



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
Trabajo Fin de Grado

**EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO "LA INFANTA" (PUEBLA DE GUZMÁN- HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN**
**Evaluation of the "La Infanta" deposit (Puebla de guzmán- Huelva) Using RecMin
software**

Para acceder al título de:
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Autor: Carlos Peña Mirones
Director: Gema Fernández Maroto
Convocatoria: Febrero 2024



EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Gema Fernández Maroto por el tiempo y la paciencia dedicados a revisar y guiar cada paso, brindándome una perspectiva experta que ha enriquecido significativamente mi trabajo.

Agradezco también a mis respetados profesores, cuya enseñanza y conocimientos han dejado una marca profunda en mi formación y desarrollo personal.

A mis compañeros de clase, les agradezco por el apoyo mutuo y hacer que este viaje académico haya sido más ameno en los momentos más difíciles.

Finalmente, agradezco a mi familia en especial a mi madre, a mi hermano y a mi tío, que siempre han estado apoyándome y animándome. Este logro es tanto suyo como mío, y estoy agradecido por cada sacrificio y sonrisa que han compartido conmigo.

Con gratitud,

Carlos Peña Mirones

RESUMEN

El Presente trabajo trata de la evaluación de un yacimiento polimetálico ubicado en Puebla de Guzmán, Huelva denominado “La Infanta”. Los datos del yacimiento han sido obtenidos del Fondo Mina Reocín, un archivo histórico que contiene documentación relevante de la Mina Reocín y otras minas que se encuentra ubicado en la biblioteca de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía de la Universidad de Cantabria. Los documentos utilizados han sido creados por diversas empresas que realizaron labores de prospección en el yacimiento de La Infanta. Posteriormente estos datos han sido tratados con la aplicación de un software gratuito específico llamado RecMin.

Mediante el uso de RecMin se ha realizado un modelo de bloques a partir del cual se ha obtenido la cubicación del yacimiento para posteriormente realizar un estudio económico teniendo en cuenta las toneladas de cada mineral y el precio actual de los mismos.



ABSTRACT

This paper deals with the evaluation of a polymetallic deposit located in Puebla de Guzmán, Huelva called "La Infanta". The data on the deposit have been obtained from the Reocín Mine Fund, a historical archive containing relevant documentation on the Reocín Mine and other mines located in the library of the Polytechnic School of Mining and Energy Engineering of the University of Cantabria. The documents used were created by various companies that carried out prospecting work at the La Infanta site. Subsequently, these data have been processed with the application of a specific free software called RecMin.

Using RecMin, a block model was created from which the cubage of the deposit was obtained in order to subsequently carry out an economic study taking into account the tonnes of each mineral and the current price of the same.

Índice

Índice	6
1 INTRODUCCIÓN	12
2 ESTADO DEL ARTE	13
2.1 TIPOS DE YACIMIENTOS MINERALES	13
2.2 Yacimientos minerales asociados a procesos magmáticos	13
2.2.1 Yacimientos relacionados con rocas máficas	14
2.2.2 Yacimientos minerales asociados a procesos sedimentarios.....	15
2.2.3 Yacimientos minerales asociados a procesos metamórficos	18
2.2.4 Rocas ornamentales	18
2.3 EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES. TIPOS DE CUBICACIONES	19
2.3.1 Método de los perfiles.....	19
2.3.2 Método de los polígonos	25
2.3.3 Método de los triángulos	28
2.4 DIFERENTES SOFTWARES PARA EVALUACIÓN Y MODELIZACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES.....	30
2.4.1 Datamine	31
2.4.2 Maptek Vulcan.....	32
2.4.3 RecMin.....	34
3 OBJETIVOS	36
4 ÁREA DE ESTUDIO	37
4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
4.2 GEOLOGÍA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	38
4.2.1 Devónico	39
4.2.2 Carbonífero Inferior.....	39
4.2.3 Cuaternario.....	41
4.2.4 Tectónica	41



4.3	LA FAJA PIRÍTICA DEL SUROESTE IBÉRICO.	45
4.4	GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA INFANTA	46
4.5	EL YACIMIENTO DE LA INFANTA	46
4.6	ACCESIBILIDAD DE LA ZONA	47
5	METODOLOGÍA.....	48
5.1	SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN APORTADA.....	48
5.2	DEPURACIÓN DE ERRORES	48
5.3	INTRODUCCIÓN.....	51
5.4	RECMIN	52
5.4.1	Software	52
5.4.2	Diferentes Paquetes	52
5.4.3	Parte utilizada del Software	54
5.5	APLICACIÓN DE RECMIN AL YACIMIENTO DE LA INFANTA.....	54
5.5.1	Importación de sondeos.....	54
5.5.2	Importación de la topografía.....	57
5.5.3	Modelo de Bloques.....	58
5.6	DATOS EMPLEADOS	65
5.6.1	Sondeos	65
5.6.2	Información sobre litologías en los sondeos	73
5.6.3	Nube de Puntos	80
6	RESULTADOS	82
6.1	RESULTADOS DEL FONDO MINA REOCÍN	82
6.2	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE RECMIN:.....	82
6.2.1	Modelo de bloques.....	82
6.2.2	Cálculo de la densidad media del yacimiento	88
6.2.3	Obtención de las Leyes.....	88
6.2.4	Cálculo tonelaje total: Cubicación	88
7	ESTUDIO ECONÓMICO	93
8	CONCLUSIONES	95
9	BIBLIOGRAFÍA	98
9.1	LIBROS Y ARTÍCULOS.....	98



9.2	FONDO MINA REOCÍN.....	99
9.3	PÁGINAS WEB Y VIDEOS	100
10	PLANOS.....	102



Índice de tablas

Tabla 5-1 Ejemplo del archivo Coordenadas Sondeos (Elaboración Propia)	55
Tabla 5-2 Ejemplo del archivo Medidas Desviaciones (Elaboración Propia).....	56
Tabla 5-3 Ejemplo del archivo Litologías (Elaboración Propia)	57
Tabla 5-4 Ejemplo del archivo Tabla de muestras (Elaboración Propia).....	57
Tabla 5-5 Datos de los sondeos (Elaboración Propia)	72
Tabla 5-6 - Información sobre litologías en los sondeos. (Elaboración propia.)	80
Tabla 5-7 - Nube de Puntos. (Elaboración propia.)	81
Tabla 6-1 - Cálculo densidad media. (Elaboración propia.).....	88
Tabla 6-2 - Leyes medias de cada metal (Elaboración propia).....	88
Tabla 6-3 - Volumen y tonelaje por secciones. (Elaboración propia.).....	92
Tabla 6-4 - Cálculo reservas totales de cada mineral. (Elaboración propia.)	92
Tabla 7-1 - Valor de los metales en el LME (https://www.lme.com/)	93
Tabla 7-2 - Precio por tonelada multiplicado por las reservas de cada mineral. (Elaboración propia.)	93
Tabla 8-1 - Precio por tonelada multiplicado por las reservas de cada mineral. (Elaboración propia.)	97

Índice de figuras

Figura 2-1 - Fotografía cantera (Estadística_Minera_Anual_2021 Gobierno de España)	19
Figura 2-2 - Método de perfiles (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	20
Figura 2-3 - Método de perfiles(https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	21
Figura 2-4- Método de perfiles para con sondeos con diferente orientación (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	22
Figura 2-5 - Área de influencia método de los perfiles(https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	24
Figura 2-6 - Método de los polígonos (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	26
Figura 2-7 - Método de los polígonos (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	27
Figura 2-8 - Método de los triángulos (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	28
Figura 2-9 - Método de los triángulos (https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas)	29
Figura 2-10 - Ejemplo software Datamine (https://www.dataminesoftware.com/es/novo-lancamento-de-studio-op-versao-2-12/)	31
Figura 2-11 - Logo Maptek (https://www.maptek.com/cl/)	32
Figura 2-12 - Logo RecMin. (https://www.RecMin.com/)	34
Figura 4-1 - Localización de la Mina “La Infanta” Fondo Mina Reocín (Andalucía-Huelva)	
4-6 Estudio preliminar para la determinación de costes y aspectos operativos en la concesión “La Infanta” (Huelva) Jun. 1982)	38
Figura 4-2 MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).	42
Figura 4-3 Columna estratigráfica. MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).	44

Figura 4-4 Columna estratigráfica. MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).	44
Figura 4-5 Encuadre geológico de la Faja Pirítica Ibérica. Modificado de (IGME, 1982) y (Tornos, 2006). Depósitos de sulfuros masivos: AL: Aljustrel; AT: Aguas Teñidas; ATE: Aguas Teñidas Este; AZ: Aznalcóllar; CM: Cueva de la Mora; CO: Concepción; HE: Herrerías; LF: Los Frailes; LC: Las Cruces; LO: Lousal; LP: Lomero-Poyatos; LZ: La Zarza; MI: Migollas; NC: Neves Corvo; RT: Río Tinto; SI: Silos; RO. Romanera; SD: Sao Domingos; SO. Sotiel; SM: San Miguel; SP: San Platón; ST: San Telmo; TH: Tharsis; VA: Valverde; VF: Vuelta Falsa. Vp: Virgen de la Peña. (Modificado de (Tornos, 2006)).....	46
Figura 5-1 - Primera importación de sondeos. (RecMin. Elaboración propia).....	49
Figura 5-2 - Vista en planta de los sondeos. (RecMin. Elaboración propia).....	50
Figura 5-3 - Sondeos utilizados en el trabajo. (RecMin. Elaboración propia)	51
Figura 5-4 - Logo RecMin. (https://www.RecMin.com/).....	51
Figura 5-5 -Ejemplo ficha de sondeos. (Andalucía-Huelva 5-5 Leyes y Fichas de sondeos de la concesión La Infanta (del 1 al 39) 1976-1977).....	55
Figura 5-6 - Curvas de nivel de la zona explorada. (RecMin. Elaboración propia.).....	58
Figura 5-7 -Ejemplo modelo de bloques. (RecMin.com)	59
Figura 5-8 -Ejemplo de un Perfil. (RecMin. Elaboración propia.).....	60
Figura 5-9 - Modelo de la morfología del yacimiento con los sondeos. (RecMin. Elaboración propia.)	60
Figura 5-10 - Modelo de bloques recortado por la topografía. (RecMin. Elaboración propia.)	62
Figura 6-1 - Modelo de Bloques recortado mostrando las leyes de plata (Elaboración propia)	82
Figura 6-2 - Ejemplo de un bloque en él que se muestra la información contenida por cada bloque (Elaboración Propia)	83
Figura 6-3 - Distribución de intervalos de cobre en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)	84
Figura 6-4 - Distribución de intervalos de plomo en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)	85
Figura 6-5 -Distribución de intervalos de zinc en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)	86
Figura 6-6 Distribución de intervalos de plata en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)	87

1 INTRODUCCIÓN

Hoy día, la minería se ha convertido en una industria básica para el desarrollo de la sociedad. En especial, la minería metálica alcanza una importancia relevante en tanto que los metales y los llamados minerales críticos se hacen más indispensables para la sociedad.

