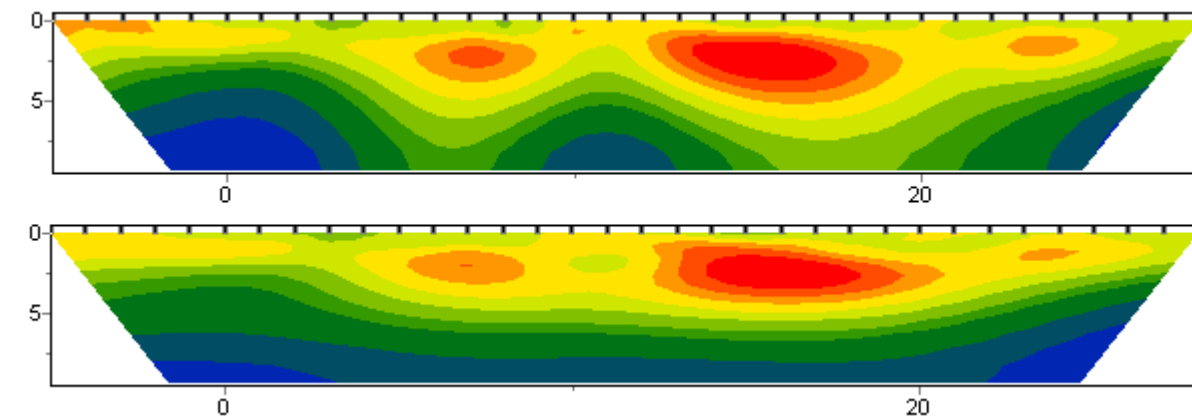


31. Diálogo «Program setup», pestaña «Options»

Área **Model**:

Min susceptibility (density), Max susceptibility (density) – límites de los parámetros en la inversión para el modo actual. Si se conocen bien, active **lim based inv** en el menú principal.

Smoothness ratio – relación del suavizado horizontal y vertical: <1 para estructuras horizontales, >1 para verticales; valores típicos 0,2 a 1 (figura).

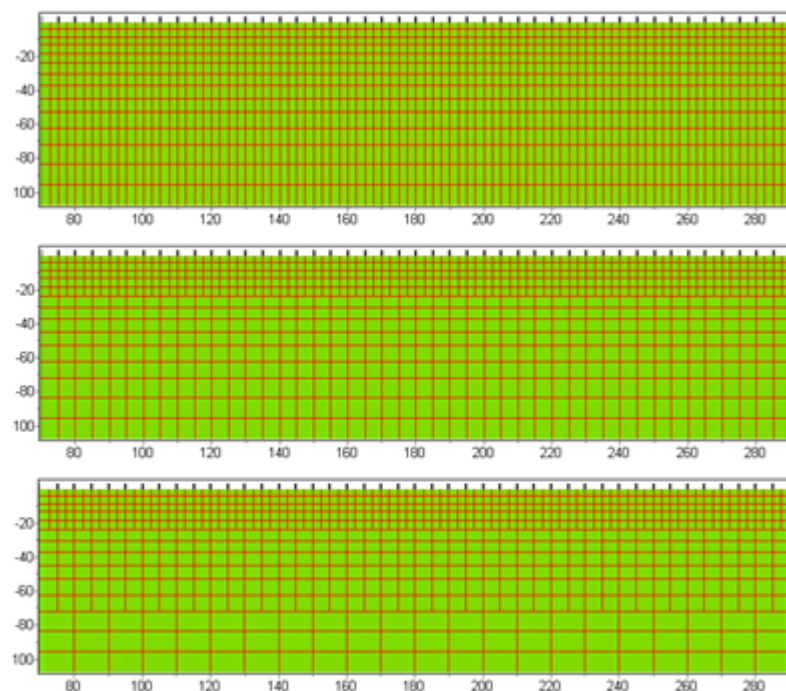


32. Modelos de inversión suave con Smoothness ratio 1 (A, arriba) y 0,3 (B, abajo)

Cell grouping – para modelos grandes: una tabla permite unir celdas adyacentes y reducir el número de parámetros de inversión, manteniendo las celdas del problema directo. Idealmente el número de parámetros debe ser comparable al de datos.

La tabla tiene cuatro columnas: **Layer** – número de capa; **X, Y, Z** – número de celdas en cada dirección contenidas en una celda de inversión. La malla de inversión se muestra en el editor y en el modelo 3D. Doble clic derecho en las columnas X e Y une celdas horizontalmente para esa capa y las inferiores.

Ejemplos: malla de inversión igual a la del modelo (A); desde la capa 6 celdas unidas de dos en dos (B); desde la capa 6 de dos en dos y desde la 12 de cuatro en cuatro (C).



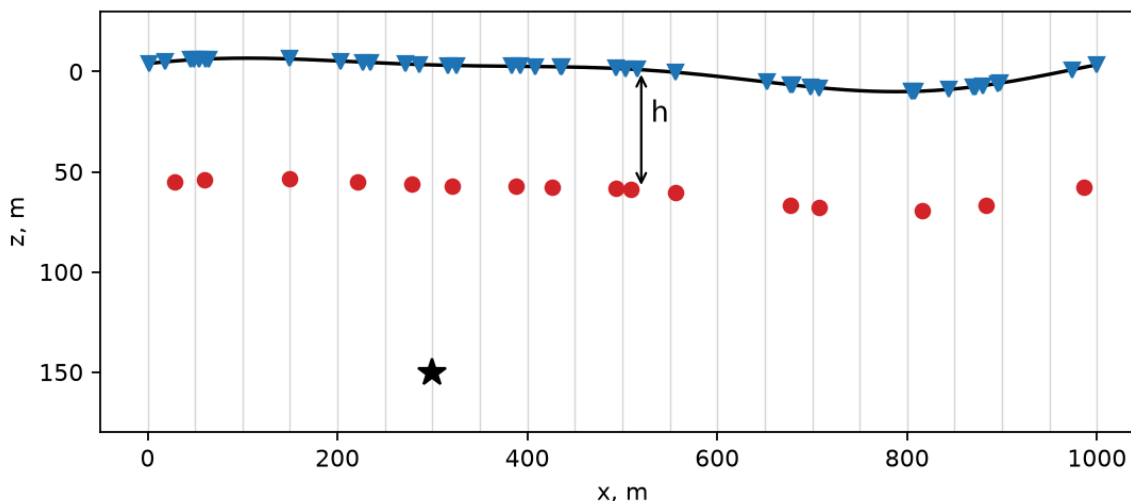
33. Ejemplos de mallas de inversión (A, B, C de arriba abajo)

Transformaciones del campo (menú Operations)

El menú **Operations** trabaja con los datos del modo actual (magnético o gravimétrico) en todos los perfiles a la vez. Los datos originales se conservan y pueden restaurarse con **Return to original data**.

Capa equivalente

La capa equivalente es un conjunto de fuentes puntuales (dipolos magnéticos o masas puntuales) a una profundidad h bajo la topografía cuyo campo en los puntos de medición coincide con el observado. El levantamiento puede ser irregular; la topografía se tiene en cuenta: la cota de cada estación se toma de los datos y las fuentes siguen la topografía desplazadas h hacia abajo.



Esquema de la capa equivalente: estaciones sobre la topografía (triángulos), fuentes a la profundidad h (círculos, una por bloque), fuente real (estrella)

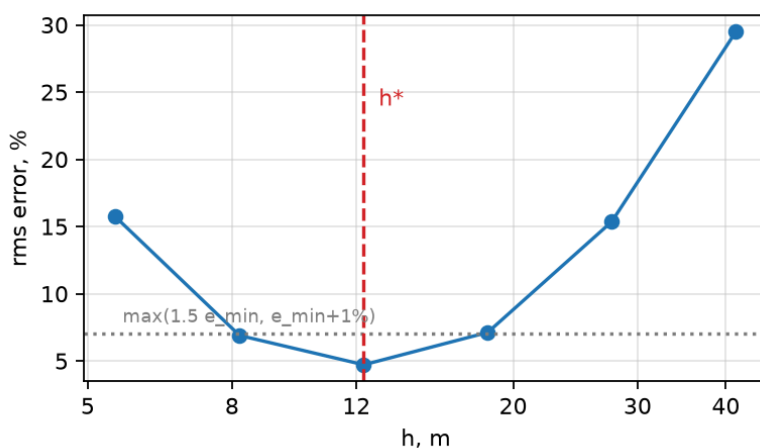
Fuentes. El área se divide en bloques cuadrados; cada bloque no vacío recibe una fuente en la posición media de sus estaciones. El tamaño inicial del bloque es la mediana de la distancia a la estación más cercana (en levantamientos por perfiles es el paso a lo largo del perfil, no el espaciado medio por área); si hay más de 4000 bloques, el tamaño se aumenta. Las estaciones coincidentes (a menos de 1 mm) se cuentan una vez.

Núcleo. En modo magnético se usa el campo de un dipolo magnetizado según el campo normal (inclinación, declinación y azimut de **Options / Observation settings**); para datos de componentes (X, Y, Z), la componente correspondiente. En modo gravimétrico, la atracción vertical de una masa puntual.

Ajuste. Las intensidades y un término constante se ajustan con gradientes conjugados para mínimos cuadrados (CGLS) sin formar el sistema normal. Las columnas se escalan, la media de los datos se resta previamente y se aplica una regularización débil. Las iteraciones (como máximo 300) se detienen cuando el residuo disminuye menos de un 0,5 % en 10 iteraciones. El cálculo usa todos los núcleos del procesador.

Operations / Equivalent layer abre un diálogo:

- **Depth in meters** — profundidad h . Por defecto, dos tamaños de bloque de fuentes.
- **Ok** — calcular la capa a la profundidad dada.
- **Auto** — elegir la profundidad automáticamente. El error de ajuste se calcula para 6 profundidades (espaciadas logarítmicamente) desde $h/2$ hasta el mayor de $2h$ y tres espaciados medios. Se elige la profundidad más grande cuyo error no supera $\max(1,5 \cdot e_{\min}; e_{\min} + 1 \%)$, donde $e_{\min}$ es el menor error: la capa más suave que aún reproduce los datos. Después la capa se calcula definitivamente.
- **Cancel** — cancelar.



Error de ajuste frente a la profundidad h (20 perfiles cada 50 m, paso de 4 m); línea punteada — tolerancia, h^* — profundidad elegida

Después aparece un mensaje con la profundidad y dos errores: rms error — desajuste cuadrático medio en porcentaje de la dispersión cuadrática media de los datos (medida estricta), y mean error — desajuste absoluto medio en porcentaje del rango de los datos (máx – mín). Para anomalías locales sobre un fondo tranquilo el segundo es 10–50 veces menor que el primero. La versión anterior mostraba un valor del segundo tipo, y para las derivadas en lugar del campo, por lo que los números antiguos y nuevos no son directamente comparables. En modo Auto también se muestra el error de control en uno de cada cinco puntos. **Yes** repite con otra profundidad, **No** acepta, **Cancel** descarta.

