



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

Universidad Politécnica de Madrid

DISEÑO Y MODELIZACIÓN DE UNA EXPLOTACIÓN MINERA

Juan Herrera Herbert

Department of Mining and Underground Excavations.
Madrid School of Mines
Technical University of Madrid

Feb - 2017



ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.

Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Copyright © 2017. Todos los derechos reservados



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



The Mine Planning Workflow



Source: Verma



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Business Understanding

Determine Business Objectives
*Background
Business Objectives
Business Success
Criteria*

Situation Assessment
*Inventory of Resources
Requirements,
Assumptions, and
Constraints
Risks and Contingencies
Terminology
Costs and Benefits*

Determine Data Mining Goal
*Data Mining Goals
Data Mining Success
Criteria*

Produce Project Plan
*Project Plan
Initial Assessment of
Tools and Techniques*

Data Understanding

Collect Initial Data
*Initial Data Collection
Report*

Describe Data
Data Description Report

Explore Data
Data Exploration Report

Verify Data Quality
Data Quality Report

Data Preparation

*Data Set
Data Set Description*

Select Data
*Rationale for Inclusion /
Exclusion*

Clean Data
Data Cleaning Report

Construct Data
*Derived Attributes
Generated Records*

Integrate Data
Merged Data

Format Data
Reformatted Data

Modeling

Select Modeling Technique
*Modeling Technique
Modeling Assumptions*

Generate Test Design
Test Design

Build Model
*Parameter Settings
Models
Model Description*

Assess Model
*Model Assessment
Revised Parameter
Settings*

Evaluation

Evaluate Results
*Assessment of Data
Mining Results w.r.t.
Business Success
Criteria
Approved Models*

Review Process
Review of Process

Determine Next Steps
*List of Possible Actions
Decision*

Deployment

Plan Deployment
Deployment Plan

Plan Monitoring and Maintenance
*Monitoring and
Maintenance Plan*

Produce Final Report
*Final Report
Final Presentation*

Review Project
*Experience
Documentation*

DOCUMENT EVERYTHING!



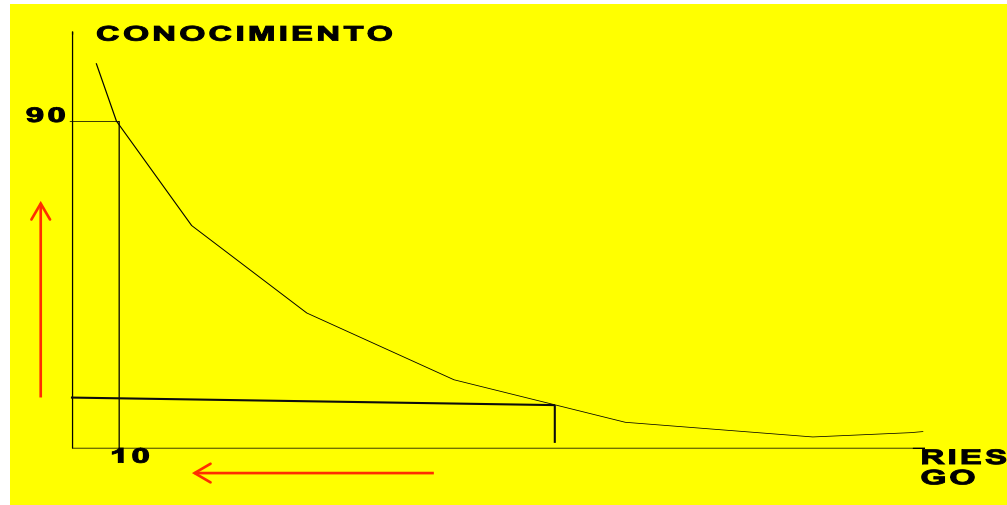
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid

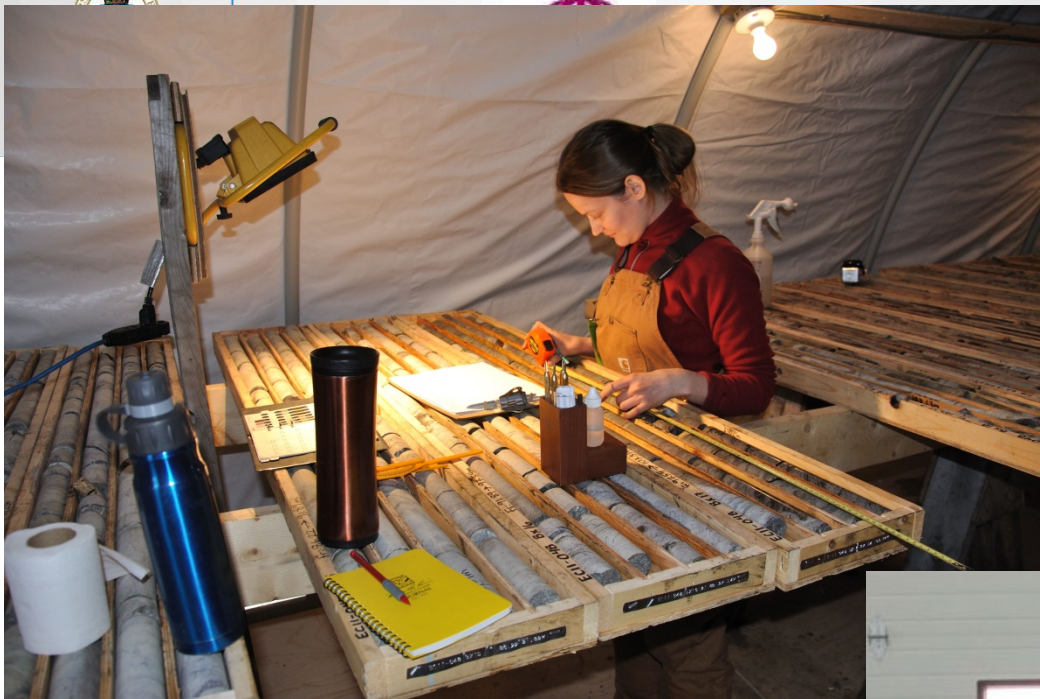


Logging

- La mayor parte de los yacimientos se investiga por medio de la perforación de sondeos con recuperación de testigo.
- Los testigos de cada sondeo proporcionan una "línea de información geológica".
- Cada uno de los testigos recuperados de un sondeo se estudia en detalle y en toda su extensión, registrándose toda la información posible en bases de datos diseñadas al efecto.
- Este proceso se denomina "logging" (testificación).









POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid

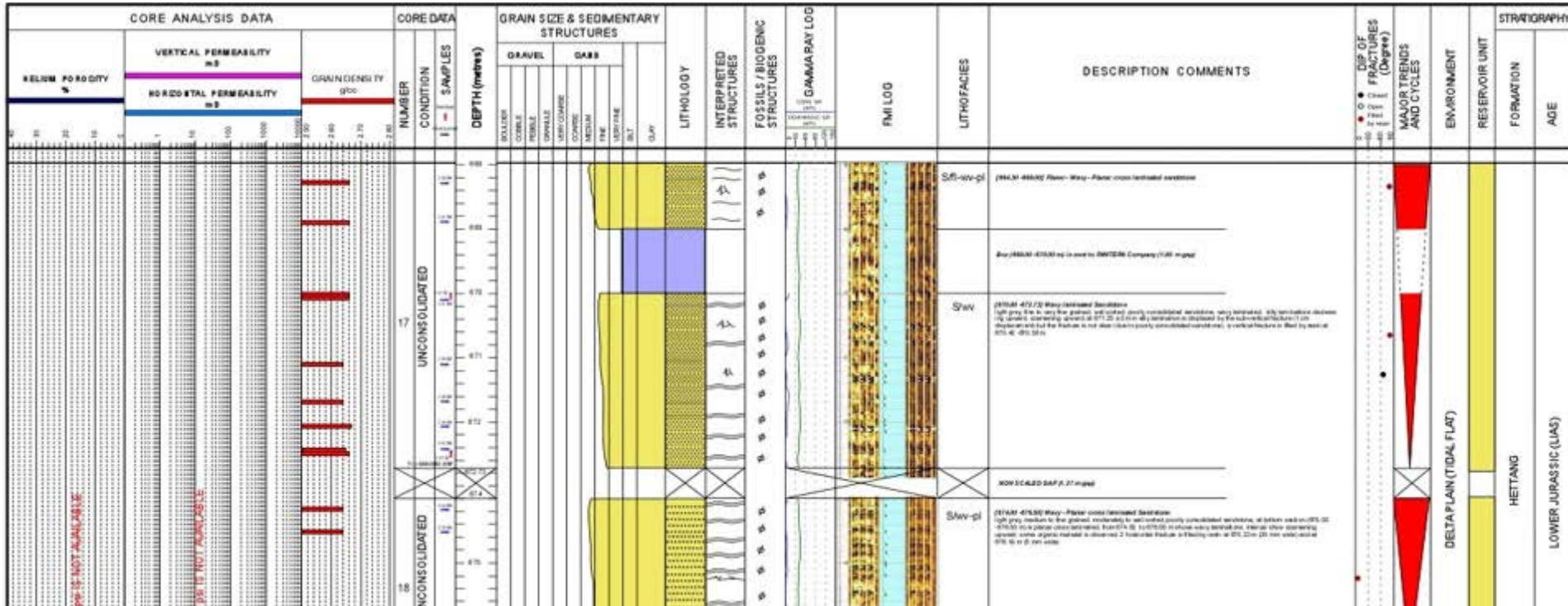


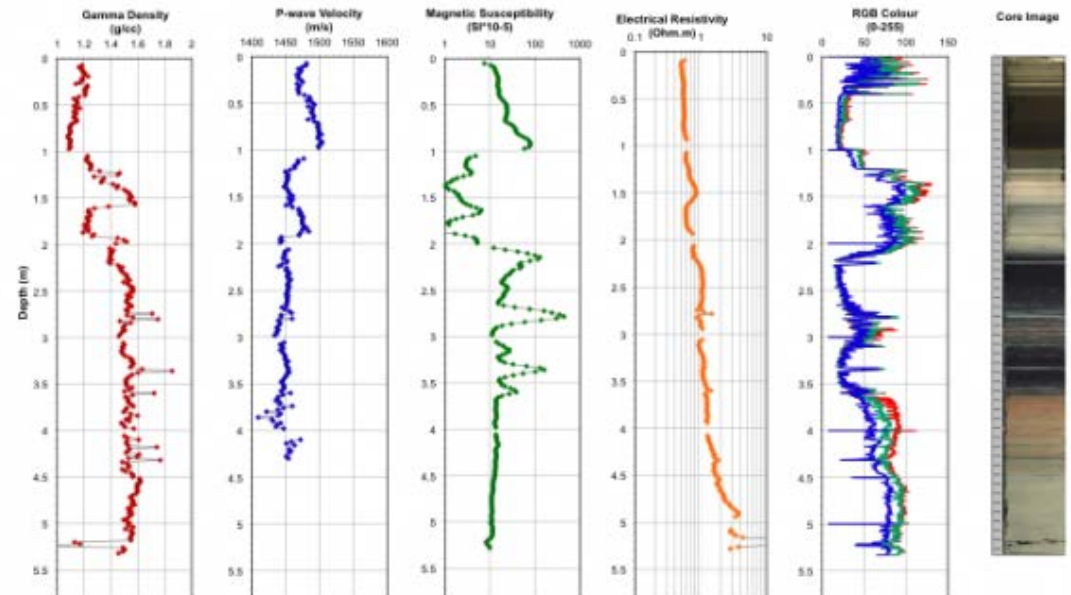
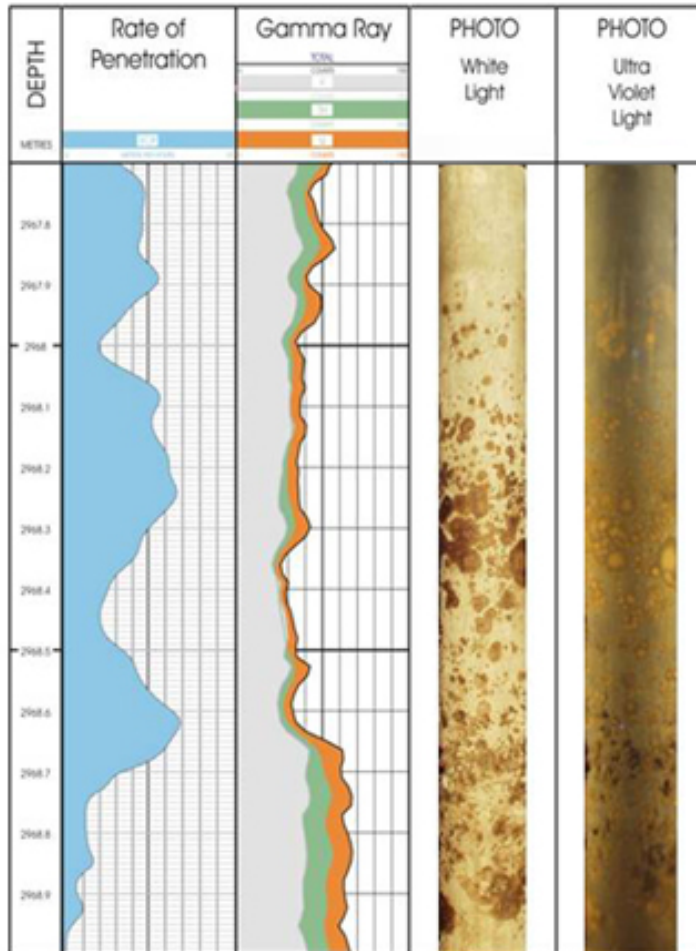


Field portable x-ray fluorescence (FPXRF)

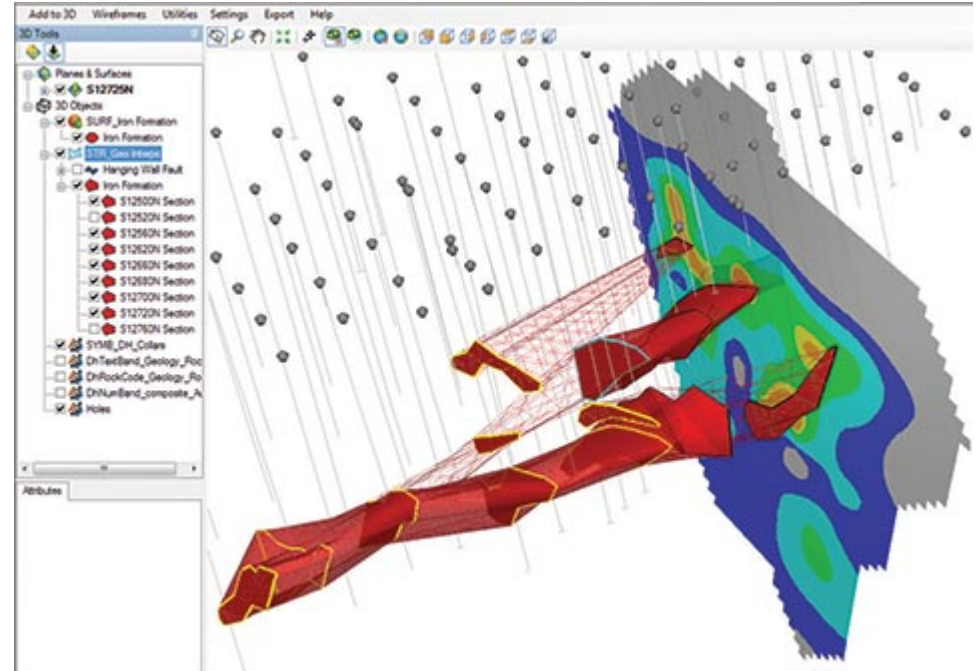
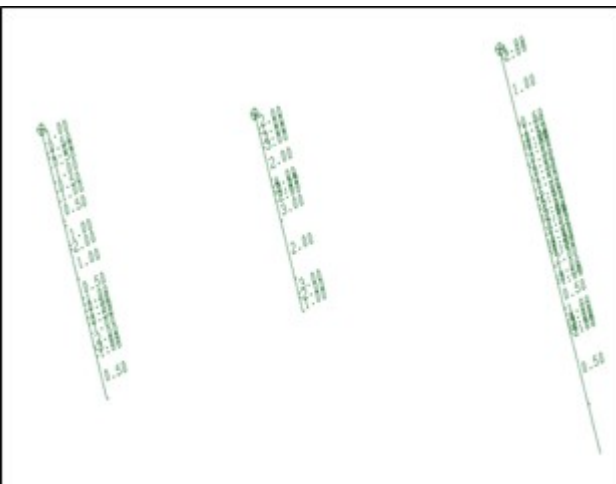
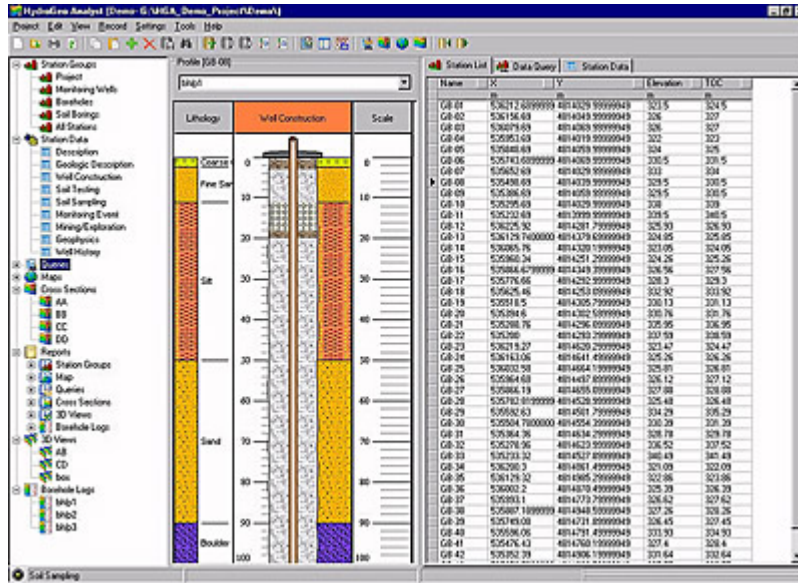