La prospección minera se dedica al descubrimiento de nuevos yacimientos de minerales, que pueden o no tener un interés económico en función de las reservas que tengan. Por ello, en la industria minera la evaluación y cubicación de reservas minerales desempeña un papel fundamental. Esta actividad consiste en determinar las características y la cantidad la cantidad y calidad de los minerales presentes en una zona determinada, en una concentración anómala de estos minerales conocida como yacimiento mineral, lo que permite tomar decisiones sobre la viabilidad económica y técnica de la explotación minera.

Por estos motivos en el presente trabajo, tomando como datos de partida documentos de diversas empresas que han hecho labores de prospección e investigación en el yacimiento de La Infanta (Phelps Dodge Española, AZSA, ASTRUMINERA S. A. y Estudios y Proyectos mineros S.A.), extraídos del Fondo Mina Reocín, se realizará una cubicación y un estudio sobre la viabilidad económica de este yacimiento con el software informático RecMin.

El Fondo Mina Reocín es un archivo histórico que se encuentra ubicado en la biblioteca de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía de la Universidad de Cantabria, y comprende toda la documentación que la Mina Reocín fue acumulando tanto en el período de la Real Compañía Asturiana de Minas como en el de Asturiana de Zinc S.A. Se trata de volúmenes de libros copiadores, documentación de investigación minera, geología, planos topográficos y de oficina técnica y numerosos documentos técnicos de las diferentes concesiones mineras tanto de Cantabria como de España en las que ambas empresas realizaron prospección o tuvieron explotaciones mineras.

Por otro lado, los softwares específicos permiten realizar cubicaciones más precisas ya que incluyen toda la información de la que disponen, permitiendo conocer con mayor exactitud la realidad del yacimiento mineral y, por tanto, sus posibilidades de explotación.

Para el presente trabajo se ha utilizado RecMin, el cual es un software de minería, de uso gratuito. Puede ser utilizado por profesionales geológicos o mineros de cualquier nivel, ya sean corporativos o independientes, para realizar trabajos o realizar investigaciones sin restricciones. Puede ser utilizado tanto por topógrafos, geólogos o ingenieros de minas.



2 ESTADO DEL ARTE

Para el presente trabajo se definirá yacimiento mineral como una acumulación natural de minerales, rocas, o materiales geológicos que poseen un valor económico o industrial debido a la presencia de sustancias útiles. Siendo también un recurso mineral se refiere a la cantidad total de minerales presentes en una determinada área geográfica o en una formación geológica específica. Esto incluye tanto los minerales que son económicamente explotables en las condiciones tecnológicas y económicas actuales, como los minerales que aún no son viables de extraer debido a limitaciones técnicas o económicas.[1]

2.1 TIPOS DE YACIMIENTOS MINERALES

Los yacimientos minerales pueden clasificarse de muy diversas formas dependiendo del criterio a tener en cuenta a la hora de realizar dicha clasificación:

- El proceso geológico más relevante en su formación.
- Criterios económico-geológicos.
- El mecanismo de su emplazamiento.
- La litología de la roca encajante.
- El origen de los metales.
- Las edades relativas del yacimiento y la roca encajante.

En la práctica, los criterios más ampliamente utilizados son el proceso geológico más destacado en su formación y los criterios económico-geológicos. En este trabajo, se clasificarán de acuerdo con el proceso geológico más significativo en su génesis. [1]

2.2 Yacimientos minerales asociados a procesos magmáticos

El magma que asciende desde el manto a las dorsales oceánicas y se enfría rápidamente da lugar a la formación de rocas basálticas, que finalmente constituyen la corteza oceánica. No obstante, si este mismo magma se emplaza en la corteza continental, experimenta un proceso de enfriamiento mucho más gradual, lo que conduce a una cristalización progresiva y la creación de las típicas paragénesis de rocas y mineralizaciones de variada composición química. [1]

Siguiendo estos procesos, y en función del tipo de roca encajante, los yacimientos minerales relacionados con procesos magmáticos pueden clasificarse en tres categorías distintas.

2.2.1 Yacimientos relacionados con rocas máficas

Generalmente son depósitos situados en grandes masas cratónicas, más comúnmente asociados a la corteza continental, aunque también existen ejemplos de asociación con la corteza oceánica. [1]

Entre los diferentes grupos encontramos las intrusiones máficas estratificadas, las cuales forman los mayores sistemas magmáticos conocidos y además son fuente importante para la obtención de cromo, níquel, cobre, platino, titanio, vanadio, estaño. [1]

Otro grupo de este tipo de yacimientos son las anortositas cuerpos ígneos formados casi en su totalidad por plagioclasas y que contienen rutilo, imenita y titanomagnetita

El último grupo de este tipo de yacimientos es formado por el conjunto kimberlitas carbonatitas. Las kimberlitas contienen diamantes, mientras que las carbonatitas son más variadas petrológicamente y en cuanto a la presencia de yacimientos de interés económico. [1]

2.2.1.1 Yacimientos con rocas intermedias a félsicas

Muchos de los grandes yacimientos a nivel mundial de metales base y preciosos pertenecen a este grupo. Se pueden establecer hasta siete grandes subgrupos de yacimientos asociados a este tipo de rocas: [1]

1. Yacimientos de hierro de origen ígneo
2. Pórfidos metálicos
3. Depósitos tipo skarn
4. Yacimientos de hierro de origen hidrotermal
5. Mineralizaciones metálicas en filones
6. Pegmatitas
7. Yacimientos de uranio y estaño en granitos

2.2.1.2 Yacimientos relacionados con vulcanismo

Los yacimientos relacionados con vulcanismo pueden ser grandes en función del carácter subaéreo o submarino de dicho vulcanismo. En cuanto al primer subgrupo, se encuentran los yacimientos epitermales de oro y plata. Los cuales se originan como producto de una actividad hidrotermal relacionada con vulcanismo a escasas profundidades y bajas temperaturas. [1]

El segundo subgrupo, los yacimientos asociados con vulcanismo submarino, forman yacimientos de sulfuros masivos de origen volcánico probablemente el tipo más característico de depósitos asociados a vulcanismo submarino. [1]



2.2.2 Yacimientos minerales asociados a procesos sedimentarios

Los yacimientos minerales asociados a procesos sedimentarios son depósitos de minerales que se forman como resultado de procesos de erosión, meteorización, disgregación y relleno que provoca acumulaciones de fragmentos insolubles como el oro o el cuarzo o en cuantos solubles que originan aguas ricas en calcio, sodio, hierro, cobre... [1]

Los fragmentos insolubles son transportados aguas superficiales y sedimentan cuando capacidad de transporte de originando rocas sedimentarias detríticas. Mientras que los constituyentes químicos en solución precipitan en ambientes sedimentarios favorables para formar los se sedimentos químicos. [1]

Se pueden clasificar hasta 6 procesos generadores de yacimientos minerales sedimentarios:

2.2.2.1 Yacimientos relacionados con procesos de meteorización.

La alteración es un complejo proceso en el que la roca y los minerales que la constituyen sufren la acción de la desintegración mecánica y la descomposición química. Los minerales que son inestables químicamente se ponen en solución y son lixiviados, mientras que los residuos insolubles pueden permanecer y algunos de ellos forman depósitos minerales residuales. [1]

Según el agente predominante de la meteorización sea el físico o el químico se origina un tipo u otro de alteración. Los producidos por meteorización, química reciben el nombre de yacimientos residuales como por ejemplo bauxitas o lateritas níquelíferas y los que tienen predominancia de meteorización física se denominan yacimientos de placer. [1]

2.2.2.2 Yacimientos relacionados con la acción de aguas diagenéticas.

Los yacimientos relacionados con aguas hidrotermales, en su sentido más evidente de aguas calientes, no solo se originan en procesos endógenos, ya que las cuencas sedimentarias también pueden generar soluciones hidrotermales. Este fenómeno da lugar a yacimientos conocidos como "Mississippi Valley", que consisten en depósitos de sulfuros de plomo y zinc en rocas carbonáticas, especialmente dolomías. Su génesis es similar a la explicación utilizada para los yacimientos de petróleo, involucrando una roca madre con metales dispersos, un mecanismo para movilizar las soluciones mineralizantes, vías adecuadas para el movimiento de estas soluciones y condiciones favorables para la deposición y precipitación. [1]

Ejemplos de estos yacimientos son los ubicados en el valle del Mississippi en Estados Unidos, Pine Point en Canadá y Reocín en España. Estos yacimientos tuvieron una gran

importancia como fuentes de plomo y zinc durante décadas, aunque su producción ha disminuido significativamente en años recientes. [1]

2.2.2.3 Yacimientos relacionados con procesos de sedimentación.

Los procesos de sedimentación generan diversos yacimientos minerales de gran relevancia económica, como el hierro, manganeso, cobre y fosfatos, entre otros además de yacimientos energéticos como yacimientos de carbón. La formación de estos depósitos requiere una fuente de materiales, su disolución, transporte y precipitación en cuencas sedimentarias. [1]

El manganeso es esencial para la fabricación del acero y existen tres tipos de yacimientos de manganeso de origen sedimentario: los nódulos de manganeso, los depósitos asociados a series antiguas y los asociados con mineralizaciones de hierro. [1]

Los yacimientos de hierro con interés económico se dividen en formaciones bandeadas (B.I.F.) y hierros oolíticos. Las B.I.F. son extensas, constituyen el 75% de la producción mundial de hierro estando formadas por bandeados finos a medios de óxidos, carbonatos y/o silicatos de hierro, con variables cantidades de sílex. Los hierros oolíticos, con varios nombres, son comparables a las B.I.F. por su contenido en hierro, pero representan solo el 15% de la producción global. [1]

El fósforo es esencial para la agricultura moderna. Un 75% de los fosfatos se origina en yacimientos sedimentarios.