Resultados: campo de la capa (usado por Euler), derivadas dT/dx , dT/dy , dT/dz (analíticas, en los puntos de medición) y campo reducido al polo (solo modo magnético).

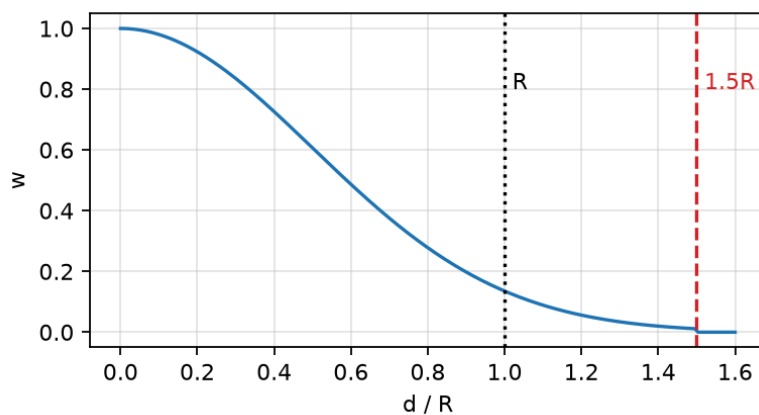
Elección de la profundidad. Una capa demasiado profunda no reproduce las anomalías cortas (el error crece rápido); una demasiado somera produce manchas bajo las estaciones y derivadas inestables entre ellas. La profundidad óptima suele ser de 1,5–3 tamaños de bloque. Si el error sigue siendo grande a cualquier profundidad, los datos contienen anomalías más cortas que el espaciado o ruido: suavice los datos. En levantamientos muy densos (más de 4000 bloques) el tamaño del bloque está limitado por el número de fuentes y las anomalías pequeñas se reproducen peor.

Reducción al polo

Operations / Reduce to pole sustituye los valores observados por el campo de la misma capa equivalente con magnetización y campo normal verticales. Se calcula en los puntos originales, sin interpolar a una malla regular ni usar FFT, por lo que sirve para levantamientos irregulares y con topografía. Es inestable con inclinaciones bajas (cerca del ecuador magnético). Para datos de componentes X e Y no está definida y el programa muestra un mensaje.

Suavizado de datos

Operations / Smooth data suaviza los datos con una superficie cuadrática local: para cada punto se usan los vecinos dentro de $1,5R$ con pesos gaussianos ($\sigma = R/2$); si hay pocos vecinos, la superficie se sustituye por un plano o una media ponderada.



Peso de suavizado frente a la distancia normalizada por el radio R

El radio se fija en el diálogo (por defecto dos espaciados). El suavizado puede repetirse con otro radio, siempre desde los datos originales.

Derivadas horizontales para la inversión

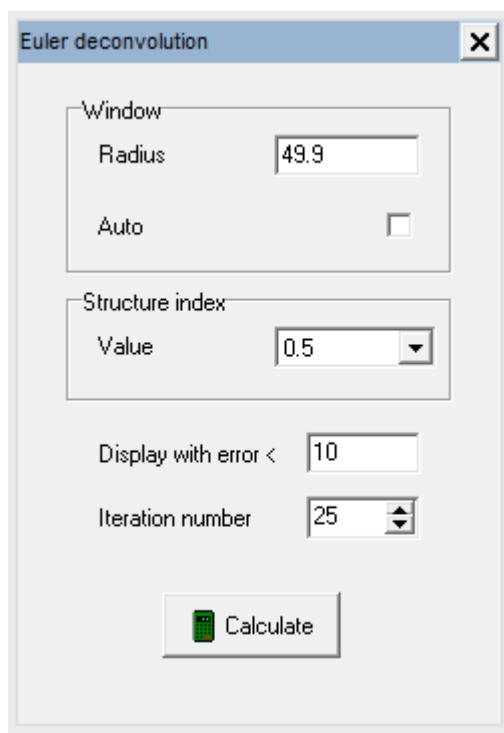
Para la inversión con derivadas (**Options / Inversion / With derivative**) las derivadas horizontales del campo observado se calculan como gradiente de la misma superficie cuadrática local con radio de dos espaciados. Lleva una fracción de segundo incluso para decenas de miles de puntos.

Otras operaciones

- **Bouguer&Free Air** — correcciones de Bouguer y aire libre con la densidad de la capa intermedia (kg/m^3), solo modo gravimétrico.
- **Subtract incident field** — restar el módulo del campo normal (modo magnético).
- **Subtract median field** — restar la mediana.
- **Subtract user value** — restar un valor dado.
- **Calculated2measured** — sustituir los observados por los calculados con el modelo actual.
- **Return to original data** — restaurar los datos originales.

Deconvolución de Euler

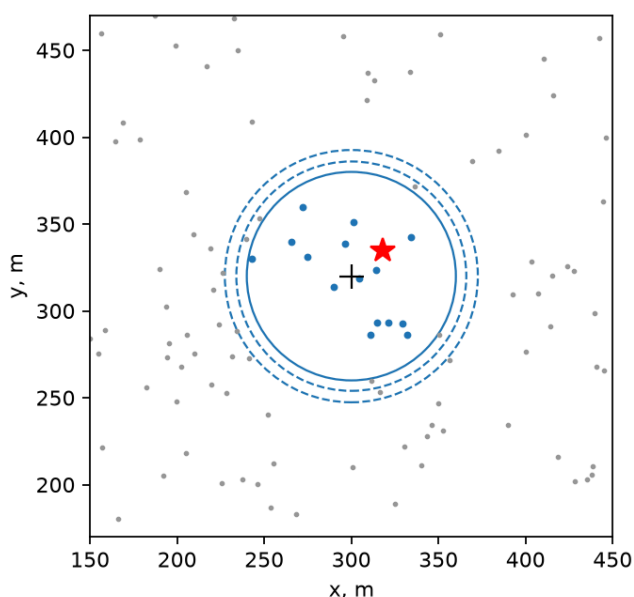
ZondGM3D implementa la deconvolución de Euler para obtener la distribución de fuentes magnéticas y gravimétricas (puntos singulares). Se inicia con un botón de la barra, que abre el diálogo:



Diálogo de deconvolución de Euler

El área **Window** fija el radio de la ventana (**radius**, m). La ventana incluye todos los puntos cuya distancia al punto central no supera el radio.

Auto activa la selección automática: se empieza con el radio dado y la ventana se amplía en un factor 1,1 (hasta 10 veces) hasta contener suficientes puntos; de todas las ventanas examinadas se elige la solución de menor error. Sin **Auto** se usa una sola ventana.



Ventana de deconvolución: punto central (+), puntos de la ventana (azul), ventanas ampliadas de Auto (discontinuas) y fuente hallada (estrella)

Structure index fija el índice estructural N , la tasa de decaimiento del campo: $N = 0,5$ (escalón inclinado en magnetometría; capas delgadas, diques y sills en gravimetría), $N = 1$ (masas lineales, contacto), $N = 1,5$, $N = 2$ (masas puntuales y líneas de dipolos), $N = 3$ (dipolo), $N = 4$. Cada índice se muestra con un símbolo distinto.

Display with error — mostrar soluciones con error de ajuste inferior al dado (porcentaje).

Iteration number — número de iteraciones de reponderación robusta. Con 1 se resuelven mínimos cuadrados ordinarios; con más, los puntos con residuos grandes (valores atípicos, fuentes vecinas) reciben menos peso (pesos de Huber).

Calculate — calcular las posiciones de los puntos singulares.

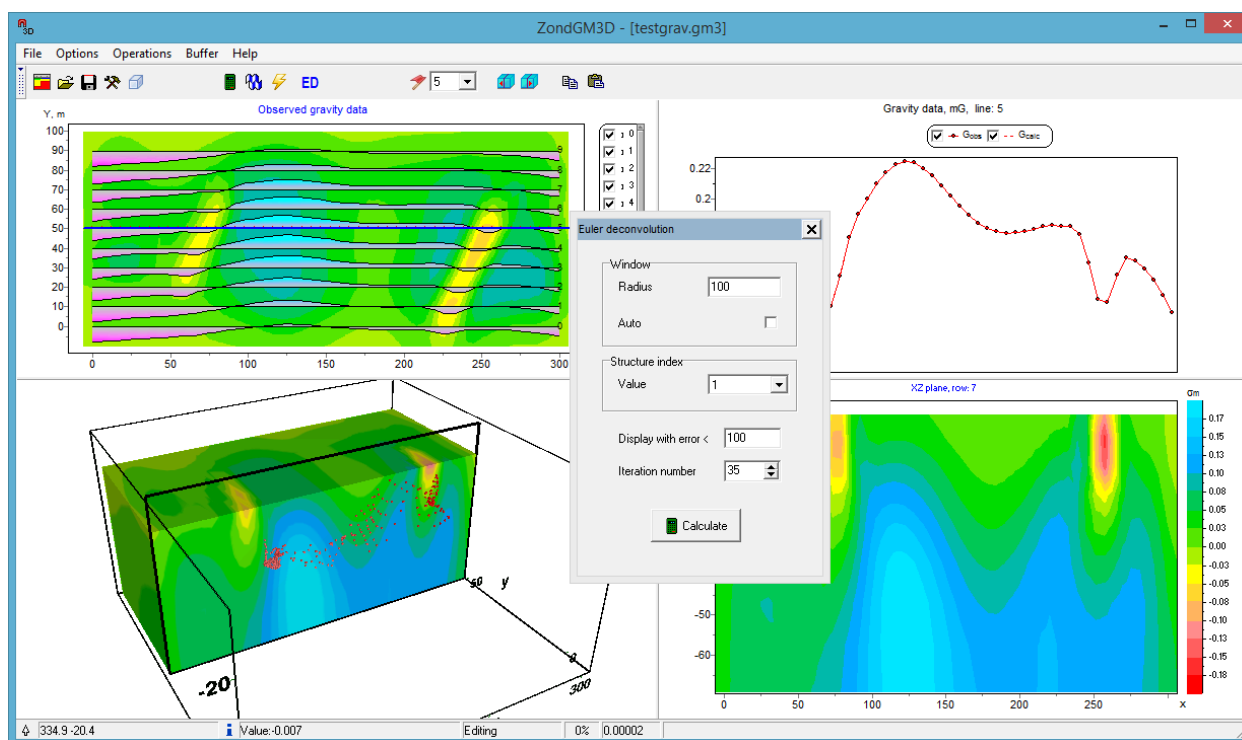
Cómo se calcula. Para cada punto con campo T y derivadas Tx, Ty, Tz conocidos, la ecuación de Euler

$$(x - x_0) \cdot T_x + (y - y_0) \cdot T_y + (z - z_0) \cdot T_z = N \cdot (B - T)$$

se escribe para todos los puntos de la ventana. Es un sistema lineal en x_0 , y_0 , z_0 , B, resuelto por mínimos cuadrados (sistema 4×4 , factorización de Cholesky). La solución se acepta si la fuente está horizontalmente dentro de $\pm 0,95$ de tres radios de ventana, bajo la topografía y no más profunda que 1,5 alturas del modelo. El error es el residuo absoluto medio de la ecuación dividido por la variación absoluta media del segundo miembro, en porcentaje. Los vecinos se buscan con una rejilla espacial, por lo que el tiempo crece linealmente con el número de puntos.