Core logging examples

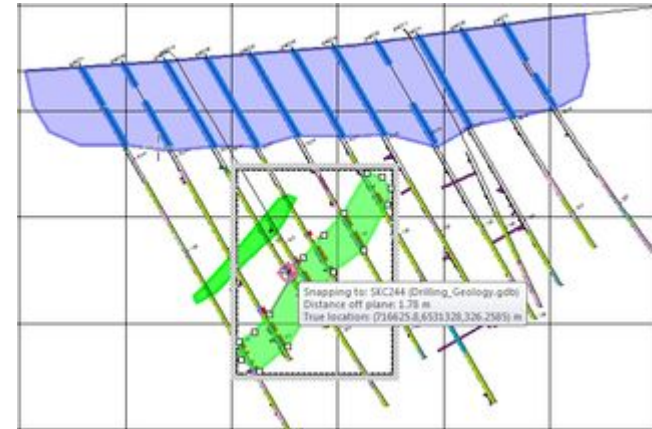
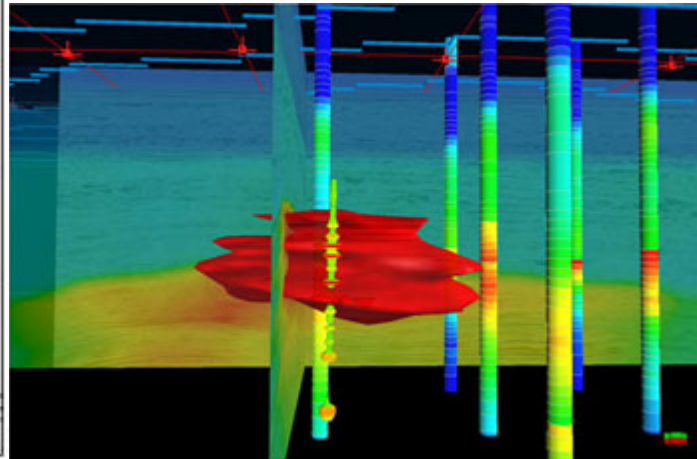


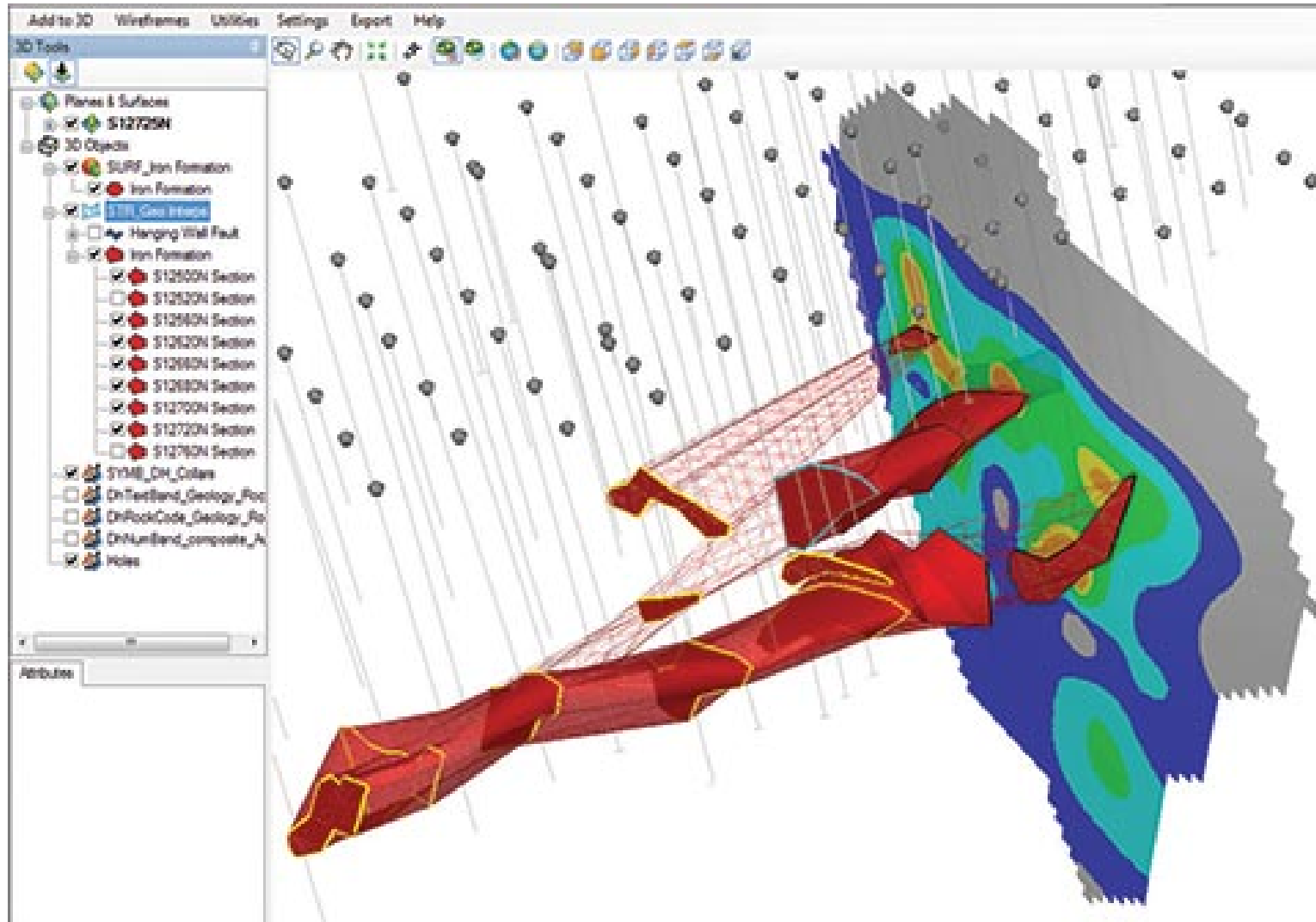


Transforming information for a drilling database



- Cada sondeo se transforma en una "línea" de datos e informaciones.
- Después, cada línea se subdivide en series de segmentos que representan un tipo de información: tipo de roca, carácter estructural, tipo de mineralización, leyes, etc.
- Tomando una serie de sondeos, se pueden correlacionar series de segmentos similares y referenciarlos en su posición real en el espacio.







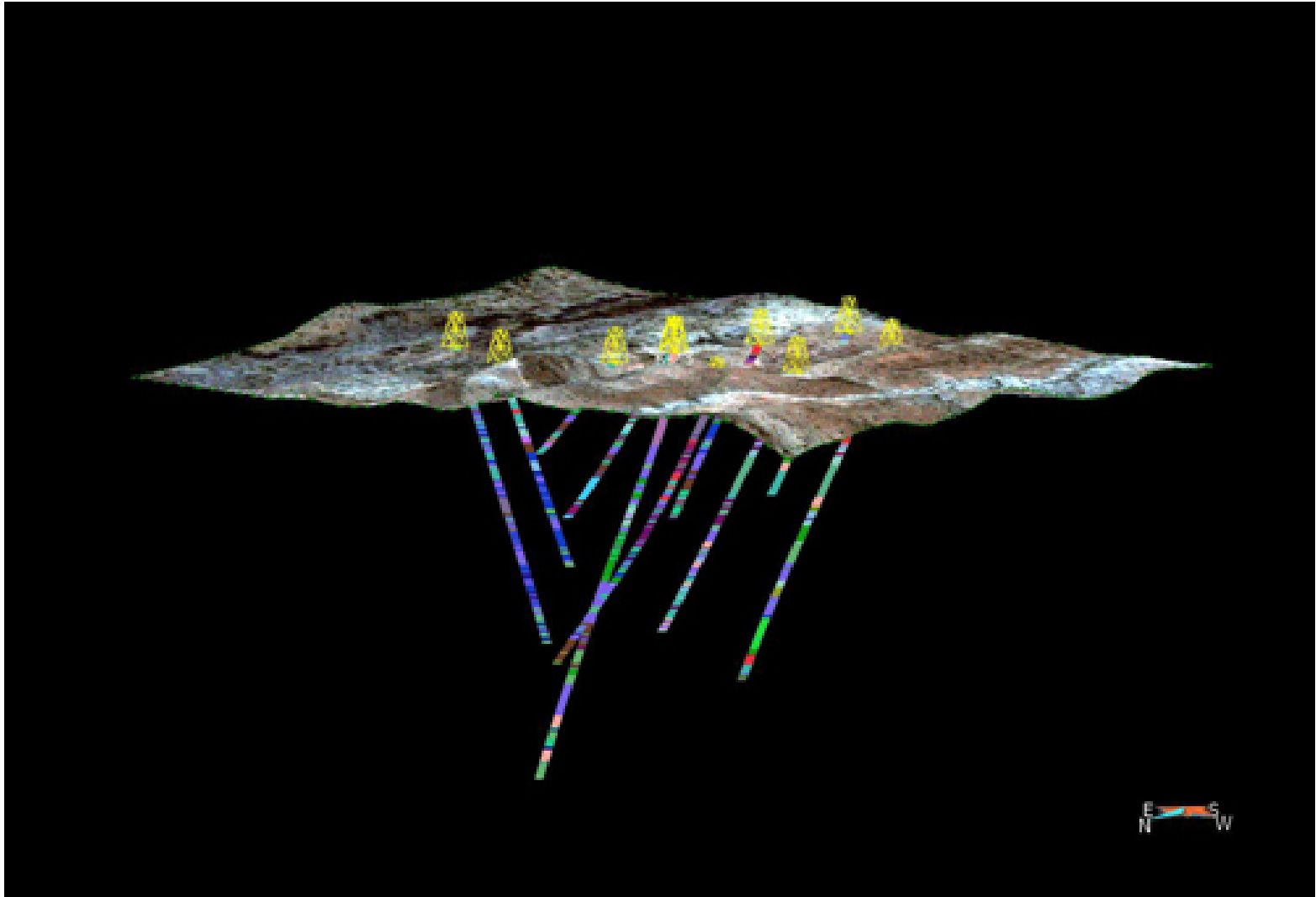
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid





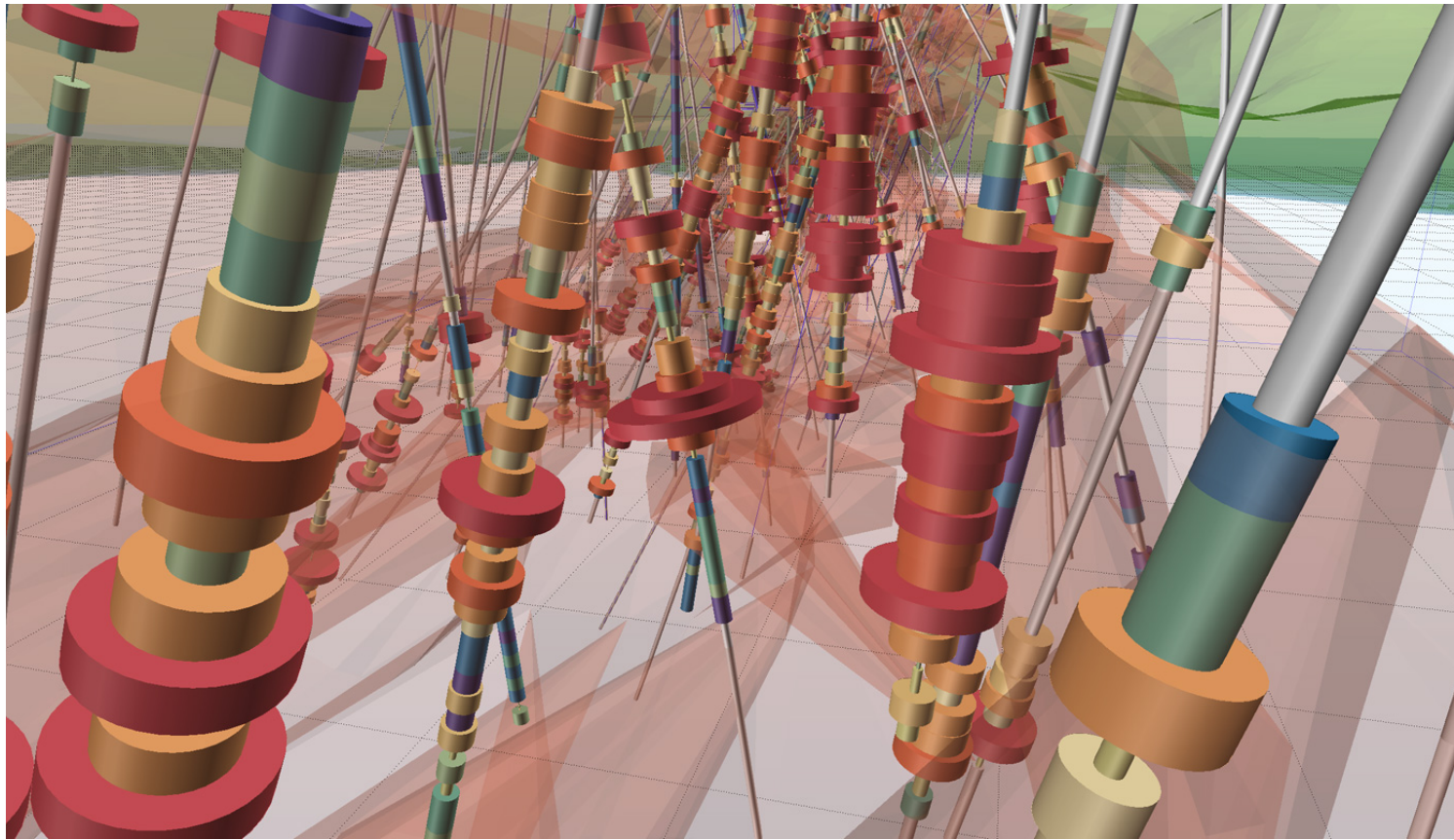
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



- Usando toda esta información recopilada, estructurada y ordenada, junto con el conocimiento de la geología de la zona de estudio y sus características, así como otros factores, el geólogo minero empieza a construir una representación tridimensional del cuerpo mineralizado.
- **El objetivo es cuantificar, con tanto detalle como sea posible en cada momento, el tamaño, la forma y la distribución del cuerpo mineralizado además de sus características geológicas: fallas, pliegues, etc.**
- A continuación se correlaciona la distribución de leyes con la litología, tipos de alteraciones, estructura, distribución espacial, etc.
- El resultado final es un inventario mineral o reserva geológica.
- Sin embargo, en ésta etapa del estudio los aspectos económicos no han sido todavía considerados, por lo que los términos "ore" y "ore reserve" no son abordables.



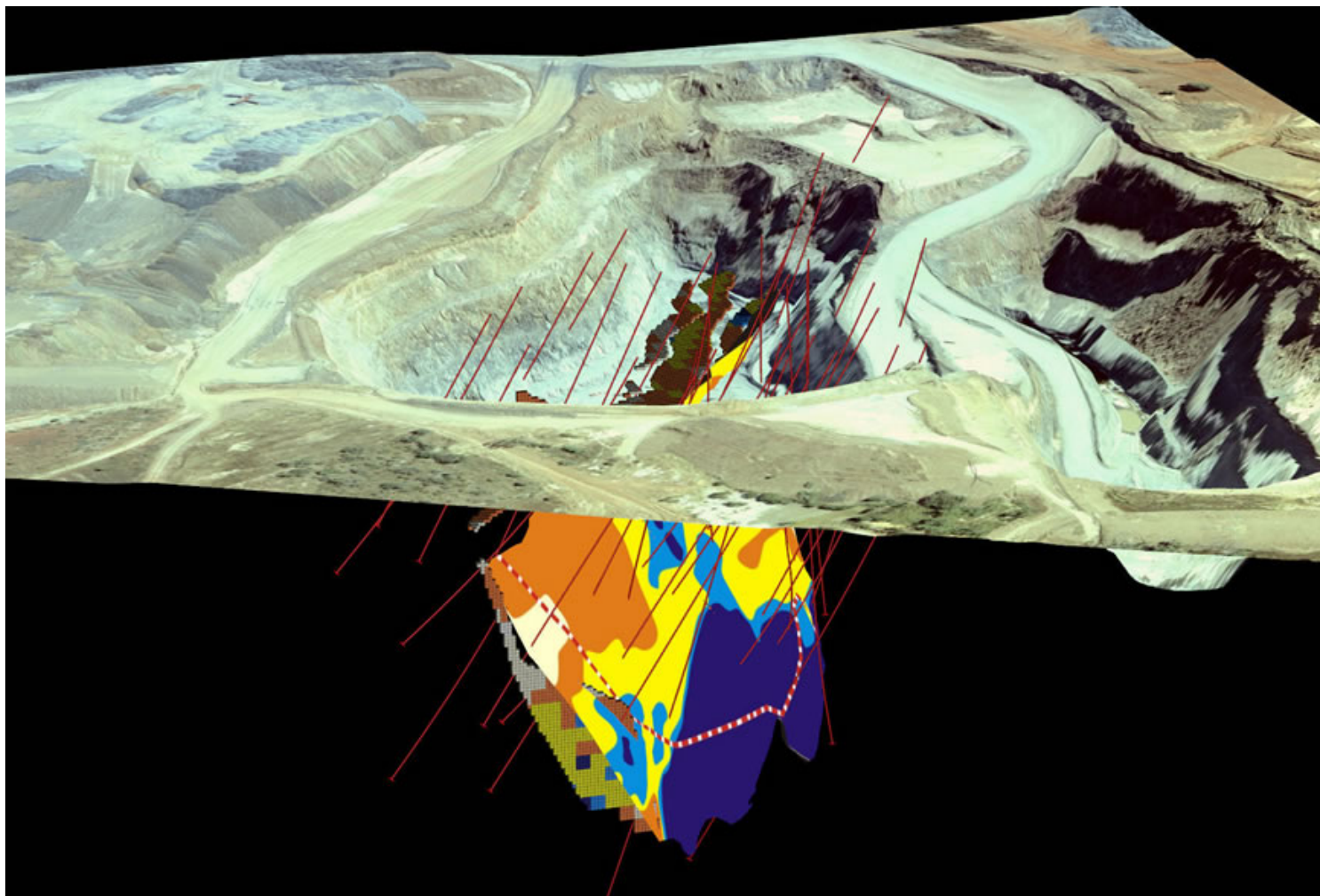
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid





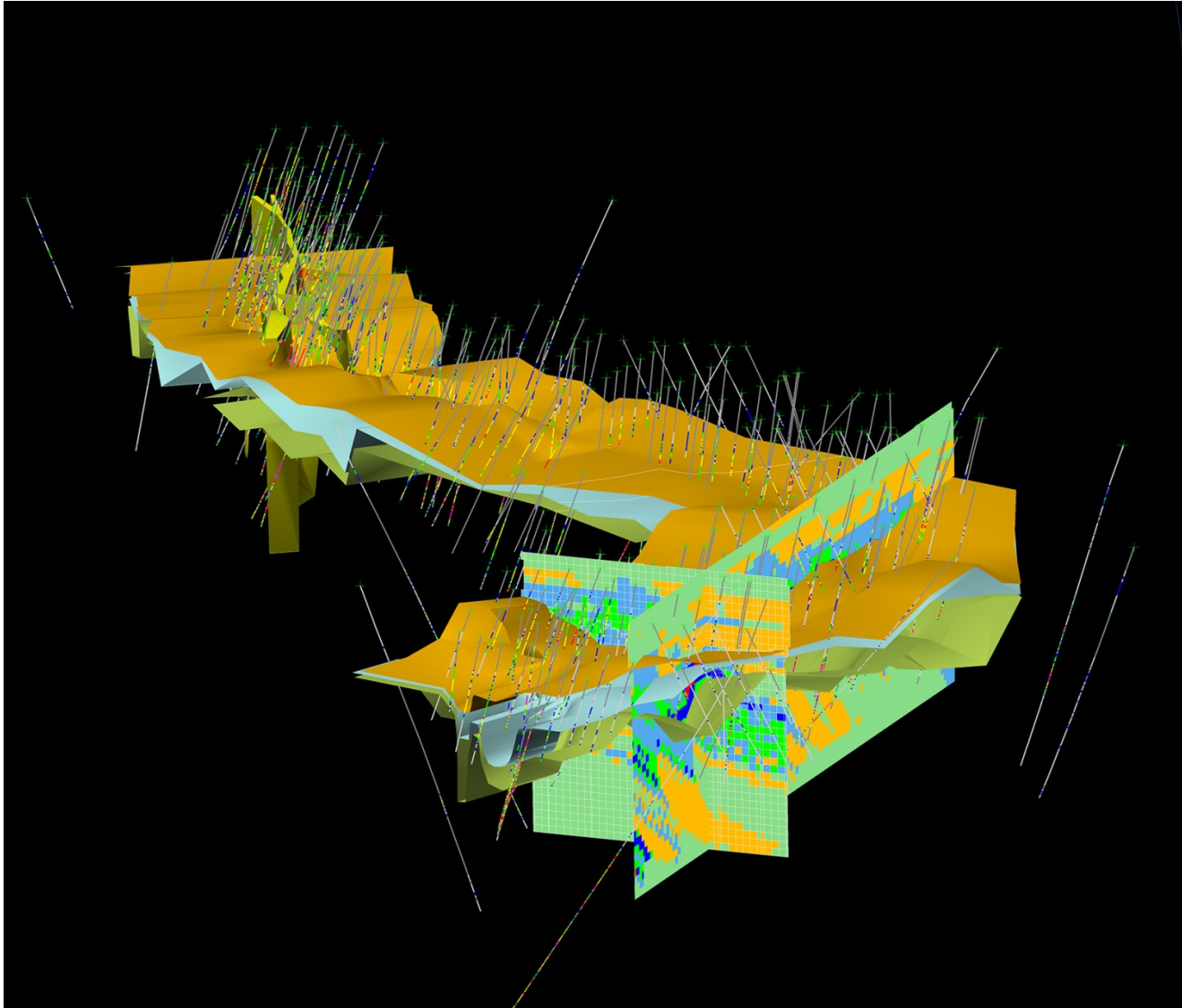
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid





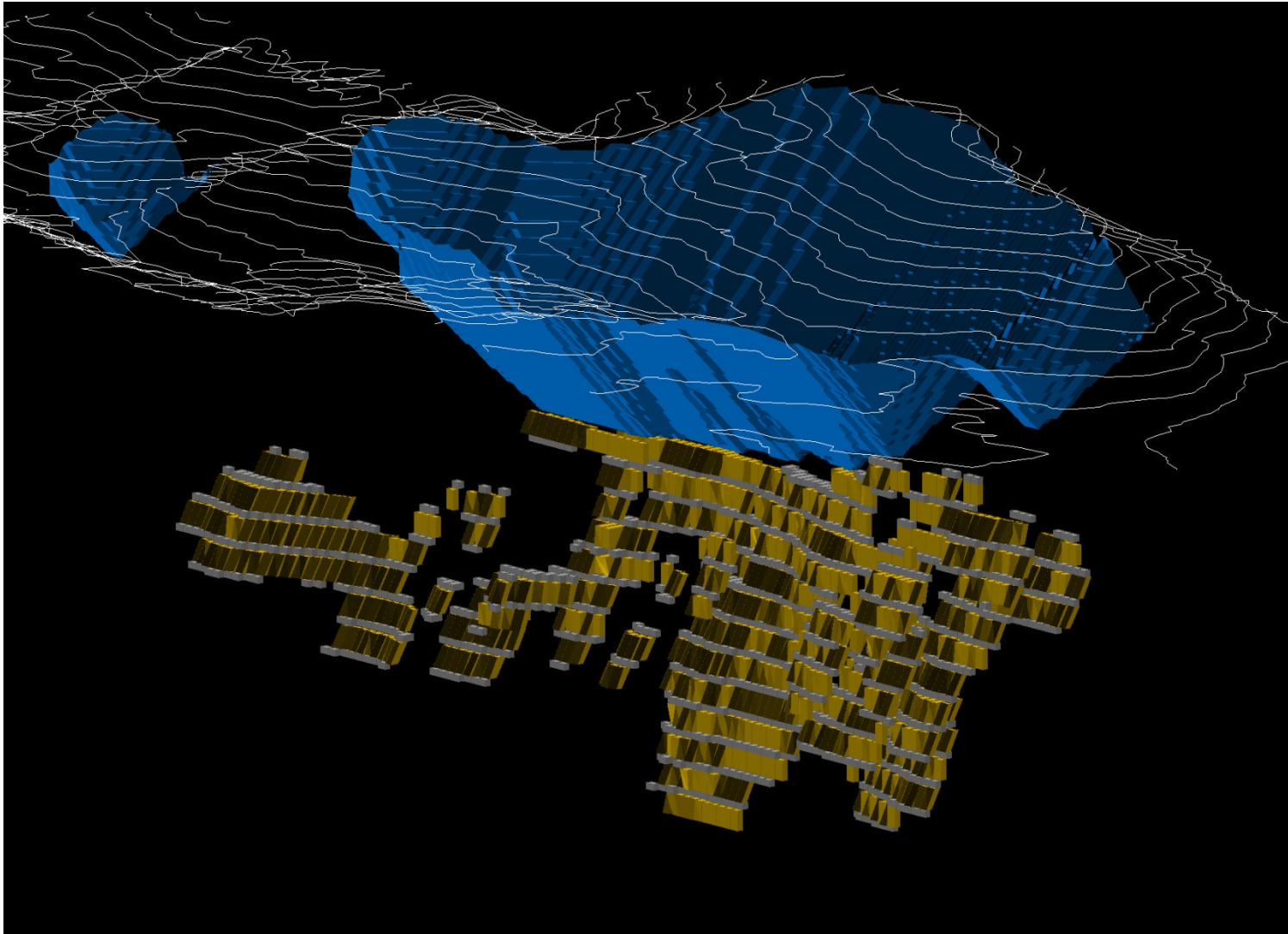
POLITÉCNICA

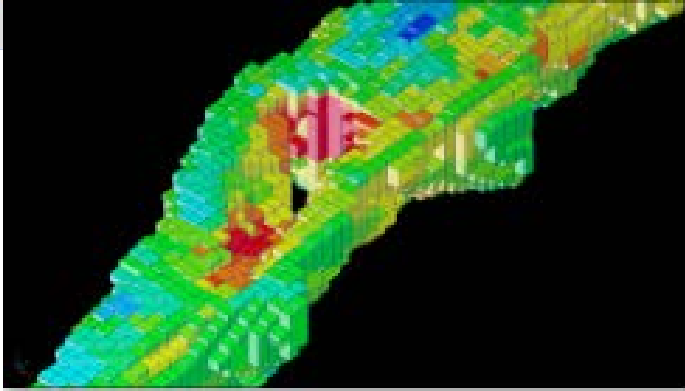
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