2.2.2.4 Yacimientos relacionados con la bacteriogénesis.

El papel de las bacterias en la formación de yacimientos sedimentarios es un tema debatido y complejo. Aunque hoy en día no se tiene certeza de su influencia, pueden influir en la génesis de yacimientos, especialmente en ambientes acuosos y de bajas temperaturas, como en el caso de los yacimientos de uranio tipo roll. [1]

El papel de las bacterias en este proceso es crear un ambiente reductor que facilite la reducción y precipitación del uranio, aunque su influencia puede variar en la génesis de diferentes yacimientos sedimentarios. [1]

2.2.2.5 Yacimientos relacionados con procesos de evaporación.

Los procesos de evaporación en cuencas sedimentarias generan materiales compuestos principalmente por sales solubles, y su importancia radica en su uso como rocas y minerales industriales. Estos materiales, conocidos como evaporitas, se forman debido

a la evaporación de cuerpos de agua con una composición química específica, lo que resulta en una secuencia deposicional que puede contener minerales valiosos como halita o glauberita, dependiendo de la composición inicial del agua. [1]

2.2.2.6 Yacimientos relacionados con procesos de oxidación

Cuando un yacimiento mineral entra en contacto con las aguas meteóricas (que son oxidantes), ocurren procesos de alteración. Estas aguas disuelven algunos minerales y forman nuevas fases minerales en el yacimiento. Como resultado, el depósito mineral experimenta oxidación y muchos de sus componentes son lixiviados. [1]

Las soluciones que causan la lixiviación pueden penetrar en profundidad y, bajo las condiciones adecuadas, pueden precipitar nuevos minerales. Esta área se conoce como la "zona de oxidación" y a menudo se caracteriza por colores vivos. También se utiliza en prospección mineral debido a que su límite inferior está marcado por el nivel freático.

Por debajo del nivel freático, las aguas ya no circulan con facilidad, lo que permite que las soluciones de la zona de oxidación precipiten nuevos minerales. Esta área se llama "zona de enriquecimiento supergénico" y puede dar lugar a mineralizaciones con leyes incluso más altas que las del yacimiento original. [1]

La importancia de estos procesos de oxidación radica no solo en su posible valor económico, sino también en que indican la posible existencia de un yacimiento en profundidad. Por lo tanto, se utilizan como criterio en la exploración de nuevas regiones mineras de interés. [1]

2.2.2.7 Recursos energéticos

Los recursos energéticos se dividen en dos categorías principales: hidrocarburos y carbón, excluyendo las energías renovables que tienen una importancia teórica hasta el momento. Los hidrocarburos comprenden petróleo, gas natural, arenas asfálticas y pizarras bituminosas, siendo los dos primeros los más relevantes económicamente. [1]

El petróleo se forma como consecuencia de la incorporación y maduración de materia orgánica en sedimentos. El gas natural contiene principalmente metano, pero se denomina "gas seco" si es casi exclusivamente metano, o "gas húmedo" si contiene más del 4-5% de etano y gases más pesados. Puede estar disuelto en el petróleo o formar un almacén separado. [1]

Las pizarras bituminosas son rocas sedimentarias que destilan petróleo al calentarse. El yacimiento más conocido es la formación Green River en Estados Unidos.

El otro recurso energético importante es el carbón, que se forma por la acumulación de restos vegetales en ambientes sedimentarios, desde continentales hasta marinos someros. La calidad del carbón varía según los macerales (vitrinita, inertita y exinita) y el rango (antracita, hulla, lignito y turba), que dependen del enterramiento y la presión-

temperatura. España tiene amplias reservas de carbón, pero su extracción a precios competitivos y los altos contenidos de azufre han llevado a una decadencia en la industria del carbón. [1]

2.2.3 Yacimientos minerales asociados a procesos metamórficos

El metamorfismo puede originarse por la intrusión de un cuerpo magmático o por el enterramiento profundo de materiales. En el primer caso, se forman yacimientos previamente mencionados en otros apartados. En el segundo caso, el enterramiento profundo provoca principalmente cambios en la mineralogía de yacimientos existentes. [1]

El metamorfismo de enterramiento puede liberar soluciones hidrotermales que disuelven los metales de la roca encajante y, bajo condiciones adecuadas de temperatura y presión, los precipitan. [1]

Los yacimientos de oro en cinturones metamórficos precámbricos se forman a través del transporte del oro en soluciones de origen metamórfico que precipitan el metal en filones de cuarzo. Sin embargo, a excepción de estos yacimientos de oro, el metamorfismo regional no es una fuente importante de depósitos minerales metálicos. En cambio, el metamorfismo es responsable de la formación de yacimientos notables de minerales industriales como grafito, granate, sillimanita, wollastonita, asbesto, talco, mica y varias gemas. [1]

2.2.4 Rocas ornamentales

Las rocas ornamentales son aquellas que, después de un proceso de elaboración, se utilizan como materiales de construcción nobles, elementos ornamentales, arte funerario, esculturas y objetos artísticos, manteniendo su composición, textura y características físicas y químicas. España tiene un papel importante en la producción mundial de estas rocas, y se pueden clasificar en tres grupos principales: granitos, mármoles y pizarras. Estos grupos se generan en diversos entornos geológicos, incluyendo formaciones ígneas, metamórficas y sedimentarias. [1]



Figura 2-1 - Fotografía cantera (Estadística_Minera_Anual_2021 Gobierno de España)

2.3 EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES. TIPOS DE CUBICACIONES

2.3.1 Método de los perfiles

El método de los perfiles es el más usado para realizar cubicaciones de yacimientos minerales. Se aplica preferentemente a depósitos inclinados, no tabulares y/o a los que tienen un contorno irregular.[2]

En esencia, el método consiste en trazar perfiles verticales del yacimiento, cada par consecutivo de los cuales delimita un bloque. Las reservas del bloque se calculan a partir del promedio de las superficies de mineral medidas en cada perfil (A1, A2 y A3), el cual se multiplica por la distancia de separación entre los perfiles (d1 y d2). Ello equivale a considerar un perfil promedio ficticio entre los dos perfiles extremos del bloque. (Figura 2-2) [2]

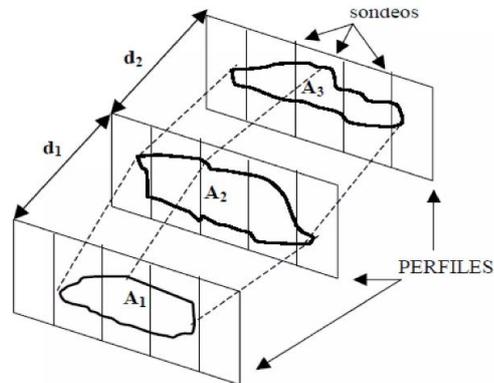


Figura 2-2 - Método de perfiles (<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Los perfiles de cubicación deben estar orientados preferiblemente perpendiculares a la máxima longitud del yacimiento. A ser posible serán paralelos entre sí y estarán distanciados regularmente.

Los perfiles se construyen a partir de los datos proporcionados por sondeos y otros trabajos de reconocimiento, los cuales deberá procurarse que estén alineados según se ha indicado. Los datos no situados sobre un perfil pueden incluso no ser utilizables si están muy alejados del mismo. Si están situados en sus proximidades, es posible proyectarlos geoméricamente sobre el perfil, aunque con precaución para evitar cometer errores de importancia. [25]

2.3.1.1 Cálculo del volumen de un bloque

Sea un depósito cualquiera explorado por sondeos agrupados en siete alineaciones paralelas de los cuales los situados en la primera y última fila han resultado estériles. (Figura 2-3)

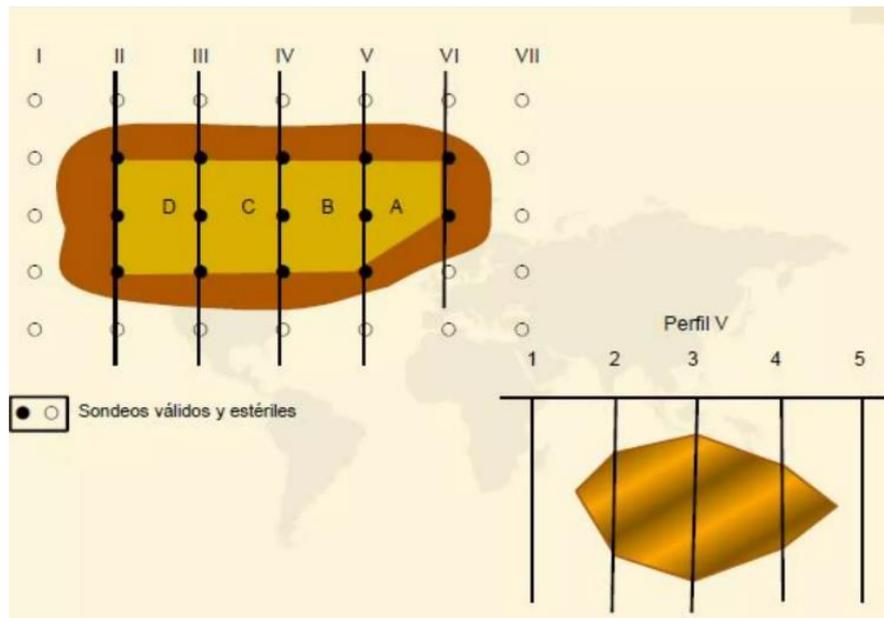


Figura 2-3 - Método de perfiles(<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

De este modo el volumen comprendido entre dos perfiles se obtiene:

$$V = \left(\frac{(A_i * A_{i+1}) * d_i}{2} \right)$$

Siendo A_i , el área de un perfil, A_{i+1} , el área del perfil consecutivo y d_i , la distancia entre perfiles.