Antes de la deconvolución se calcula la capa equivalente (**Operations / Equivalent layer**), que proporciona T y las derivadas analíticas. Los puntos con campo o derivadas indefinidos se omiten.

Ejemplo de deconvolución de Euler:

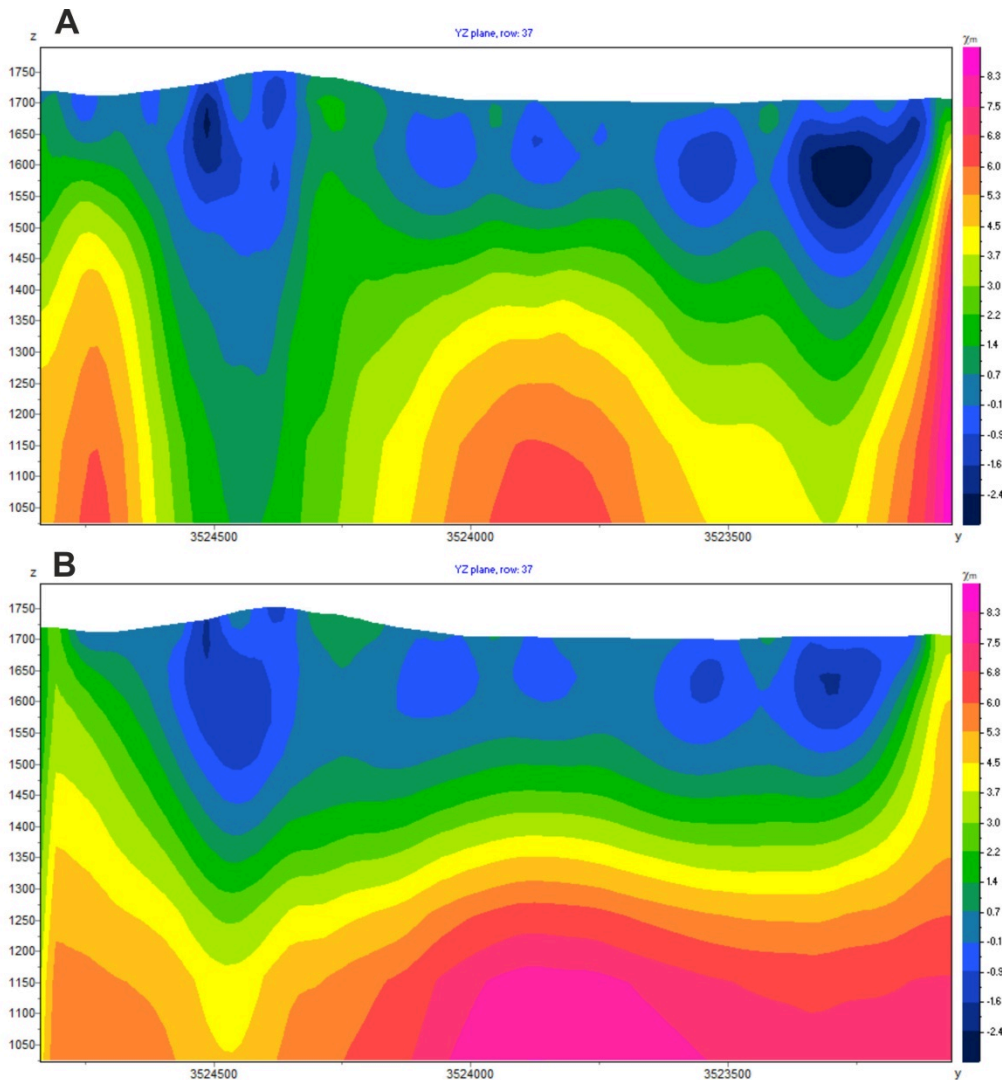


Ejemplo de deconvolución de Euler

Recomendaciones. Elija un radio de 2-4 espaciados medios. Para datos magnéticos empiece con $N = 3$ (cuerpos compactos) y $N = 1$ (contactos); para gravimétricos con $N = 2$ y $N = 1$. Las soluciones agrupadas con error pequeño indican una fuente fiable; descarte las dispersas con error grande mediante **Display with error**.

Transformación rápida del campo en sección

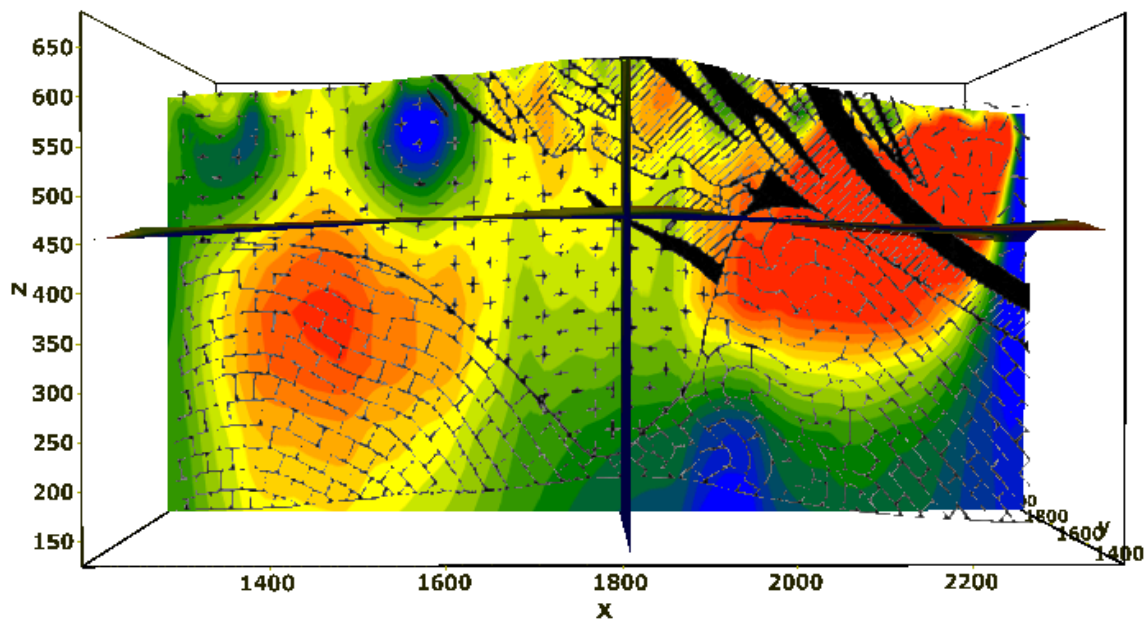
Este algoritmo, basado en el criterio de máxima verosimilitud, obtiene rápidamente secciones de densidad y magnéticas sin ajustes adicionales. Se inicia con el botón ⚡ de la barra principal.



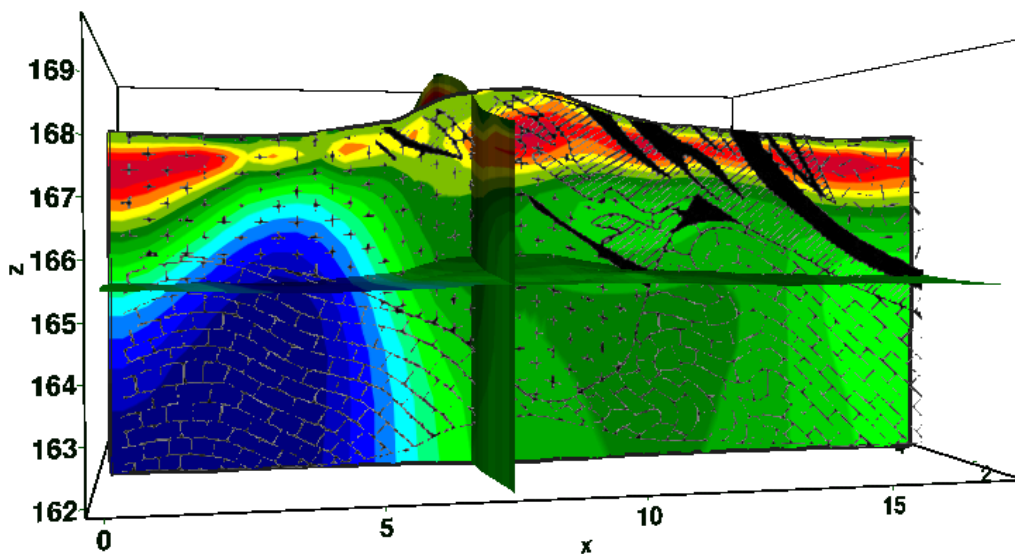
36. Comparación de la sección tras la inversión (A) y tras la transformación rápida (B) # Información a priori

Fondos gráficos para modelos 2D y 3D

Las formas más eficaces de mejorar la interpretación son la integración de métodos geofísicos y el uso de información a priori. Con **Options / Import/Export** pueden cargarse modelos de otros programas **Zond** e imágenes como fondo de la sección (p. ej. una sección geológica o sísmica) (figura).



37. Ejemplo de «Background 2D»

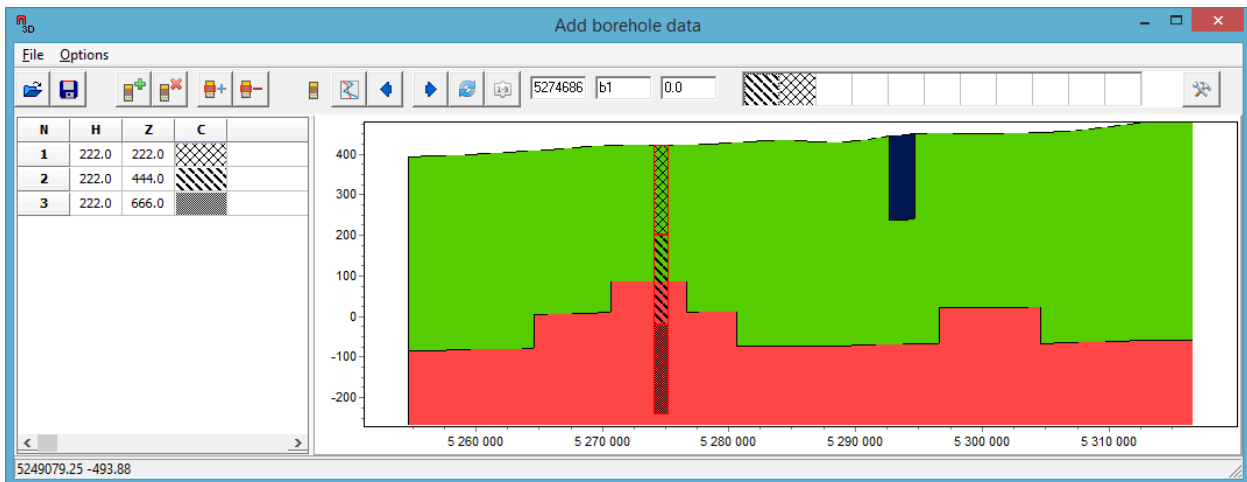


38. Ejemplo de «Background 3D»

Para comparar métodos también son útiles **Import mod2d's** e **Import mod3d**, que cargan modelos guardados en otros programas **Zond** (MOD3D y MOD2D) en el modelo actual.