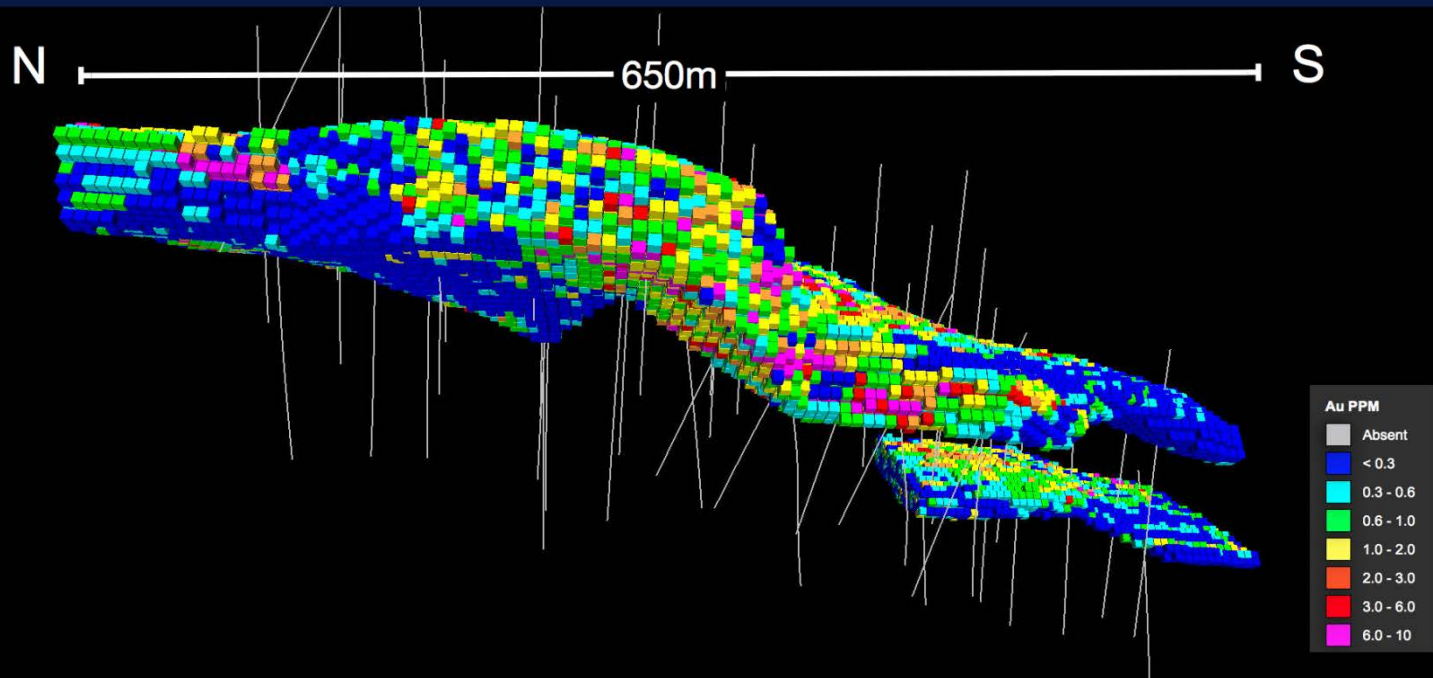


Universidad Politécnica de Madrid





Ndablama block model: Central & South-East zones, longitudinal view looking East





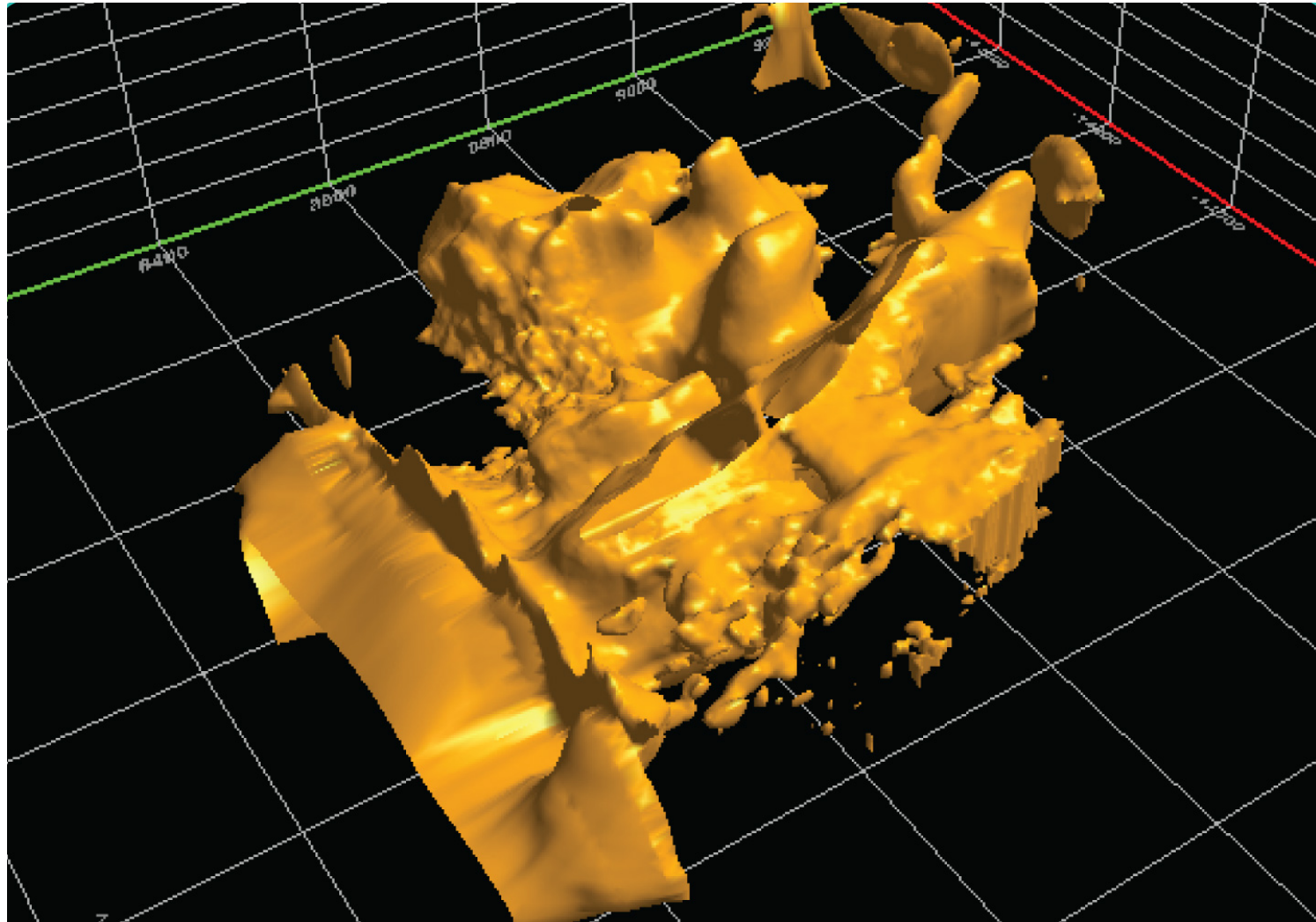
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Es fundamental recordar que:

- El desarrollo de un inventario mineral requiere el desarrollo sustancial de juicios, asumir cosas partiendo de muestras y de ensayos, así como la interpretación y proyección de características geológicas sobre la base de datos muy limitados.
- La base de datos,
 - Debe ser recopilada con cuidado y esmero.
 - Necesariamente ha de ser adecuada y correctamente interpretada.
 - Permanecerá útil y vigente durante muchos años.
 - Constituye la base para:
 - Estudios de viabilidad
 - Estudios de planificación minera
 - Estudios de análisis financieros, tanto en el momento actual como a desarrollar en el futuro.
- **El éxito o fracaso de un proyecto, puede atribuirse directamente a la calidad de la base de datos registrada, los drill logs y sus mapas.**

Planos y mapas

- Los documentos fundamentales en toda etapa de un proyecto y posterior planificación minera son los planos y mapas.
- Los mapas son esenciales para las labores de:
 - Recopilación (Collecting)
 - Perfilado (Outlining)
 - Correlación (Correlating)

de las grandes cantidades de datos e informaciones que se requieren para la realización de un estudio de viabilidad.