De esta manera, repitiendo el proceso para cada bloque, se conoce el volumen existente entre los perfiles extremos del depósito (Perfiles II a VI en la Figura 2-3), quedando por determinar el volumen de los dos cierres extremos del criadero. El -cálculo de éstos depende de la configuración geométrica de los mismos. Si es sencilla, su forma puede asimilarse a cuñas u otras figuras geométricas simples.[25]

En este caso los volúmenes de los externos se calculan:

$$V_{Cierre} = \frac{A1 * D1}{2}$$

Donde A1 es la superficie del perfil más próximo al cierre y D1 la distancia entre perfiles

El volumen total del criadero es:

$$V = \Sigma V + \Sigma V_{Cierre}$$

En el caso de que los Perfiles no sean paralelos entre si el método se complica:

Sea la siguiente figura (Figura 2-4) la planta de un yacimiento y I y II los perfiles de este se trata de calcular el volumen del bloque que limitan para ello dicho boque con forma

de trapecio se divide en dos subbloques B1 y B2 mediante la recta c_1c_2 la cual pasa por el punto medio de las rectas a_1a_2 y b_1b_2 . [25]

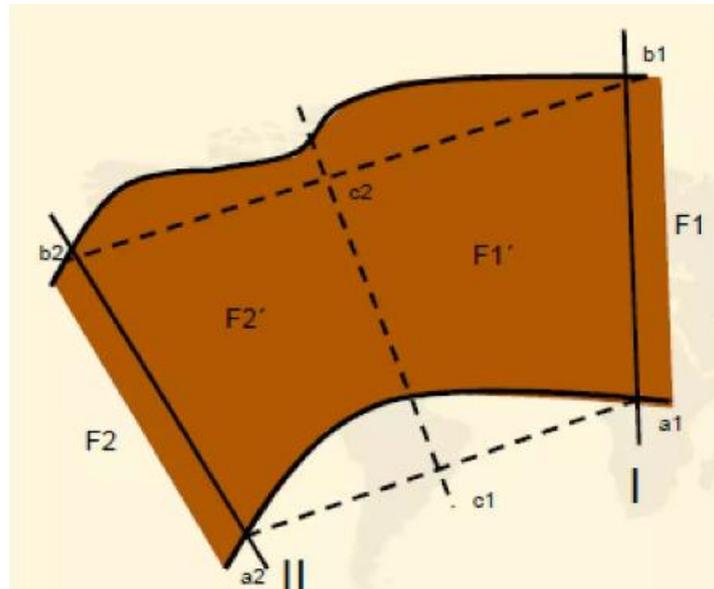


Figura 2-4- Método de perfiles para con sondeos con diferente orientación
(<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Conociendo los valores de las superficies F_1 y F_2

$$V_1 = (F_1 * F'_1) * l_{a1-b1}$$

$$V_2 = (F_2 * F'_2) * l_{a2-b2}$$

Siendo el volumen total:

$$V = V_1 + V_2$$

El volumen del depósito es de igual modo la suma del volumen entre perfiles y el volumen de los cierres.

2.3.1.2 Cálculo de reservas

Conocido el volumen de los bloques, sus reservas se obtienen multiplicando cada uno de ellos por la densidad correspondiente.

Las reservas totales de mena se calculan sumando las parciales de los bloques, o bien multiplicando el volumen total del criadero por un valor medio único de la densidad si ésta se toma constante para todo el yacimiento. [2]

2.3.1.3 Cálculo de la ley

La secuencia para el cálculo de la ley del yacimiento es la siguiente:

- Cálculo de la ley del perfil.
- Cálculo de la ley del bloque.
- Cálculo de la ley del yacimiento.

2.3.1.4 Cálculo de la ley del perfil

La ley del perfil se puede calcular de diversas maneras, que dependen de la naturaleza de los datos y su variabilidad. Sea un perfil cualquiera construido a partir de tres sondeos. Cada uno de ellos ha sido previamente demostrado en tramos parciales cuyas potencias y leyes se conocen. Los métodos más comunes para calcular la ley media de un perfil de estas características son los siguientes:[2]

- Método estadístico

La ley media se puede calcular estadísticamente recurriendo a cualquier procedimiento existente (media aritmética, media log normal, etc.). Estos métodos no tienen en cuenta la ponderación por potencia ni el área de influencia de cada sondeo en el perfil.

- Ponderación simple con la potencia

La ley media del perfil L se calcula ponderando las leyes parciales L_i con las potencias P_i de las muestras de todos los tramos de los sondeos sin distinción; no se tiene en cuenta la zona de influencia de cada sondeo en el perfil. Si es procedente, la densidad d_i puede entrar en la ponderación. La fórmula general es:[2]

$$L_p = \frac{\sum L_i * P_i * d_i}{\sum P_i * d_i}$$

- Ponderación considerando las áreas de influencia

A cada sondeo se le asigna un área de influencia A definida a cada lado de su eje como la mitad de la distancia al sondeo adyacente. (Figura 2-5)

Se calcula primero la ley de cada sondeo L ponderando las leyes parciales de las muestras L_i con las potencias y densidades respectivas. A continuación, se calcula la ley del perfil ponderando la ley de cada sondeo con su área de influencia, es decir:[2]

$$L_s = \frac{\sum L_i * P_i * d_i}{\sum P_i * d_i}$$

$$L_p = \frac{\sum L_s * A_s}{A}$$

Siendo:

A_s= Áreas de influencia de los sondeos

A = Suma de A_s, el área total del perfil

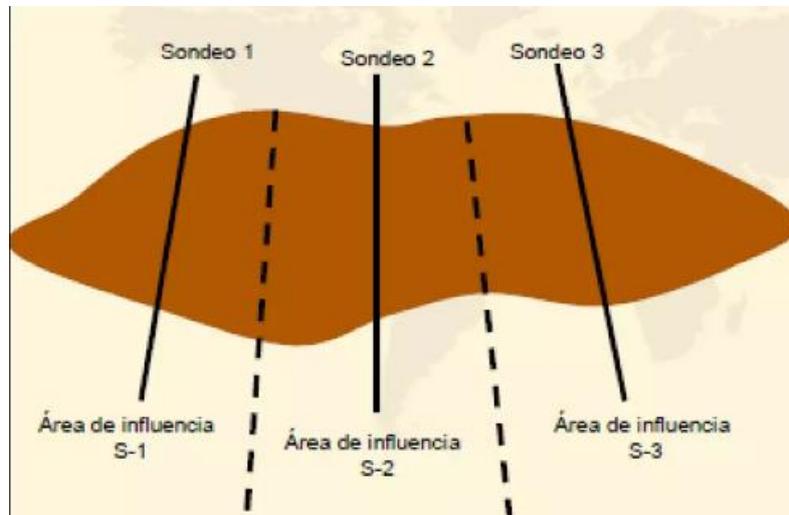


Figura 2-5 - Área de influencia método de los perfiles(<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

2.3.1.5 Cálculo de la ley del bloque

La ley del bloque se calcula ponderando las leyes de los perfiles exteriores o limitantes del bloque L_{p1} y L_{p2} , con las áreas respectivas A_1 y A_2 , es decir:

$$L_b = \frac{L_{p1} * A_1 + L_{p2} * A_2}{A_1 + A_2}$$

2.3.1.6 Cálculo de la ley del yacimiento

Se obtiene ponderando las leyes de cada bloque L_b con sus reservas R_b , es decir:

$$L_y = \frac{\sum L_b * R_b}{\sum R_b}$$

Partiendo de los mismos datos, el cálculo de la ley media por cada uno de estos métodos puede proporcionar resultados con diferencias a veces significativas, debiéndose elegir el que mejor convenga en cada caso, esto es, aprovechando al máximo la información disponible.[25]

El metal contenido se deduce multiplicando las reservas de mineral por la ley.

2.3.1.7 Ventajas e inconvenientes del método

El método de los perfiles es un método que visualiza muy bien el yacimiento y permite la zonificación de menas distintas. Por otro lado, es apto para tanteos de cubicación tanto de baja fiabilidad, como de la mayor precisión.

Los perfiles permiten la representación gráfica de las explotaciones mineras, de hecho, se utilizan muy frecuentemente como soporte para el diseño de minas a cielo abierto y subterráneas, o para el estudio de las distintas alternativas de explotación.

Los perfiles pueden combinarse con otros métodos de cubicación para calcular las reservas de un yacimiento complejo.

2.3.2 Método de los polígonos

Cuando se lleva a cabo la exploración de un yacimiento mediante sondeos, sin importar la regularidad de la malla utilizada, se asume que la potencia, densidad y concentración mineral obtenidas de cada sondeo se mantienen constantes dentro de un polígono definido de diversas maneras. El enfoque fundamental de este método establece que el área de influencia de cada sondeo engloba todos los puntos que se encuentran más cerca de ese sondeo que de cualquier otro en su cercanía. Como resultado, se divide el yacimiento en una serie de polígonos en su plano, y el valor del dato tomado del sondeo se considera válido dentro del área de cada polígono. En representaciones gráficas específicas, la altura del prisma poligonal representa el valor del dato.[2]

Es importante destacar que este método no se utiliza para delimitar la extensión total del depósito, ya que esta tarea debe realizarse mediante otros procedimientos.