Creación de datos de sondeos

Los registros y la litología se añaden y editan en **Options / Borehole / Create / Edit borehole data** (figura). El módulo crea, edita y muestra columnas litológicas y registros a lo largo del perfil.



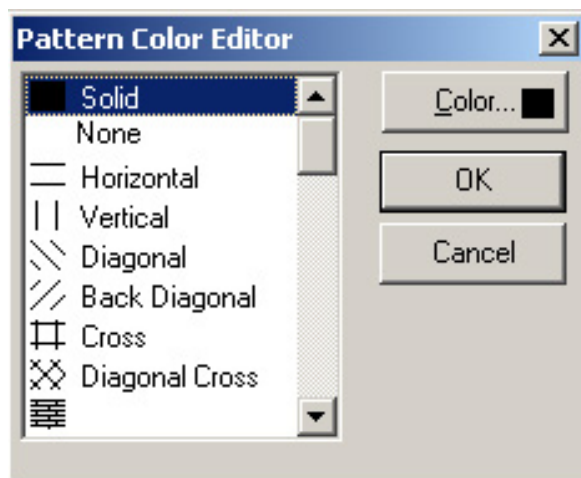
39. Módulo de **datos de registros y litología**

Botones de la barra:

-  — Abrir archivo de litología
-  — Guardar archivo de litología
-  — Nuevo sondeo
-  — Eliminar sondeo
-  — Añadir capa
-  — Eliminar capa
-  — Modo columnas litológicas
-  — Modo registros
-  — Sondeo anterior
-  — Sondeo siguiente
-  — Actualizar la ventana de dibujo
-  — Ordenar sondeos por coordenada
- — Coordenada horizontal (a lo largo del perfil)
- — Etiqueta del sondeo (hasta 5 caracteres)
- — Inclinación del sondeo en el plano XZ
-  — Opciones adicionales

A la izquierda está la **ventana de datos** con columnas: **N** - número de capa, **H** - espesor en metros, **Z** - profundidad del muro en kilómetros, **C** - tipo de relleno. A la derecha se muestran los datos gráficamente.

Para crear un archivo de litología pulse ; aparece una tabla nueva. Fije el número de capas con , introduzca espesores o profundidades y elija el relleno. El diálogo **Pattern Color Editor** se abre con doble clic en la columna **C** (fig. 40); el color se elige en **Color**.



40. Editor de relleno

Tras introducir los datos pulse ; el sondeo aparece en la ventana gráfica. Fije sus coordenadas horizontal y vertical en kilómetros en la barra. El sondeo activo se muestra en rojo.

Para muchos sondeos puede crearse una paleta: elija el relleno en la columna de rellenos y haga clic derecho en el área de rellenos del panel principal. La paleta se guarda con  - **Save default palette** y se carga con **Load default palette**.

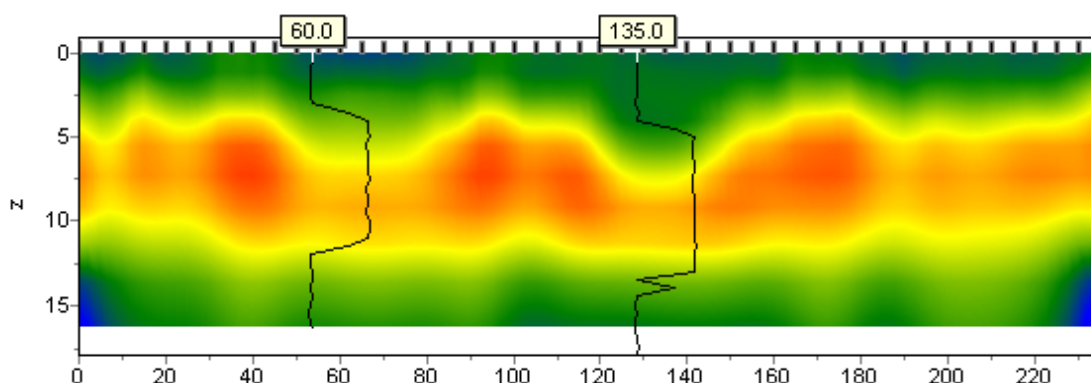
Set borehole width (botón ) fija el ancho de los sondeos en porcentaje de la longitud del perfil.

Al guardar se crean: *.crt - proyecto del módulo, que puede cargarse en **ZondGM3D**, y un *.txt por sondeo, con nombre según sus coordenadas.

Los registros se cargan con , en formatos *.txt y *.las.

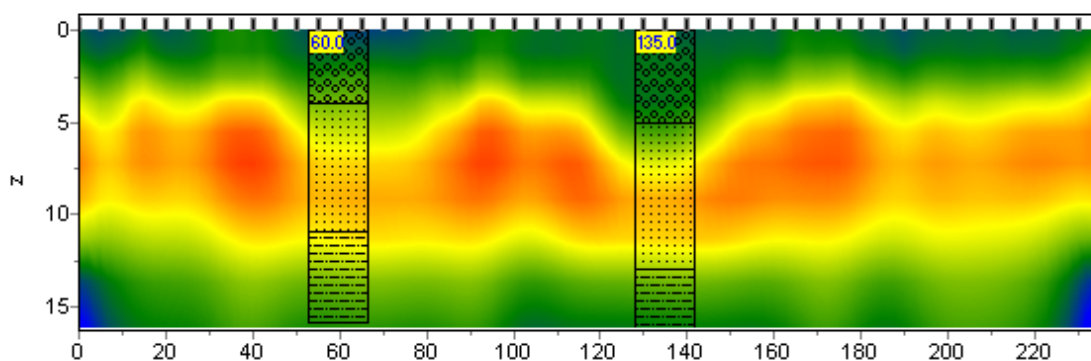
Estructura del *.txt: columna 1 - profundidad desde la superficie, columna 2 - medición, columnas 3 y 4 - ceros; separador TAB.

Ejemplo de registros mostrados como curvas en la sección:



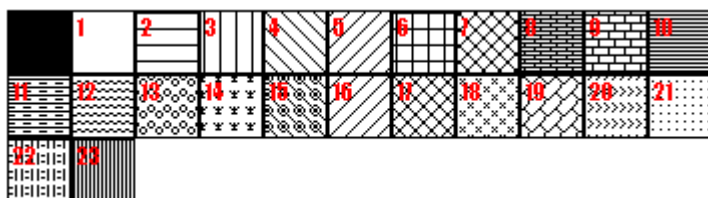
41. Modelo con **registros**

Archivo de litología: columna 1 – profundidad del horizonte, columna 2 – ceros, columna 3 – color de la capa, columna 4 – tipo de trama; separador espacio. Ejemplo:

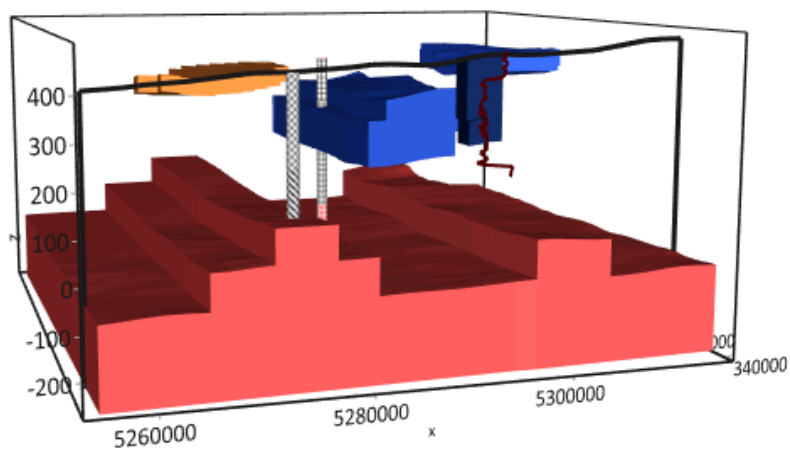


42. Modelo con columnas litológicas

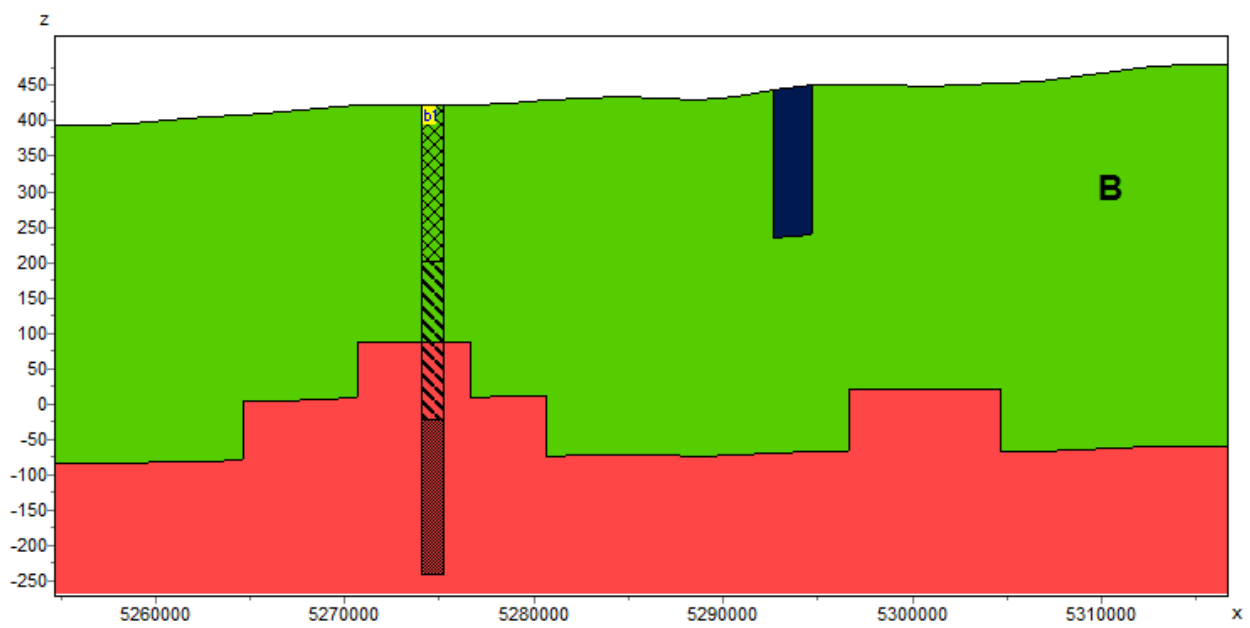
Las primeras 23 tramas disponibles:



43. Variantes de trama de la columna litológica



A



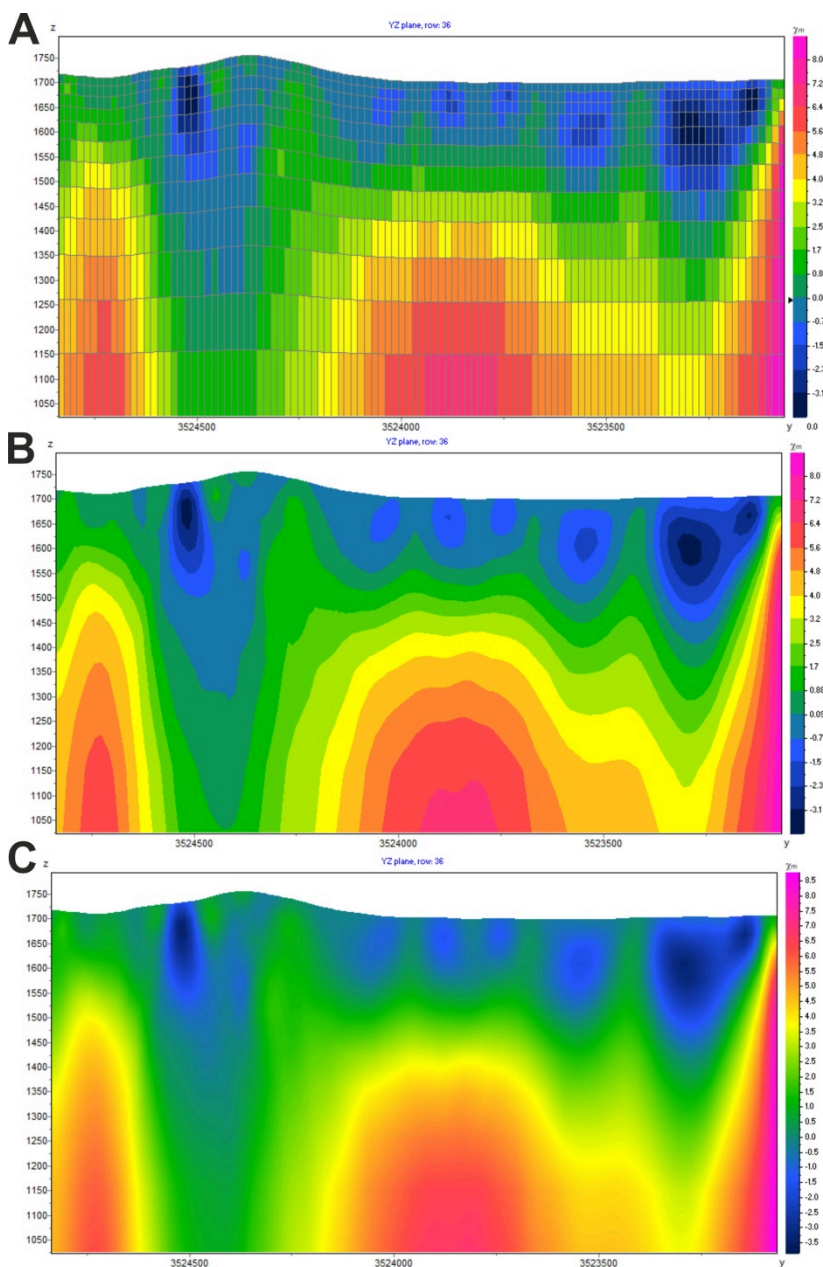
B

44. Información de sondeos en el modelo 3D (A) y en un corte (B).

Resultados de la interpretación

Modos de visualización del corte

Un corte puede mostrarse como celdas (**Options / Model / Block-section**) o en paleta suave interpolada (**Options / Model / Smooth-section**) (figura).



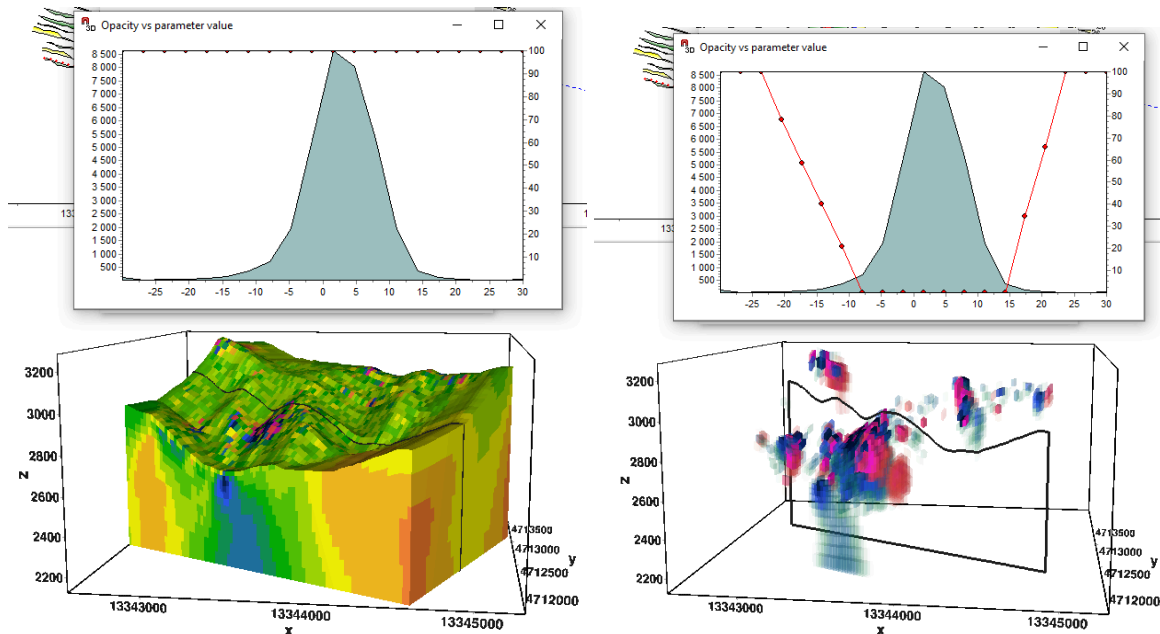
45. Variantes: Block-section (A), Smooth-section como isolíneas (B) y como paleta suave (C)

Para la paleta suave active **Continuous** en la pestaña **Colors** del diálogo **Model setup**.

Modos de visualización del modelo 3D

El modelo 3D muestra el resultado en tres dimensiones. La rueda controla la escala y el botón izquierdo gira el modelo. El clic derecho abre el diálogo **3D Options**.

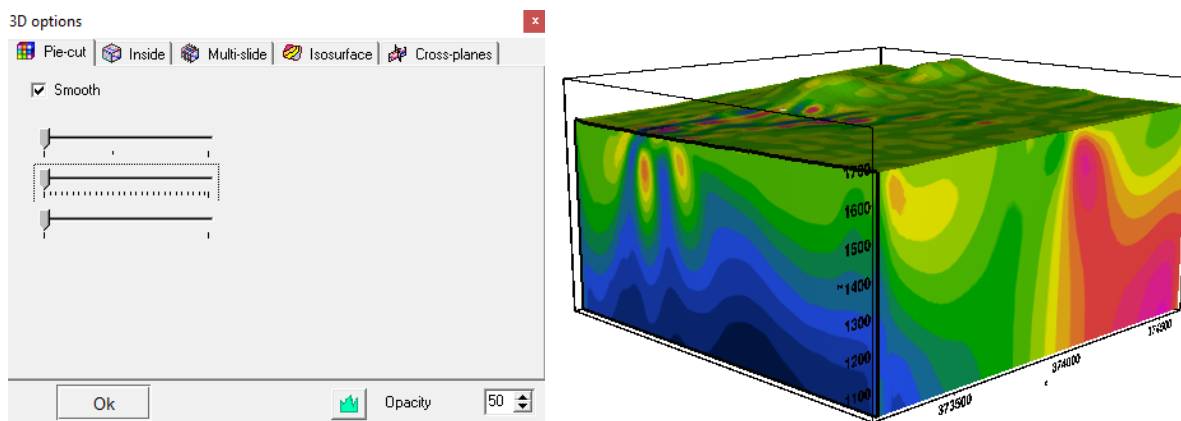
El diálogo tiene cinco pestañas. Abajo, **Opacity** (0-100) fija la transparencia global; para ajustes más finos use  (figura).

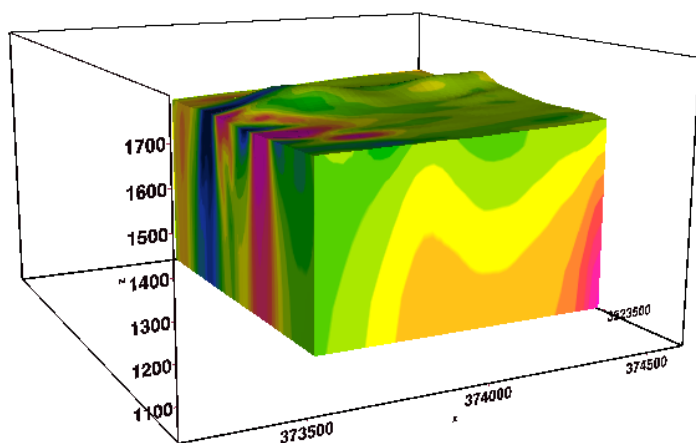


46. Diálogo «Opacity vs parameter value»

En «**Opacity vs parameter value**» el gráfico azul (relleno) es la distribución del parámetro y el rojo la opacidad en función del valor. El valor del medio encajante suele ser el máximo de la distribución; para mostrar solo los objetos anómalos, reduzca la opacidad de los valores cercanos a él. El perfil de opacidad se edita con el ratón.

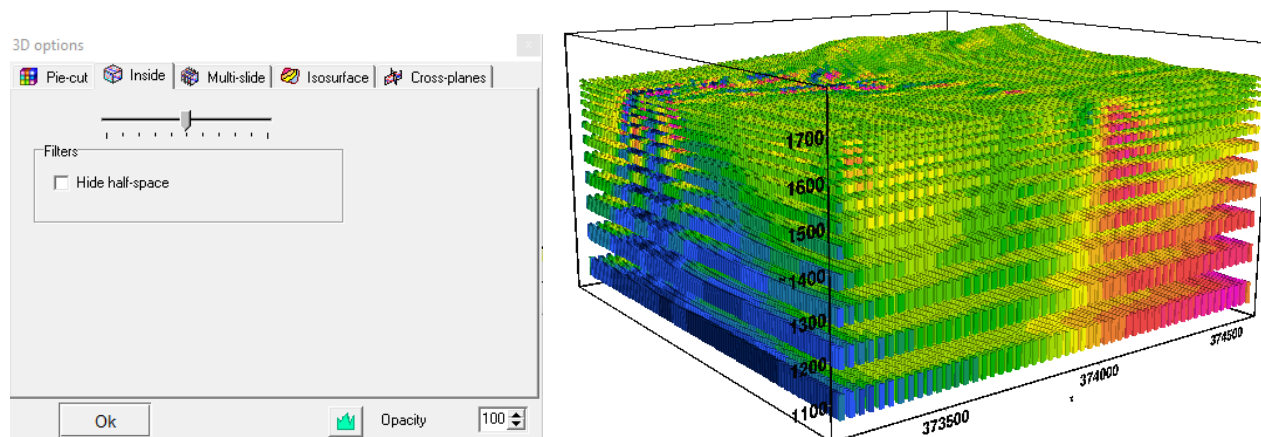
Pie-cut construye el modelo limitado por secciones elegidas por el usuario. **Smooth** activa el coloreado interpolado; tres deslizadores fijan los límites del recorte.