Uso de herramientas SIG / GIS

Trabajo con cartografías

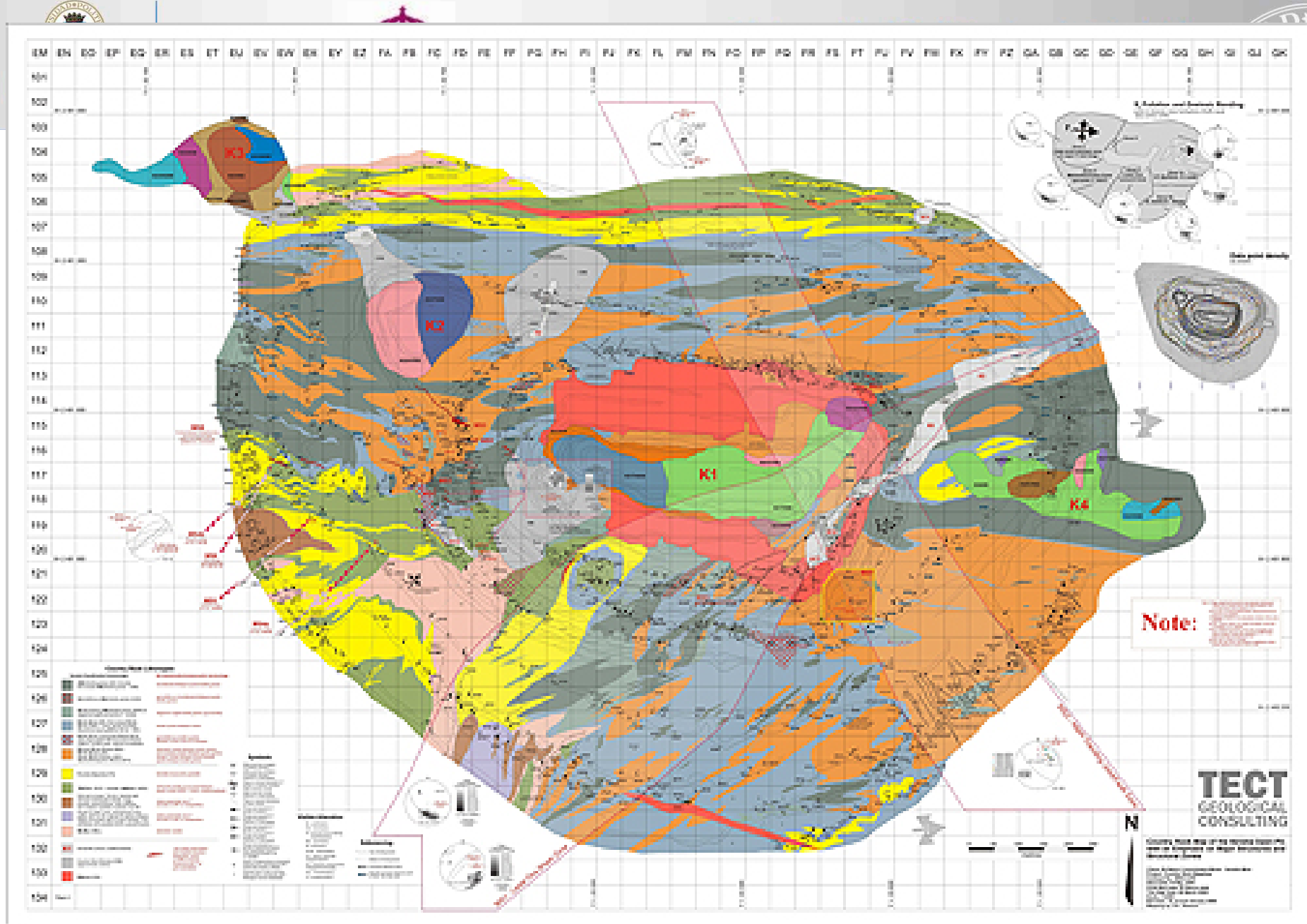
- Todas estas cartografías de trabajo se usan y elaboran a distintas escalas, entendiendo por escala la relación entre las distancias lineales en el mapa y las correspondientes distancias en el emplazamiento.
- La selección de la escala de un mapa / plano, depende de:
 - El tamaño de la zona a representar.
 - La finalidad y uso del mapa.
 - El grado de detalle de las informaciones a representar (a mayor precisión y detalle, menor escala).
- No confundir escala de trabajo con escala a la que se representan los mapas/planos.
- En planificación minera, los planos se representan a una escala que permita mantener toda la mina (corta, pozo, explotación en interior, etc.) en una hoja (A3, A1, o A0).
- Es fundamental el trabajo con delineantes que sepan trabajar con planos georreferenciados a su posición real en el espacio y dominen los cambios de escala.

- Los tipos de mapas que se confeccionan y editan en cada momento dependen de la etapa dentro del desarrollo del proyecto y el tipo de estudio.
- También sucede lo mismo con el grado de detalle de la información en cada etapa (empaste de la información / zonas en blanco).
- Es recomendable disponer siempre, al menos a modo de referencia, de:
 - Un plano general de la zona o área de trabajo [1].
 - Un plano general de la mina [2].
 - Planos y cortes de detalle (planta y secciones) [3].

[1] Plano general de la zona o área de trabajo

- El plano general de la zona debe mostrar toda la información pertinente relativa a las características que enmarcan el proyecto como son:
 - Geología (extensión de yacimientos y cuerpos mineralizados).
 - Rutas de transporte (carreteras, autopistas, vías férreas, canales de navegación, etc.).
 - Situación de la propiedad del terreno y arrendamientos, límites y otros.
 - Distancias a mercados, punto de tratamiento o transferencia (aconsejable referencias a costes de expedición).
 - Situación de redes de distribución de alta tensión, agua, gas, comunicaciones, etc., en estado actual y actuaciones previstas para un futuro próximo.
 - Áreas favorables para infraestructura de la mina: accesos, plantas, instalaciones de residuos, parques de maquinaria, almacenamiento, oficinas, etc.
 - Otros.

- Toda esta información deberá manejarse en capas superpuestas (layers).



Geological map of Venetia Mine. Fuente: www.mining-technology.com

[2] Plano general de la mina

- Cubrirá la zona concreta del plano general donde se implantará el proyecto. Es un mapa a menor escala y mayor detalle que el plano general.
- Entre otros aspectos y, distribuidas en "layers" o capas, figurará:
 - Yacimiento o yacimientos a explotar.
 - Estructuras e infraestructuras de la mina.
 - Delimitación del perímetro de las instalaciones.
 - Accesos: acceso general a instalaciones desde red viaria, viales interiores, pistas y accesos.
 - Vías férreas (si las hay).
 - Trazado de sistemas de bandas transportadoras
 - Localización de planta e instalaciones industriales, talleres, servicios, oficinas y resto de dependencias.
 - Líneas eléctrica, subestaciones y especial indicación del anillo eléctrico si lo hay.
 - Redes de agua (abastecimiento y drenaje).
 - Trazados de tuberías.
 - Red de drenaje de aguas de escorrentía superficiales.
 - Localización de sondeos de naturaleza específica.
 - Localización de emplazamientos de instalaciones de residuos.
 - Límites de propiedad (adicionalmente, naturaleza de la titularidad: propiedad, arrendamientos, etc.).
 - Fases del desarrollo minero, etapas.

[3] Planos y cortes de detalle (planta y secciones)

- Los planos de detalle y las cartografías de detalle son las que se usan para el diseño y la planificación de la mina.
- El resultado básico del proceso de diseño y de planificación consistirán necesariamente un conjunto de planos y de secciones (perfiles longitudinales y transversales).
- La localización de los sondeos debe reflejarse a la escala adecuada a los requisitos y la finalidad del mapa.
- Representación:
 - En el hemisferio Norte, normalmente se representa en el cuadrante Noreste.
 - En el hemisferio Sur, normalmente se representa en el cuadrante Suroeste.
 - La elección de una orientación en dirección Norte, no es un criterio universal:
 - Algunas minas eligen el Norte geográfico.
 - Otras eligen el Norte magnético.
 - En algún caso, se ha elegido como Norte otra dirección:
 - Perpendicular al eje más largo del depósito.
 - La dirección en la que el Director de la mina la veía desde la ventana de su despacho.
- Coordenadas:
 - En algunos casos, se utilizan sistemas de coordenadas distintos

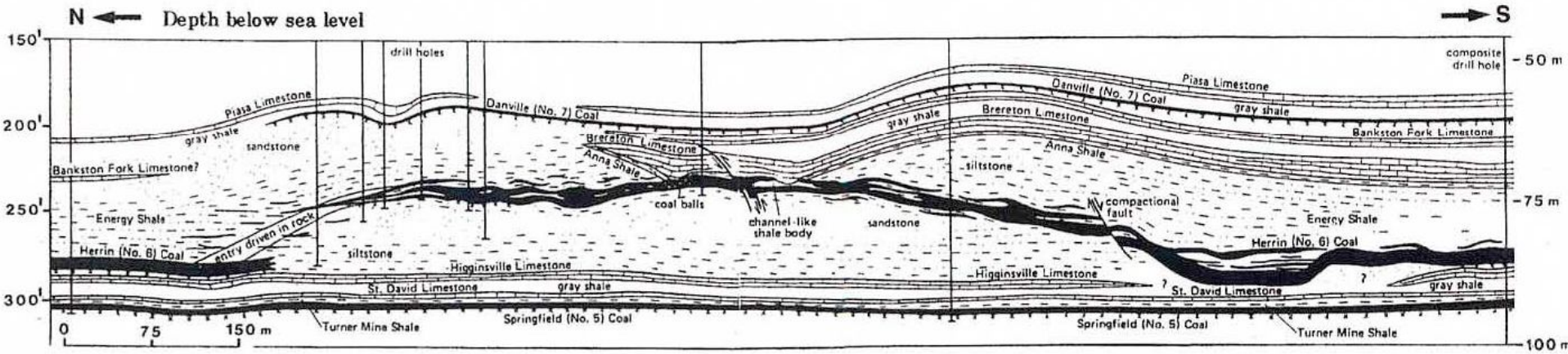


Fig. 2. Geological cross-section of fault zone constructed from nearby mines

- **Sondeos:**
 - El ajuste de los sondeos a una malla regular permite la representación de la información de los mismos en cortes geológicos según la malla.
 - Cuando la evaluación se hace por cortes geológicos, es importante mantener la alineación de los sondeos.
 - Cuando la evaluación se hace por modelos de bloques, este aspecto no es tan importante.

- **Revisiones:**
 - Es fundamental conservar y mantener los criterios de control de revisiones/versiones de los planos y mapas.