La construcción de los polígonos puede llevarse a cabo de dos maneras: trazando las mediatrices de los segmentos que conectan dos sondeos adyacentes (los polígonos se obtienen uniendo cada sondeo con los más próximos y trazando las mediatrices de los segmentos correspondientes. Los puntos de corte entre ellas son los vértices del polígono) o utilizando las bisectrices del ángulo formado por el sondeo central y dos sondeos adyacentes (Figura 2-6) (se une cada sondeo con dos adyacentes, formando el triángulo correspondiente, y se trazan las bisectrices de dos de los ángulos, las cuales se cortan en un punto. Uniendo estos puntos entre sí se determina el polígono buscado). Con gran diferencia el método más usado es el primero de ellos, debido a que los polígonos se deducen con mayor sencillez.[2]

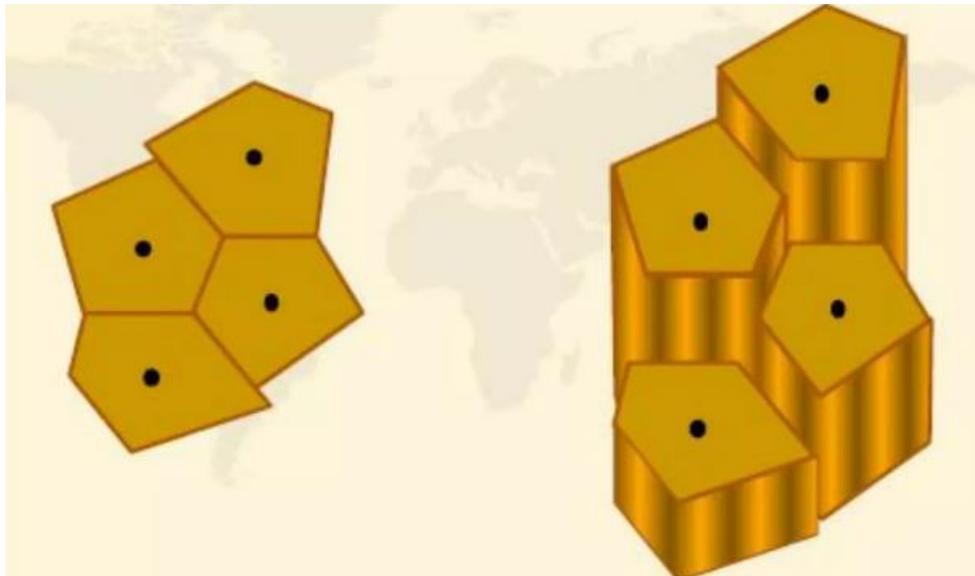


Figura 2-6 - Método de los polígonos (<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Cuando se divide el yacimiento en polígonos es de importancia capital que se dibujen correctamente, es decir, cubriendo toda el área que deben cubrir sin dejar ningún hueco entre polígonos.[2]

2.3.2.1 Método de cálculo

Después de dividir la planta del depósito en polígonos, se numeran (normalmente con el mismo número del sondeo central) y se mide la superficie F de cada uno de ellos proyectada sobre un plano horizontal.

El volumen de mineral por polígono se obtiene multiplicando la superficie F por la potencia cortada por el sondeo (potencia aparente si el sondeo o el cuerpo mineral están inclinados), es decir,

$$V_p = F * P_a$$

en el caso de la Figura 2-7, que muestra un perfil de un prisma correspondiente a un polígono determinado, en el cual se corta una capa inclinada α^0 .

Las reservas de mineral por polígono R_p , se calculan multiplicando el volumen de cada uno de ellos por la densidad, y las de metal Ru_p , multiplicando por la ley L_p , es decir:

$$R_p = V_p * d_p \text{ y } Ru_p = R * \frac{L_p}{100}$$

supuesto que la ley viene expresada en porcentaje.

Las reservas totales R se obtienen sumando las de todos los polígonos

Carlos Peña Mirones

$$R = \Sigma R_p$$

La ley media del depósito se calcula ponderando la de los polígonos con sus tonelajes correspondientes:

$$L = \frac{\Sigma L_p * R_p}{\Sigma R_p}$$

El contorno externo de los polígonos del exterior del yacimiento debe calcularse por cualquier método de los existentes, preferiblemente con carácter previo a la poligonación general, ya que el de polígonos no lo puede precisar.

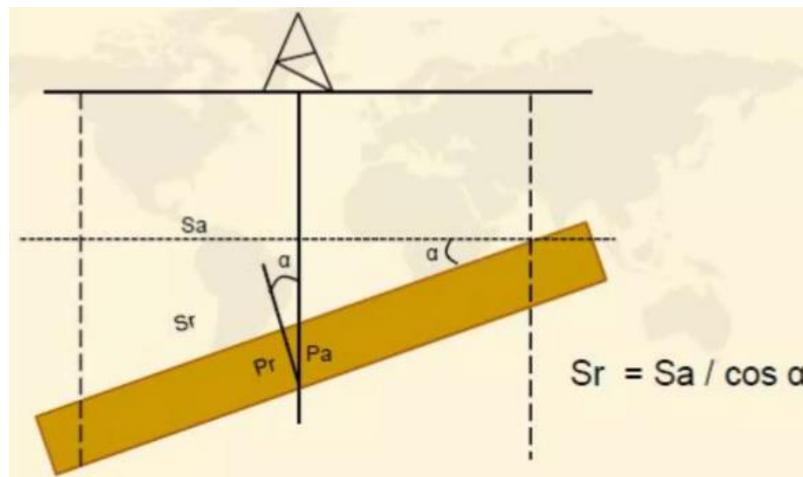


Figura 2-7 - Método de los polígonos (<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Una variante del método consiste en dar un peso a los sondeos vecinos en la ponderación. Por ejemplo, el sondeo central puede ponderar un 50 % y los periféricos otro tanto. Con ello se pretende remediar una de las críticas más fuertes al método, que es evaluar el polígono con un solo dato, ignorando la información de los sondeos circundantes. Esta ponderación es arbitraria y no aplicable al espesor.[25]

2.3.2.2 Ventajas e inconvenientes del método

La ventaja principal del método de los polígonos la constituye la sencillez del mismo.

Los inconvenientes más notorios son que no existe concordancia entre los prismas y la morfología real del yacimiento, y que los polígonos no delimitan realmente zonas con distintas clases de menas, zonas explotables, leyes, tipo de reservas, etc. Por ello, este método es aplicable a depósitos horizontales o subhorizontales, con pequeñas variaciones de potencia y ley. En otro caso debe operarse con mucho cuidado para no cometer errores de importancia, especialmente en yacimientos lentejonares pobremente investigados. En estos casos, el depósito debe poder delimitarse por otro método.[2]

Cada polígono debe representar a todos los parámetros que se consideran (potencia, ley, densidad). Hay que evitar la superposición de polígonos correspondientes a distintos parámetros.

Los datos aislados dan lugar a polígonos muy irregulares que difícilmente tienen significación física.

El yacimiento debe ser tectónicamente tranquilo. La presencia de pliegues y fallas puede inducir cometer errores de importancia.

2.3.3 Método de los triángulos

Se basa en unir los sondeos o puntos con datos mediante líneas rectas, formando un mallado triangular. Cada triángulo es la base de un prisma en el que la potencia, la ley y la densidad son constantes. Estos parámetros se calculan a partir de los valores de los tres puntos que han servido para definir el triángulo, y que son los vértices de este, (Figura 2-8).[25]

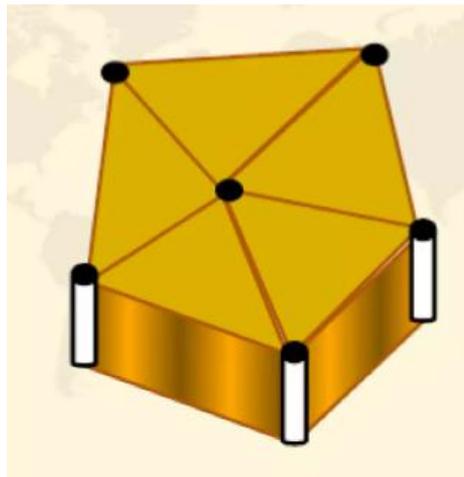


Figura 2-8 - Método de los triángulos (<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Se parte de la superficie del yacimiento proyectada en un plano, dividida en triángulos. El primer paso es numerar y superficiar cada triángulo.

F_t = Superficie de cada triángulo

A continuación, se calcula la potencia media como la media aritmética de las tres potencias de los datos situados en los vértices del triángulo.

$$P_t = \Sigma P_i / 3$$

Carlos Peña Mirones

Para calcular el volumen de mineral en cada prisma triangular se multiplica la superficie por la potencia media representativa.

$$Vt = Ft * Pt$$

Las reservas por prisma se obtienen multiplicando por la densidad correspondiente. Si es constante, por el valor fijo; si no lo es, por la calculada como media aritmética de los tres valores, o bien como media ponderada de ellos con las potencias respectivas.

$$dt = \sum di/3$$

$$dt = \frac{\sum di * Pi}{\sum Pi}$$

La ley de cada prisma se estima a partir de los parámetros de los tres vértices, bien como media aritmética de las leyes de los tres, o como media ponderada con potencias y densidades. Algunos autores propugnan la ponderación con los ángulos del triángulo. (Figura 2-9) No obstante, se ha observado que la presencia de ángulos muy agudos produce desviaciones significativas, por lo cual los triángulos se deben construir tan equiláteros (ángulos de 60°) como las condiciones lo permitan.[25]

$$Lt = \sum \frac{Li}{3}$$

$$Lt = \frac{\sum Li * Pi * di}{\sum Pi * di}$$

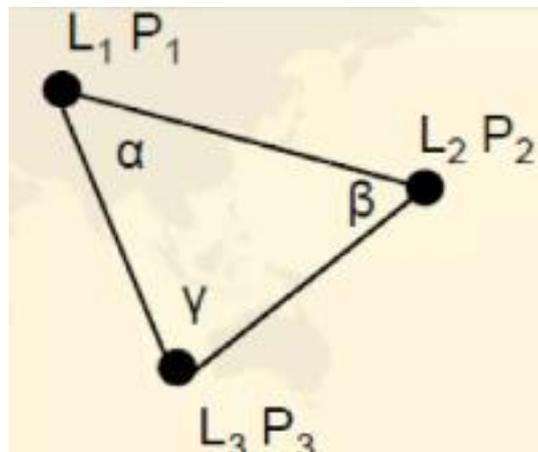


Figura 2-9 - Método de los triángulos (<https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>)

Las reservas totales son la suma de las reservas de todos los prismas triangulares, y su ley es la ley media ponderada con el tonelaje para todos los prismas igualmente.