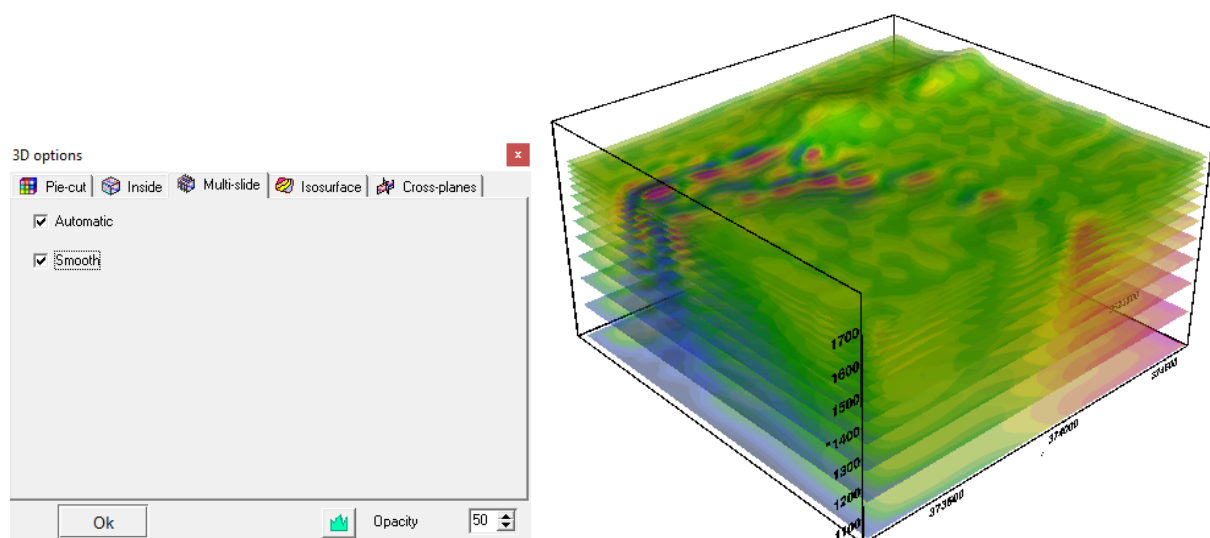
47. Pestaña Pie-cut (A) y vistas del modelo (B, C)

Inside construye el modelo en bloques; la transparencia se controla con **Opacity** y el deslizador superior fija el tamaño relativo de celda (0-100%). **Hide half-space** oculta los bloques con el valor del semiespacio (útil en modelización).



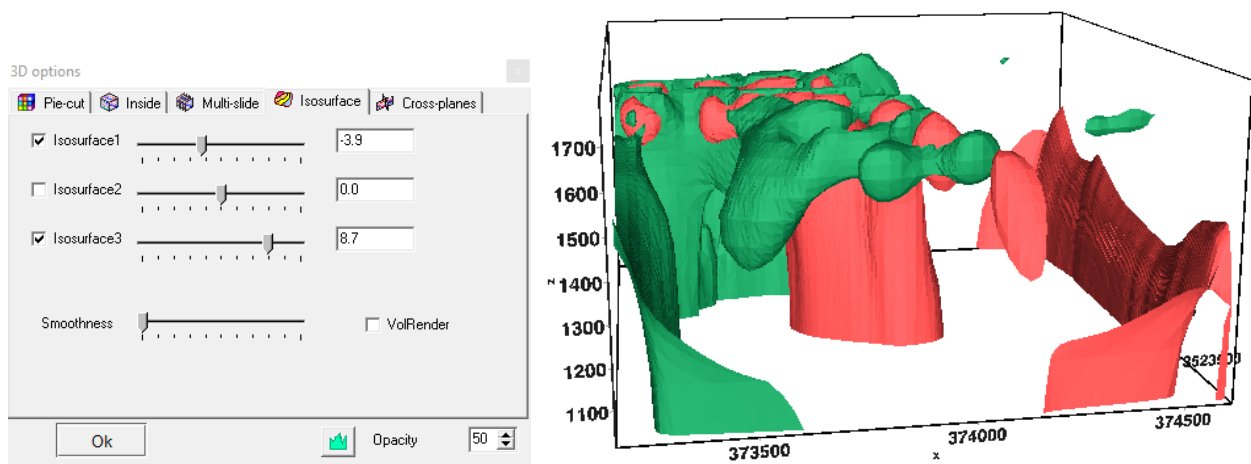
48. Pestaña Inside (A) y vista del modelo (B)

Multi-slide muestra una pila de cortes semitransparentes en una dirección. **Smooth** - coloreado interpolado; **Automatic** - dirección elegida según el ángulo de vista.



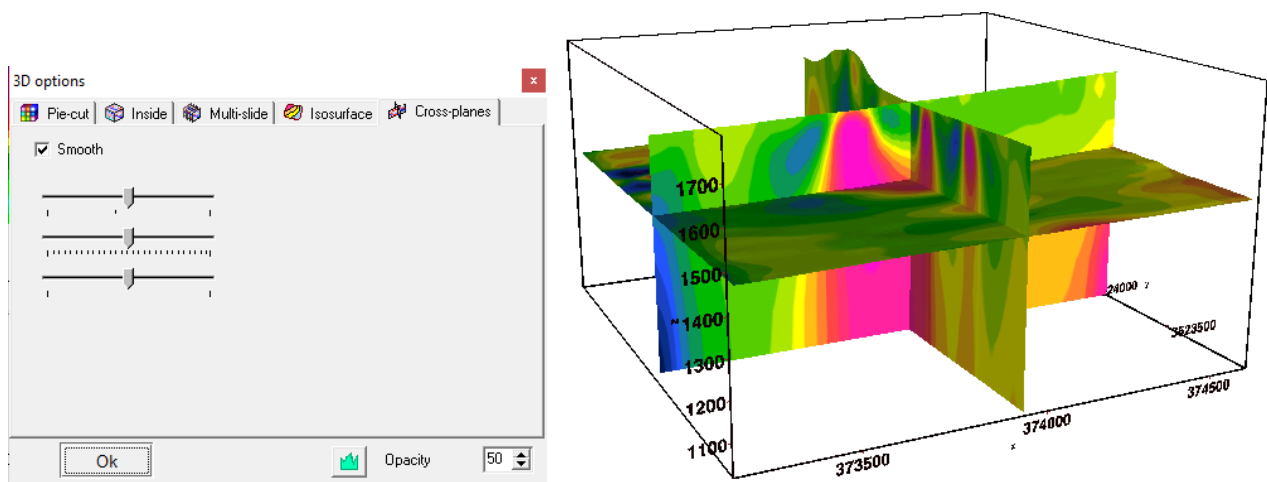
49. Pestaña Multi-slide (A) y vista del modelo (B)

Isosurface muestra isosuperficies 3D; tres deslizadores fijan sus valores y **Smoothness** su suavidad. **VolRender** muestra una niebla semitransparente coloreada según el modelo.



50. Pestaña Isosurface (A) y vista del modelo (B)

Cross-planes muestra tres planos semitransparentes que se cortan; **Smooth** - coloreado interpolado; tres deslizadores fijan sus posiciones.



51. Pestaña Cross-planes (A) y vista del modelo (B)

Varios modelos en un proyecto

Buffer/Open permite comparar modelos obtenidos con distintos parámetros, con paleta y escalas comunes.

Para guardar el modelo actual en el búfer pulse uno de sus botones e introduzca un nombre, que aparecerá en el botón y como título.

Buffer / Open muestra todos los modelos del búfer en una ventana para el corte seleccionado.

Tras crear un modelo, puede borrarse el actual y crear el siguiente.

Si la celda del búfer no está vacía, el programa pregunta si abrir ese modelo (**From Buffer**) o sobrescribirlo (**To buffer**).

Only current carga en el búfer solo el modelo del parámetro actual.

Guardar resultados

El proyecto se guarda en un archivo binario **ZondGM3D** (*.gm3) con datos observados y calculados, pesos, el modelo actual y mucho más.

Para guardar pulse  o **File / Save file**.

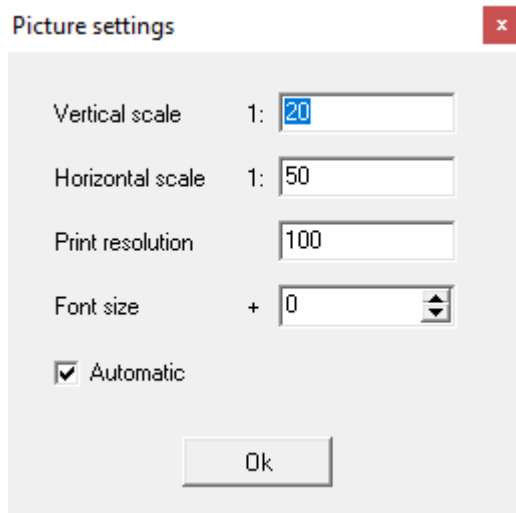
Opciones:

- **Project file [*.gm3]** — Proyecto con datos observados, modelos y ajustes.
- **Project with calculated data [*.gm3]** — Proyecto con los valores observados sustituidos por los calculados; útil para probar la inversión.
- **Observed [*.gm3]** — Valores observados en un gm3 de texto.
- **Calculated data [*.gm3]** — Valores calculados en un gm3 de texto.
- **XYZV [*.dat]** — Modelo como texto para visualización 3D en otros programas.
- **XYZ [*.dat]** — Corte actual como texto para mallado y visualización 2D en otros programas.

Diálogos de ajustes gráficos

Ajustes de exportación del corte

Output settings fija **Vertical scale** y **Horizontal scale** (metros por centímetro), la resolución **Print resolution** (DPI) y **Font size**.