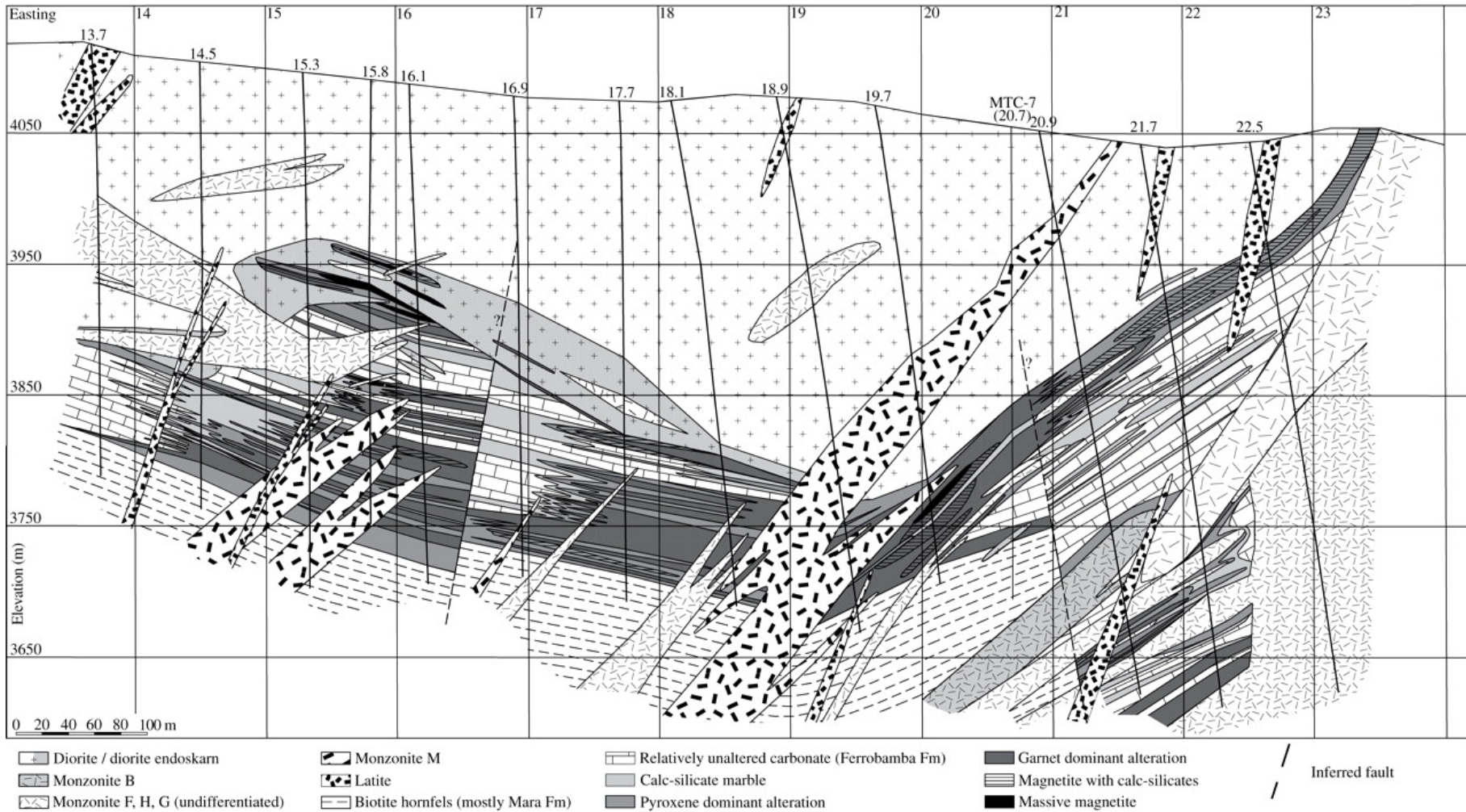


Table 3.1. Guidelines for preparing mine maps (source unknown).

1. Title or subject, location of the area, and an extra identification or indexing notation on the outside or in an upper corner, and a reference to the associated report.
2. Compiler's name, the names of the field mapper, and an index diagram identifying sources of data.
3. Date of field work and date of compilation.
4. Scale; graphic and numerical.
5. Orientation of maps and sections, with magnetic declination shown on maps.
6. Isoline intervals and datum, with sufficient line labels and an explanation of heavier lines, dashed lines, and changes in interval.
7. Legend or explanation, with all units, symbols, and patterns explained.
8. Sheet identification and key, where more than one sheet or a series of overlays is involved.
9. Lines of cross section on the maps and map coordinates or key locations on the sections.
10. Reference grid and reference points.
11. Clarity: All areas enclosed by boundary lines should be labeled even in several places if necessary, so that they can still be identified if photo-reproduction in black-and-white changes the color pattern into shades of gray. Lines and letters should still be distinguishable after intended reductions in size. A trial reproduction can help in selecting colors and lines weights.
12. Size: The size should be compatible with reproduction equipment.



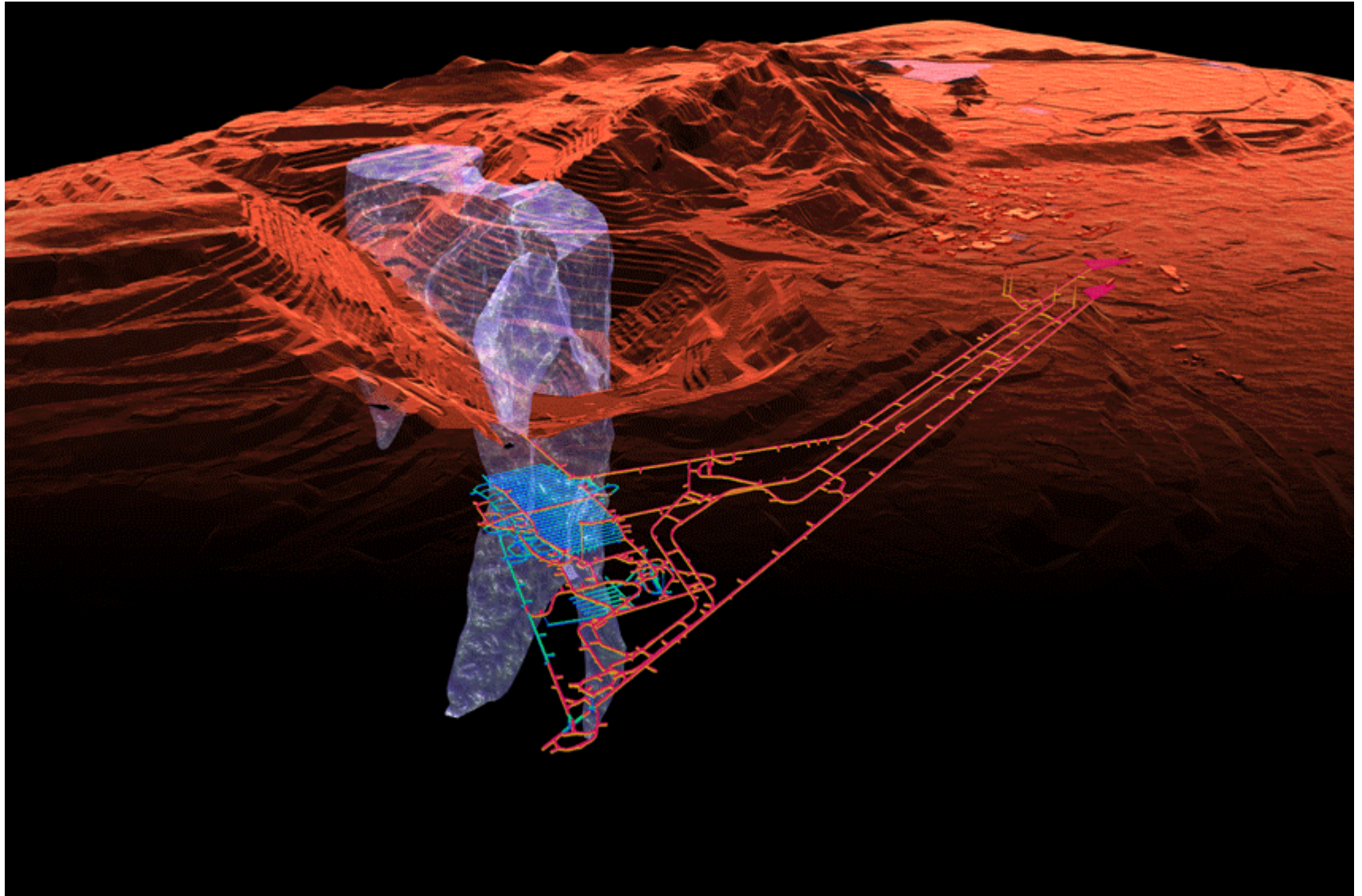
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Argyle-Mine-cross-section-2008. Fuente: www.diffractiondiamonds.pl

- La información geológica de un proyecto minero puede clasificarse en cuatro etapas:
 - **Etapa 1: Prospección.**
 - **Etapa 2: Exploración** del "prospecto minero" (mineral prospect).
 - **Etapa 3: Desarrollo.** Recogida de información detallada para el diseño y la planificación de la mina. Debe incluir:
 - Geología de la zona mineralizada.
 - Tamaño y forma física del depósito.
 - Datos cuantitativos y cualitativos de leyes y tonelajes dentro de los límites del cut-off.
 - Características mineralúrgicas y metalúrgicas de la mena.
 - Características físicas de mena y de estéril.
 - Información sobre características geotécnicas, hidrogeológicas, ambientales, etc., que afecten al diseño de la mina y su operación.
 - **Etapa 4: Explotación minera del depósito.**

- Aunque las labores de construcción de la mina (excavación de pozos y galerías, zanjas y calicatas, etc.) aportan información que puede ser útil en la evaluación, el grueso de la información geológica nueva procederá siempre de la ejecución de nuevas campañas de sondeos.



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Dudas y preguntas