Reservas de metal:

$$R_{ut} = \frac{R_t * L_t}{100}$$

Reservas totales:

$$R_u = \sum R_{ut}$$

Se calcula la ley media

$$L = \frac{\sum L_t * R_{ut}}{R_{ut}}$$

2.3.3.1 Ventajas e inconvenientes

Es un método que pretende mejorar la precisión que se obtiene con el de polígonos; por ello las recomendaciones para su utilización son las mismas que las realizadas para éste.

A pesar de ello, puede dar lugar a errores de evaluación, es bastante laborioso y, en consecuencia, se usa raramente.

2.4 DIFERENTES SOFTWARES PARA EVALUACIÓN Y MODELIZACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Los softwares de evaluación y modelización de yacimientos minerales son esenciales en la industria minera y geológica. Proporcionan precisión en la estimación de recursos, optimización en la planificación de minas y cumplimiento de regulaciones. Esto reduce costos, mejora la seguridad en el trabajo y garantiza una mayor rentabilidad. Además, facilitan la toma de decisiones informadas y permiten la exploración más eficiente. La automatización y análisis de datos mejoran la productividad, y la consideración de impactos ambientales contribuye a una minería más sostenible. En un mercado global, estos softwares son clave para mantener la competitividad en una industria en constante cambio y bajo estrictas regulaciones. Algunos ejemplos de estos softwares son:[7]

2.4.1 Datamine

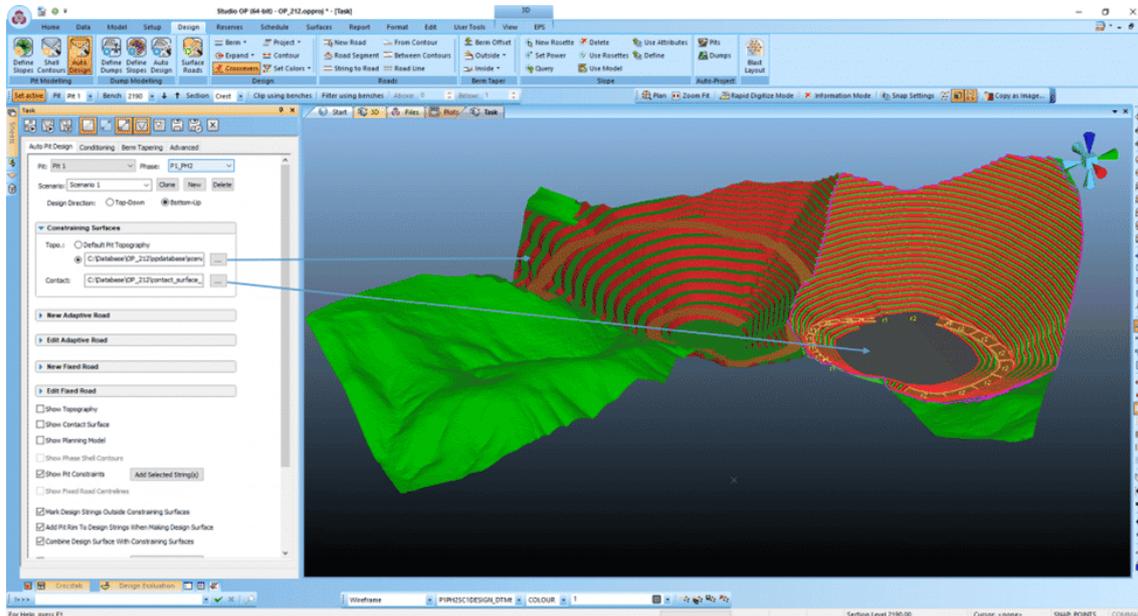


Figura 2-10 - Ejemplo software Datamine (<https://www.dataminesoftware.com/es/novo-lancamento-de-studio-op-versao-2-12/>)

Datamine es una suite de software ampliamente utilizada en la industria minera y geológica para una variedad de aplicaciones relacionadas con la evaluación y modelización de yacimientos minerales. Datamine es conocido principalmente por su capacidad en la planificación y diseño de minas, aunque ofrece una gama completa de herramientas que son esenciales en todas las etapas del ciclo de vida de un yacimiento minero.[26]

2.4.1.1 Características clave de Datamine:

- **Planificación Minera:** Datamine permite la planificación y diseño de minas a cielo abierto y subterráneas. Los ingenieros pueden utilizar esta herramienta para crear diseños de minas que optimicen la extracción de recursos minerales mientras cumplen con las restricciones geológicas y operativas.
- **Modelización Geológica:** Facilita la modelización geológica tridimensional, lo que significa que se pueden construir modelos geológicos detallados que representan la distribución de minerales en el subsuelo. Estos modelos son fundamentales para la estimación de recursos y reservas minerales.
- **Estimación de Recursos y Reservas:** Datamine ofrece herramientas avanzadas para la estimación de recursos minerales y la conversión de estos recursos en reservas. Esto es esencial para la planificación de la producción y la toma de decisiones financieras.

- **Gestión de Datos Geológicos:** El software permite la gestión eficiente de datos geológicos y de perforación, incluyendo la integración de datos de múltiples fuentes y la creación de bases de datos geológicas coherentes.
- **Inteligencia artificial:** La inteligencia artificial y el aprendizaje automático se posicionan como recursos poderosos para llevar a cabo análisis avanzados y proporcionar respaldo en la toma de decisiones. La empresa continúa evaluando las oportunidades disponibles con sus clientes, garantizando que estos tengan acceso a tecnología probada que beneficie sus operaciones comerciales.
- **Otras características:** Interfaz Windows, Gráfica 3-D de última generación, Conexión Directa con otros Sistemas a través de Nuestros Data Source, Drivers, DBMS Relacional, Automatización de los Procesos, Soporte en línea de primer nivel.[26]

2.4.1.2 Aplicación en Evaluación de Yacimientos:

Datamine se utiliza comúnmente en la evaluación de yacimientos minerales. Los geólogos y profesionales de la minería confían en esta herramienta para construir modelos geológicos precisos, estimar recursos y reservas con confianza y diseñar minas que sean eficientes desde el punto de vista operativo y rentables desde el punto de vista financiero.[26]

2.4.2 Maptek Vulcan



Figura 2-11 - Logo Maptek (<https://www.maptek.com/cl/>)

Vulcan es otro software ampliamente reconocido en la industria minera y geológica que se utiliza para la evaluación y modelización de yacimientos minerales. Al igual que

Datamine, Vulcan ofrece un conjunto completo de características que abarcan desde la construcción de modelos geológicos hasta la planificación de minas.[23]

2.4.2.1 Características clave de Vulcan

- **Exploración y evaluación de recursos:** Vulcan es una plataforma que proporciona un entorno interactivo de visualización y modelado en 3D para la creación y validación de modelos de exploración geológica. Esta herramienta facilita la gestión y validación de datos de sondajes, geofísicos, litológicos y analíticos, permitiendo a los usuarios trabajar con dominios geológicos complejos.
- **Diseño y desarrollo minero:** Las herramientas de diseño de minas de Vulcan brindan la capacidad de considerar la geología de un sitio y crear planes de mina óptimos que aseguren fases rentables de producción. Esto incluye la predicción del uso de maquinaria, la generación de diseños de carreteras eficientes y el análisis de diversos escenarios de productividad antes de iniciar las operaciones.
- **Operaciones mineras:** El proceso de desarrollo de una mina operativa es un desafío costoso y complejo, y en este contexto, Vulcan emerge como una herramienta esencial. Vulcan desempeña un papel fundamental al refinar modelos geológicos y de recursos, calcular reservas, desarrollar planes a corto y largo plazo, y programar operaciones mineras. Su capacidad para discernir con precisión el material mineral del estéril es clave para maximizar las ganancias y minimizar el desperdicio de recursos. Al aprovechar las capacidades geológicas en 3D de Vulcan, se puede optimizar eficazmente un plan minero, empleando herramientas avanzadas de grillas, modelado de bloques y estimación de leyes. Además, Vulcan facilita la planificación, el diseño de sistemas viales equilibrados, la programación interactiva a corto plazo y la evaluación de múltiples escenarios para garantizar resultados óptimos.
- **Optimización y programación:** La integración del diseño y la programación minera es esencial para garantizar la utilización de los datos más recientes. Vulcan ofrece herramientas de programación con una interfaz fácil de usar que simplifica la configuración de programas, con opciones de visualización previa, animación y reportes para presentar planes de manera clara. Las herramientas de optimización de tajos permiten alcanzar planes mineros óptimos, ajustados a los precios de las materias primas, y validar diseños para una operación segura.
- **Cierre de la mina:** Vulcan permite aprovechar el conocimiento derivado del análisis y retroalimentar el plan minero, brindando confianza y contribuyendo a operaciones más productivas. La programación de pilas de baja ley para alimentar el molino conforme avanza el relleno agrega valor y certidumbre al proceso de recuperación. Vulcan también proporciona herramientas integrales para planificar la rehabilitación de manera eficiente y cumplir con los requisitos

normativos y ambientales en todas las etapas de la minería, permitiendo el modelado de volúmenes de corte y relleno.[23]

2.4.2.2 Aplicación en Evaluación de Yacimientos:

Vulcan cuenta con diferentes paquetes y se emplea en toda la vida de la mina; en la evaluación y modelización de yacimientos minerales desde la construcción de modelos geológicos precisos hasta la estimación de recursos y reservas, y finalmente en la planificación de operaciones mineras.[23]

2.4.3 RecMin



Figura 2-12 - Logo RecMin. (<https://www.RecMin.com/>)

RecMin es el software que se ha elegido para la realización de este trabajo, En este apartado se explicará brevemente de que trata el programa, y más adelante se explicará con más detalle en el apartado 5.4 además de hablar de sus ventajas y desventajas en las conclusiones.[24]

2.4.3.1 Características clave de RecMin.

Características clave de RecMin (versión gratuita):

- **Acceso Libre:** RecMin es un software de minería de uso libre, disponible para profesionales de geología o minería sin restricciones. La descarga es gratuita, sin necesidad de proporcionar datos personales.
- **Importación de Datos:** Permite importar tablas de Excel en formato TXT con información topográfica de teodolito, GPS, estación total, cinta y brújula, incluyendo puntos de topografía, líneas de quiebre, escombreras, entre otros.