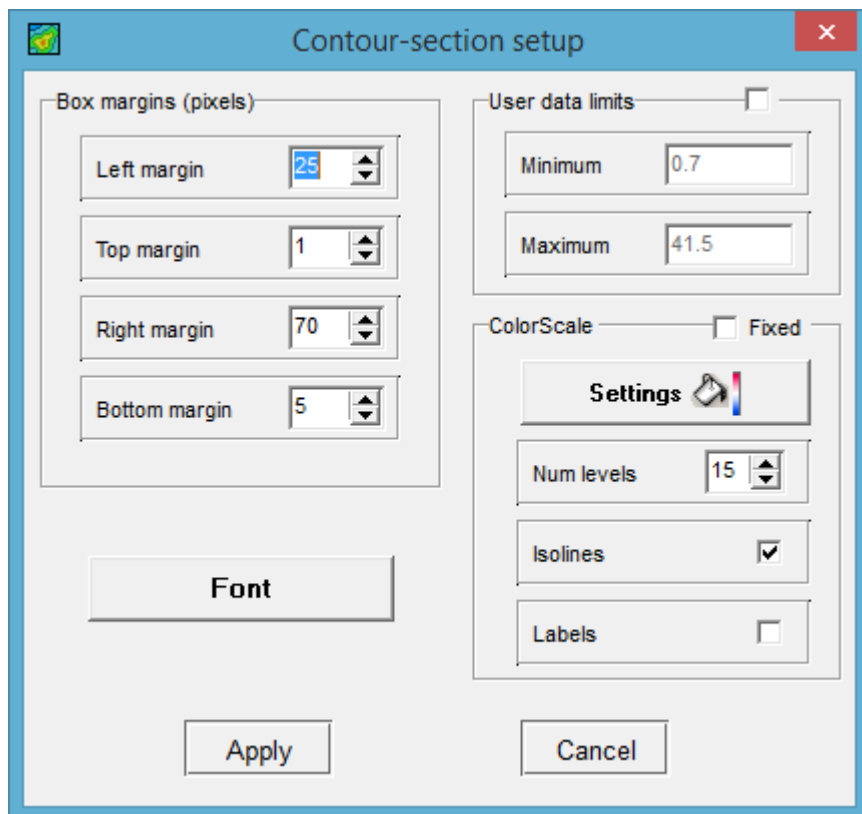


52. Diálogo Picture settings

Se aplican al corte guardado como BMP si **Automatic** está desactivado; si no, la imagen se guarda como en pantalla.

Ajustes del mapa de isolíneas

El diálogo se abre con **Setup** en el menú contextual del mapa.



53. Diálogo «Contour-section setup»

Área **Box margins**: **Left margin**, **Right margin**, **Top margin**, **Bottom margin** - márgenes de la imagen (píxeles) respecto a los bordes de la ventana.

User data limits - usar el mínimo y máximo de los datos o los valores de **Minimum** y **Maximum** para los niveles de isolíneas.

Área **ColorScale**: **Settings** - paleta de colores (figura):

3D Edit levels

#	C_color	L_color	Level	L_visible
1			-700.00	☒
2			-600.00	☒
3			-500.00	☒
4			-400.00	☒
5			-200.00	☒
6			-100.00	☒
7			0.00	☒
8			100.00	☒
9			200.00	☒
10			300.00	☒
11			400.00	☒
12			600.00	☒
13			700.00	☒
14			800.00	☒
15			900.00	☒

54. Diálogo «Settings»

Clic derecho en las cabeceras de la tabla: **C_color** – colores de la escala; **L_color** – colores de las marcas; **Level** – límites de la escala; **L_visible** – desactivar isolíneas desmarcando sus valores.

Las paletas pueden cargarse y guardarse en formato *.clr de Surfer.

Num levels – número de niveles (paso lineal o logarítmico según los datos). **Isolines** – dibujar isolíneas. **Labels** – etiquetas. **Font** – fuente de las etiquetas.

Editor de ejes

El editor de ejes se abre con clic derecho y SHIFT sobre el eje (figura).

3D Bottom axis edit

Scales Title Labels Ticks Minor Position

☒ Auto ☐ Inverted

Change... Increment: 0

☐ Logarithmic

LinLog options

Dec shift 1

☐ Min dec 0.01

☐ Rounded limits

Minimum Maximum

☒ Auto 1200

Change...

55. Editor del eje inferior

Aparece un menú con **options**, **default** y **fix range**: el primero abre el diálogo, el segundo restaura los valores por defecto.

Pestaña **Scales**: **Auto** – límites automáticos o dados en Minimum y Maximum; **Inverted** – orientación; **Increment change** – paso de marcas; **Logarithmic** – escala logarítmica o lineal (para ejes con cambio de signo, use **Lin Log options: Dec Shift** – desplazamiento en décadas desde el límite máximo hasta cero, la década previa al cero es lineal; **Min dec** – fijar la década mínima); **Rounded limits** – redondear límites; **Minimum/Maximum** – **Auto** o botón **Change**.

Pestaña **Title**: **Style** – **Title** (texto), **Angle** (ángulo), **Size** (desplazamiento, 0 = automático), **Visible**; **Text** – **Font**, **Outline**.

Pestaña **Labels**: **Style** – **Visible**, **Offset** (0 = automático), **Angle**, **Min separation%**; **Text** – **Font**, **Outline**.

Pestaña **Ticks**: **Axis** – línea del eje; **Grid** – rejilla de marcas principales; **Ticks** – marcas exteriores (**Len** – longitud); **Inner** – marcas interiores; **At labels only** – solo donde hay etiquetas.

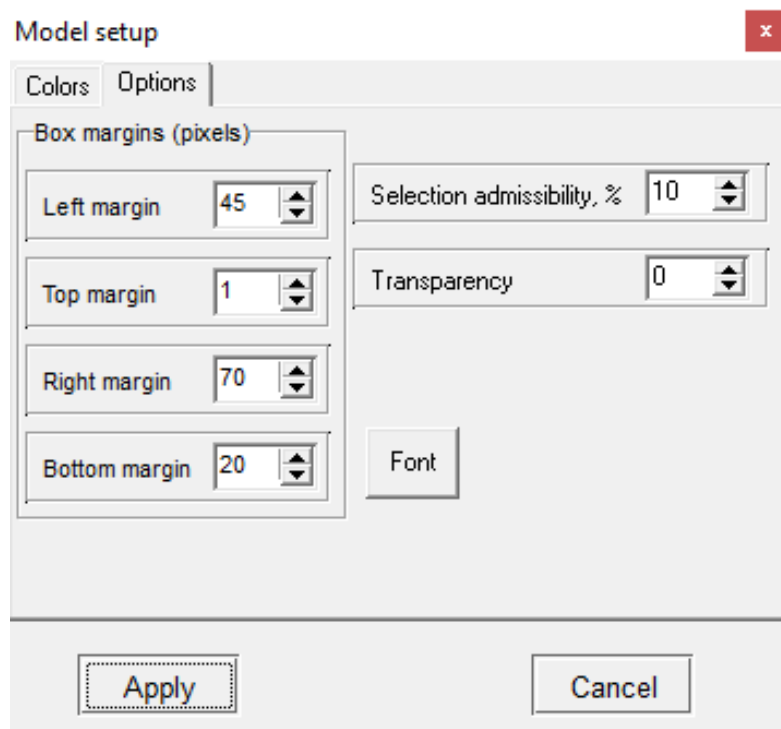
Pestaña **Minor**: **Grid**, **Ticks (Length)**, **Count** – número de marcas secundarias entre principales.

Pestaña **Position**: **Position%** – desplazamiento del eje; **Start%**, **End%** – desplazamiento del inicio y fin del eje (porcentaje del gráfico).

Ajustes de visualización del modelo

Se abre con **Setup** en el menú contextual de la parte superior del modelo.

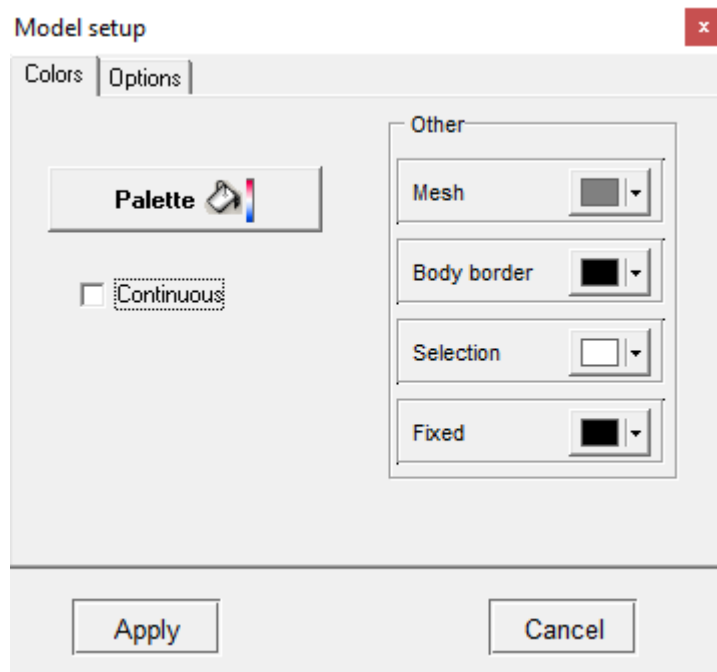
Pestaña **Options** (figura)



56. Diálogo «Model setup», pestaña «Options»

Box margins – márgenes; **Selection admissibility, %** – diferencia admisible entre celdas adyacentes para seleccionarlas juntas (MagicWand); **Transparency** – transparencia; **Font** – fuente.

Pestaña **Colors** (figura).



57. Diálogo «Model setup», pestaña «Colors»

Palette – paleta de colores (figura).

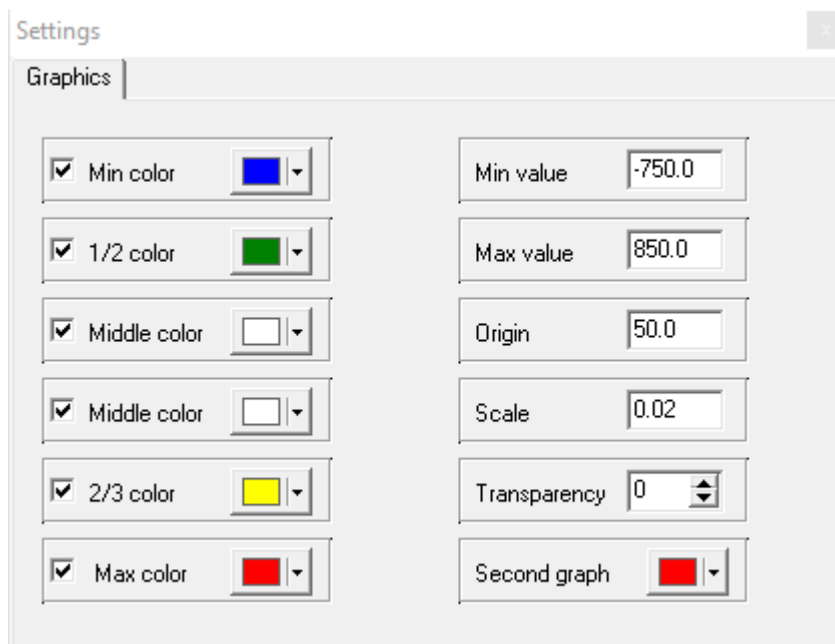


58. Diálogo «Model setup», botón «Palette»

La paleta puede editarse, cargarse y guardarse en *.clr de Surfer. *Continues* – paleta continua o por tramos. Área **Other**: **Body border** – color del límite entre celdas; **Mesh** – color de la malla; **Selection** – marca de celda seleccionada; **Fixed** – marca de celda fija.

Ajustes del mapa de gráficos y de puntos

Se abre con **Setup** en el menú contextual del mapa de gráficos (figura).

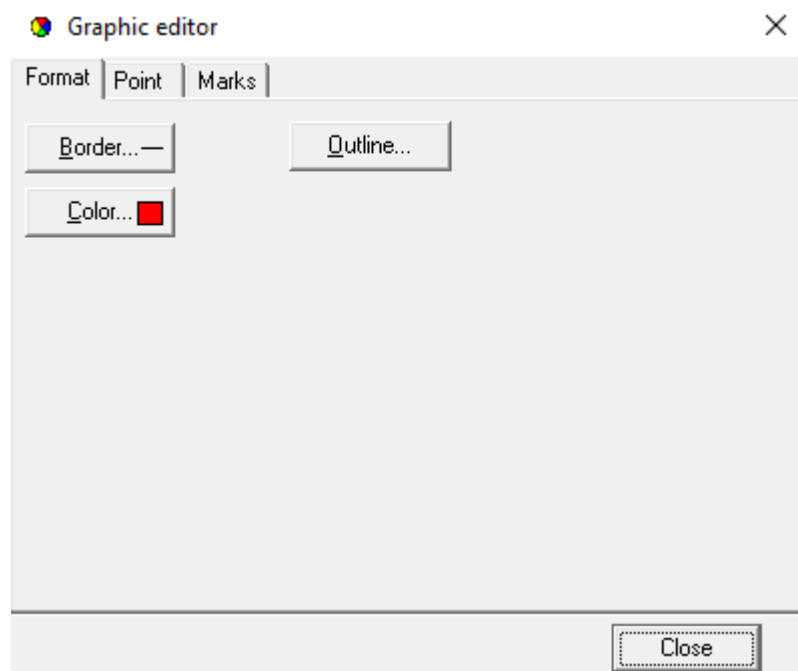


59. Diálogo del conjunto de gráficos

Min color, **1/2 color**, **Middle color**, **2/3 color**, **Max color** – paleta de relleno; **Min value**, **Max value**, **Origin** – valores mínimo, máximo y medio; **Scale** – escala; **Transparency** – transparencia; **Second graph** – color de las curvas teóricas.

Editor de gráficos

Ajusta el aspecto de una curva (figura); se abre con el botón derecho y **Shift** mediante **Options** con el cursor sobre la curva.



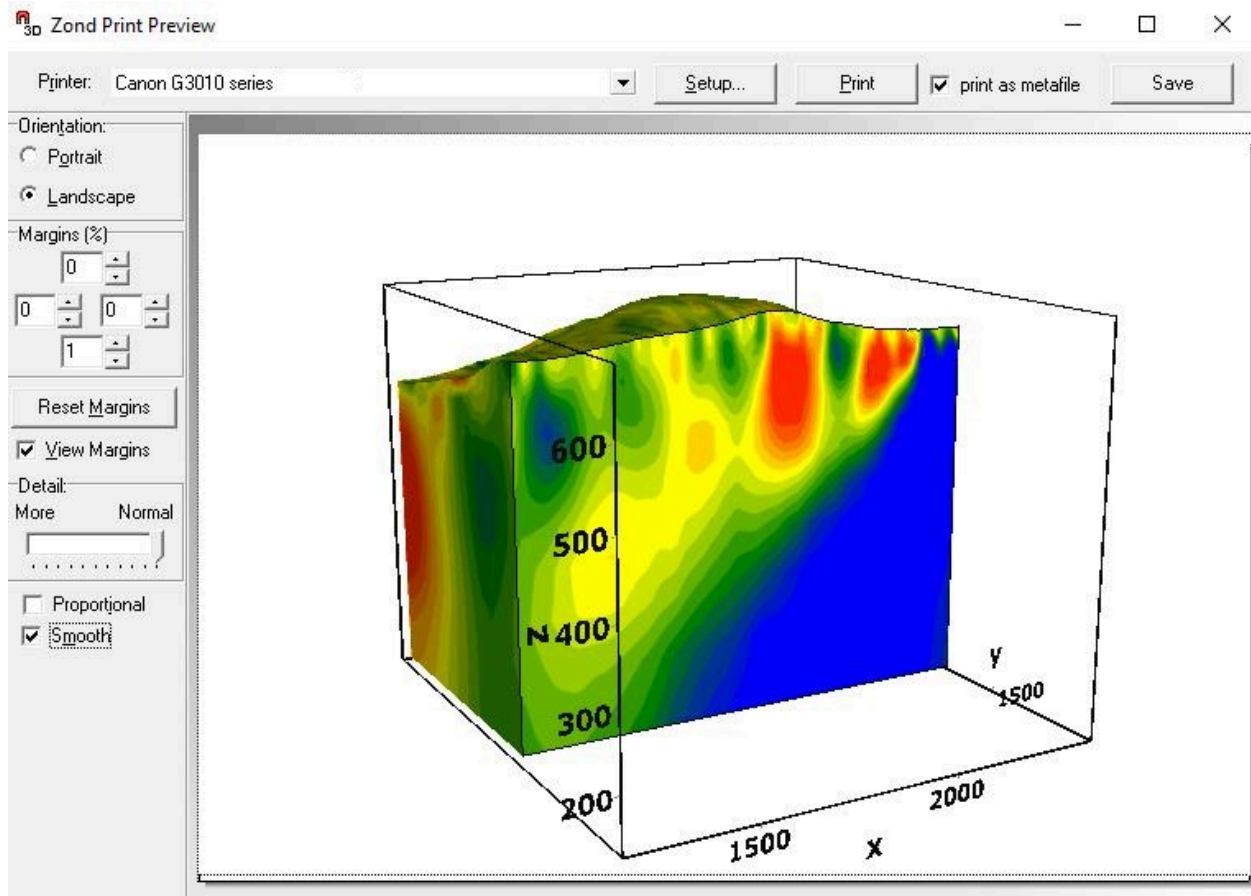
60. Diálogo de ajustes del gráfico

Pestaña **Format**: **Border**, **Color**, **Outline** de las líneas. Pestaña **Point**: **Visible**, **Error gates** (intervalos de confianza), **Style**, **Width**, **Height**, **Pattern**, **Border** de los marcadores.

Pestaña **Marks**: **Style** – **Visible**, **Draw every**, **Angle**, **Clipped**; **Arrows** – **Border**, **Length**, **Distance**; **Format** – **Color**, **Frame**, **Round Frame**, **Transparent**; **Text** – **Font**, **Outline**.

Vista previa de impresión

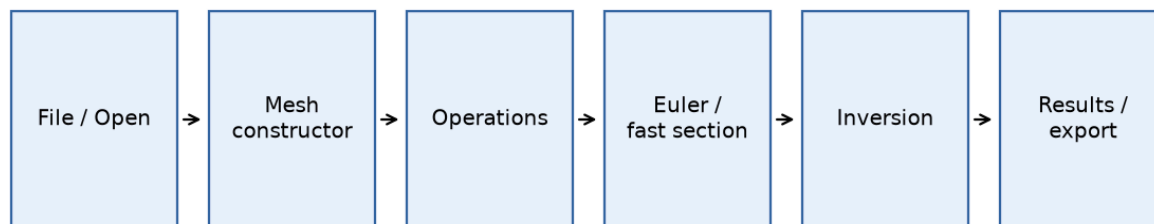
Se abre con **File / Print preview** o con doble clic sobre cualquier objeto; desde el menú contextual de un objeto se imprime solo ese objeto (figura).



61. Diálogo «Print preview»

El objeto se mueve en la hoja con el botón izquierdo. Botones: **Printer** – elección de impresora; **Setup...** – configuración de página; **Print** – imprimir; ☒ **print as metafile** – imprimir o guardar en vectorial; **Save** – guardar como bitmap o png.

Algoritmos de procesamiento y rendimiento



Flujo de trabajo típico: carga de datos, construcción de la malla, transformaciones del campo, deconvolución de Euler o transformación rápida, inversión, guardado y exportación

Lectura de datos. Los archivos se leen línea a línea; los vectores crecen geométricamente (no en una cantidad fija), por lo que el tiempo de lectura es lineal en el número de puntos.

Puntos coincidentes. En la capa equivalente, el suavizado y las derivadas, los puntos coincidentes (tolerancia 1 mm, 0,1 mm o 0,1 m según la operación) se detectan con una rejilla espacial en tiempo lineal y se cuentan una vez.

Multihilo. El ajuste de la capa equivalente, su campo y derivadas, el suavizado, la evaluación de variantes de malla y la interpolación de la topografía usan todos los núcleos.

Tiempos aproximados (2 hilos, levantamiento irregular):

- capa equivalente con profundidad automática: 3000 puntos — unos 9 s, 20000 puntos — unos 23 s;
- campo, derivadas y RTP desde una capa calculada: 0,05 s y 0,6 s;
- deconvolución de Euler con ventana automática en todos los puntos: 0,8 s y 13 s;
- suavizado y derivadas horizontales para 20000 puntos: menos de 0,1 s.

Con más núcleos el tiempo disminuye proporcionalmente.

Precisión (prueba sintética: 4 fuentes a 60-120 m, levantamiento irregular con espaciado medio de 7-18 m, topografía ± 8 m): error de ajuste de la capa inferior al 1%, error de las derivadas 4-10%, error de RTP 2-4%, posición de la fuente por Euler con precisión de 1 m.

Bibliografía

1. Bijendra, S. and D. Guptasarma. [2001] New method for fast computation of gravity and magnetic anomalies from arbitrary polyhedra. *Geophysics*, 66, 521-526.
2. Marquardt, D.W. [1963] An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters: *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, 11, 431-441.
3. Portniaguine, O.N. and Zhdanov M.S. [1999] Focusing geophysical inversion images. *Geophysics*. V. 64. P. 874-887.
4. Khmelevskoy, V.K. [1997] *Geophysical methods for studying the earth's crust*. Dubna.

Materiales adicionales

Videos en YouTube: https://www.youtube.com/channel/UCGtpRIIZkc9CsLfiuz4VvmQ?view_as=subscriber

Grupo de soporte en LinkedIn: <https://www.linkedin.com/groups/6667336/>

Proyectos de demostración Zond: ftp://zond-geo.com/ (Username: download@zond-geo.com, Password: 12345)

El programa no funciona con la llave USB:

- El controlador no está instalado o lo está incorrectamente. En algunos sistemas la llave se reconoce como dispositivo HID sin controlador; en otros debe instalarse: http://senselock.ru/files/senselock_windows_3.1.0.0.zip. En el Administrador de dispositivos debe aparecer como "Senselock Elite".
- Ha terminado el período de actualizaciones gratuitas: use la última versión que funcione o adquiera dos años más de actualizaciones.
- A veces, tras pasar la llave a modo HID, el sistema no la reconoce. Vuelva al modo USB con la aplicación <http://www.zond-geo.com/zfiles/raznoe/SenseSwitch.zip>; "senseswitch.exe" se ejecuta desde cmd: senseswitch.exe usb.