Carlos Peña Mirones

- **Visualización 3D y Edición:** Ofrece la capacidad de visualizar la información importada en 3D, realizar ediciones, triangulación, cálculos de áreas y volúmenes.
- **Modelo de Bloques y Estimación de Leyes:** Construye modelos de bloques y realiza estimaciones de leyes utilizando el inverso de la distancia considerando direcciones de anisotropía.
- **Compatibilidad con Otros Software:** Es compatible con otros software mineros mediante el intercambio de información en formatos como DXF para ficheros de vectores y TXT para ficheros de datos.[24]

2.4.3.2 Aplicación en Evaluación de Yacimientos:

La aplicación de RecMin en evaluación de yacimientos es bastante limitada al ser un software gratuito, sin embargo, la versión PRO ofrece características más avanzadas para empresas que buscan funcionalidades adicionales y soporte exclusivo.[24]

3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la realización de una cubicación de las reservas del yacimiento "La Infanta", aplicando para ello el programa informático RecMin. Este objetivo implica la aplicación de herramientas de modelización y el análisis de los datos geológicos tanto de prospección como de perforación existentes en el Fondo Mina Reocín, siendo esta la información básica y de partida para la realización del trabajo.

Otros objetivos son:

- Recopilación de toda la información existente sobre el yacimiento objeto de estudio, tanto en el Fondo Mina Reocín como en otras posibles fuentes.
- Interpretación y depuración de los datos obtenidos del Fondo Mina Reocín.
- Manejo del software RecMin como herramienta de modelización y cubicación del yacimiento.
- Estudio de las ventajas e inconvenientes del software RecMin.
- Con la cubicación obtenida, realizar una valoración económica del yacimiento para una posible explotación.

4 **ÁREA DE ESTUDIO**

4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El yacimiento denominado La Infanta, se encuentra localizado en una zona al Sur de la Península Ibérica, en la Comunidad Autónoma de Andalucía, en la provincia de Huelva término municipal de Puebla de Guzmán.[21]

Se trata de una concesión minera de 6 hectáreas ubicada entre las localidades de Paymogo y Puebla de Guzmán, a 9 kilómetros de esta última y a 80 kilómetros de Huelva. Se llega a través de la carretera HU-5401. (Figura 4-1).[21]

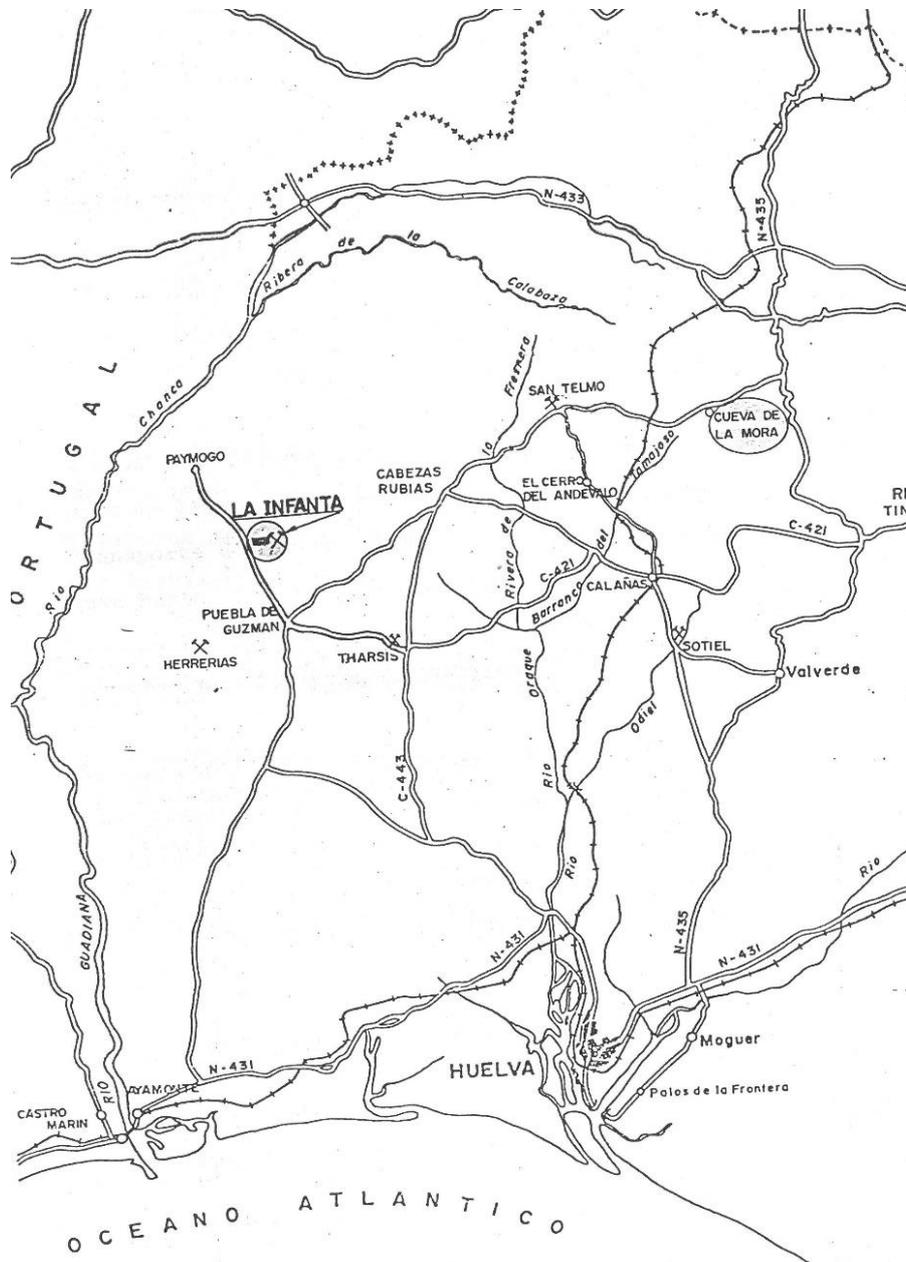


Figura 4-1 - Localización de la Mina “La Infanta” Fondo Mina Reocín (Andalucía-Huelva 4-6 Estudio preliminar para la determinación de costes y aspectos operativos en la concesión “La Infanta” (Huelva) Jun. 1982)

4.2 GEOLOGÍA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO



El área de estudio se localiza en la Hoja Geológica 1:50000 número 958 denominada Puebla de Guzmán.

La estratigrafía de esta hoja comprende:

4.2.1 Devónico

Los materiales más antiguos son de edad Devónico, de los cuales, en la mayor parte de la mitad meridional de la Hoja (Figura 4-1) afloran pizarras con intercalaciones de cuarcitas y niveles calcáreos. Se trata de la formación más antigua conocida de la secuencia sedimentaria y, en consecuencia, constituye siempre los núcleos de las estructuras anticlinales.[9]

Las pizarras constituyen la litología más frecuente. Estas pizarras son predominantemente sericíticas, de color gris, a veces negruzco, que por alteración pasan a tonalidades marrones rojizas. Además, presentan esquistosidad acusada, que enmascara totalmente la estratificación. Las cuarcitas, en capas y lentejones, aparecen interestratificadas entre pizarras. Son rocas de grano fino, formadas fundamentalmente por cuarzo con láminas de sericita, que pueden ser ferruginosas.[9]

4.2.1.1 Fameniense

Los siguientes materiales son de edad Fameniense donde, a techo de las pizarras y cuarcitas, aparecen afloramientos discontinuos de calizas bioclásticas y masivas. Entre las primeras, que son las más abundantes, predominan calcarenitas con tallos de crinoides, que localmente pasan a calcirruditas y calcilutitas. [9]

Se han incluido en el mapa (Figura 4-1) cinco afloramientos de rocas carbonatadas, cuatro en el flanco norte y uno en el flanco sur del Anticlinal. El más importante se encuentra inmediatamente al oeste de Cabezas del Pasto, en las inmediaciones del antiguo ferrocarril minero al Puerto de la Laja, con corrida del orden de 5 Km. en dirección suroeste. De los restantes, los dos más destacados están situados en el oeste de la zona estudiada (y continúan por el cierre periclinal de Pomarao, al otro lado del río Chanza.) [9]

4.2.2 Carbonífero Inferior

A techo y en concordancia con el Devónico Superior se encuentra una importante unidad, litológicamente heterogénea compuesta por rocas volcánicas submarinas, con términos que van desde ácidos a básicos, y un armazón sedimentario constituido principalmente por pizarras, con aportes variables de elementos terrígenos detríticos y componentes biogénicos, químicos y volcánicos. Este complejo grupo estratigráfico imprime carácter a la región y se conoce en la literatura geológica con la denominación

de Complejo Volcánico Sedimentario (C.V.S.) y también como V.S. por predominar en él litologías volcánicas y silíceas. [9]

En general se trata de un vulcanismo fisural explosivo en el que predominan rocas ácidas piroclásticas con tamaño de clastos de grueso a fino y textura frecuentemente porfídicas lavas, brechas y conglomerados. El vulcanismo básico se encuentra representado por rocas extrusivas e intrusivas. La ubicación de los focos se supone próxima a la máxima concentración de piroclastos gruesos y coladas lávicas. [9]

Se caracteriza esta unidad por frecuentes y bruscos cambios de facies, tanto en la horizontal como en la vertical, y no sólo entre productos volcánicos sino también entre éstos y los sedimentos. [9]

El espesor del C.V.S., considerado en conjunto, es muy variable de unos puntos a otros de la Faja Pirítica. Para los afloramientos de esta Hoja se han calculado potencias máximas superiores a 700 metros, mientras que casi están ausentes en el flanco sur del sinclinal de Herrerías. [9]

Las rocas sedimentarias interdigitadas con los productos volcánicos confirman, junto con estructuras "pillow", granoclasificación, etc., el carácter submarino de las efusiones y permiten establecer períodos de actividad volcánica intensa, separados por épocas de tranquilidad total o parcial en los que la sedimentación continuó ininterrumpidamente. Esto hace posible una cronología relativa de los episodios volcánicos válida al menos para la misma unidad estructural siempre que haya continuidad de afloramiento. En base a estas consideraciones se estudian a continuación las diferentes formaciones del grupo volcano-sedimentario de gran importancia minera, ya que asociado al vulcanismo ácido aparecen todos los yacimientos de sulfuros polimetálicos y de manganeso de esta provincia metalogénica. [9]

4.2.2.1 Viseiense Superior

En concordancia con el Complejo Volcánico Sedimentario se depositó una monótona serie alternante de pizarras y grauvacas, que constituyen el Grupo Culm de la columna litoestratigráfica general (Figura 4-2). [9]

Estos sedimentos afloran en sinclinales, de dirección aproximada este-oeste, distinguiéndose de norte a sur algunas estructuras. Muestran contactos verticales o invertidos con el Complejo Volcánico-Sedimentario, a veces con fallas locales. La sedimentación comienza con un nivel pizarroso fosilífero de 20 m de espesor, seguido por capas bien estratificadas de pizarras y grauvacas. La relación grauvacas/pizarra sugiere facies proximales en el abanico intermedio de la cuenca turbidítica, con numerosos yacimientos fosilíferos datados como Viseiense Superior. [9]

En cuanto a las características sedimentarias, las pizarras son limolíticas, a veces carbonosas, de color gris oscuro, con potencia variable. Las grauvacas presentan fragmentos líticos angulosos y poligénicos, con tamaños de grano que oscilan entre gruesos y finos. Se observan estructuras sedimentarias como "flute casts" y una variedad de características internas como granoclasificación, laminaciones y "ripple marks". Aparecen niveles de microconglomerados asociados a las capas más gruesas. La presencia de yacimientos fosilíferos, principalmente en capas de pizarra, permite datar la formación como Viseiense Superior, aunque la evaluación precisa del espesor de la serie turbidítica es desafiante debido a variaciones estructurales, superando en general los 200 m en la zona estudiada. [9]

4.2.3 Cuaternario

La estratigrafía del periodo Cuaternario presenta una variada secuencia sedimentaria que incluye limos, arenas y gravas que se encuentran formando aluviones además de arenas, gravas y arcillas con niveles arenosos. [9]

4.2.4 Tectónica

Las rocas de la Faja Pirítica han sido afectadas por la Orogenia Hercínica que actuó en varias fases de intensidad diferente, originando estructuras generales cuya dirección pasa de NO-SE, en Portugal, a casi E-O en Huelva y Sevilla. [9]

Se pueden establecer tres fases de plegamiento y una de fracturación. Dentro de las primeras es posible diferenciar en algunos casos estadios o subfases tanto precoces como tardíos. El grado de deformación de los materiales varía en función de su competencia y del lugar que ocupan en la pila sedimentaria. (Servicio de Publicaciones Ministerio de industria y energía-1982) [9]

La zona de estudio comprende uno de los yacimientos de minerales polimetálicos de la llamada Faja Pirítica del Suroeste ibérica. [9]

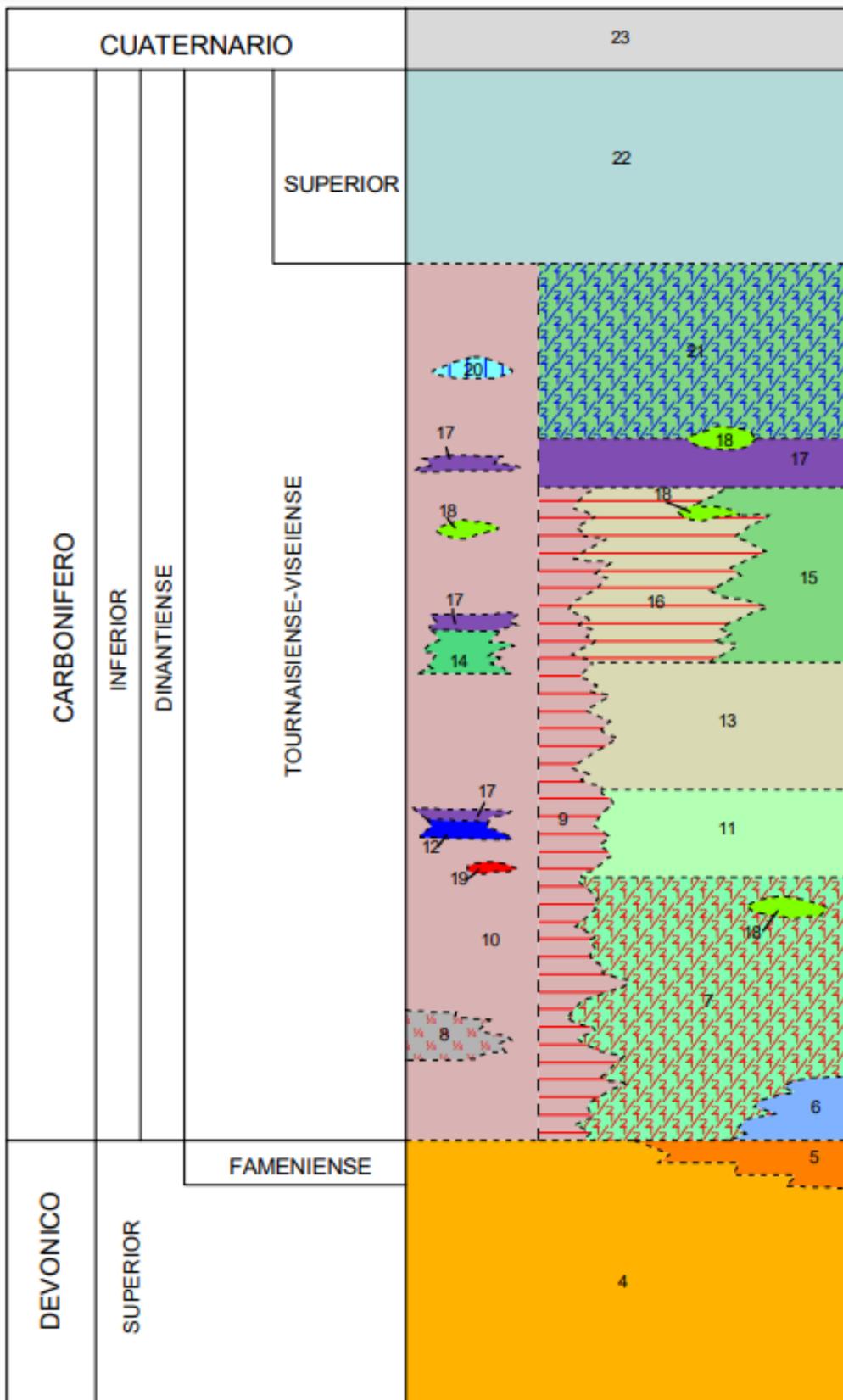


Figura 4-3 Columna estratigráfica. MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).

ROCAS INTRUSIVAS Y FILONIANAS



Figura 4-4 Columna estratigráfica. MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).

Número	Leyenda
23	Arenas, gravas y fangolitas
22	Pizarras, pizarras y grauvacas con Posidonimyas Archaeocalamites y Goniatites
21	Tobas, brechas, lavas y tufitas ácidas
20	Calizas
19	Cuarcitas
18	Lentejones de Jaspes
17	Pizarras y tufitas violetas "Pizarras moradas"
16	Pizarras vinosas y tufitas
15	Tobas y tufitas ácidas
14	Lavas, tobas y tufitas ácidas
13	Pizarras, areniscas, cuarcitas con nódulos y capillas de Hierro y Manganeso
12	Volcanismo básico
11	Lavas y tobas básicas espilíticas
10	Pizarras, cuarcitas, areniscas y cuarzovacas con nódulos y capillas de Hierro y Manganeso
9	Pizarras y tufitas
8	Tobas cloríticas lítico-cristalinas
7	Lavas, brechas, tobas y tufitas ácidas cuarzo queratofídicas
6	Volcanismo de Cabezón

5	Pizarras y nódulos calcáreos
4	Pizarras, areniscas y cuarcitas
3	Ultrabásicas
2	Diabasas y facies de contacto
1	Porfiritas albíticas

Tabla 4-1 - Leyenda mapa geológico Puebla de Guzmán (MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN).)

4.3 LA FAJA PIRÍTICA DEL SUROESTE IBÉRICO.

La Faja Pirítica del Sudoeste Ibérico es una formación geológica situada en la parte suroeste de la Península Ibérica. Es conocida por sus abundantes recursos minerales, que se han extraído extensamente durante siglos, desde hace más de 5000 años hasta hoy. Esta se extiende por las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz en España y la región del Algarve en Portugal.[12]

Esta formación está compuesta por rocas sedimentarias que se formaron durante los períodos Carbonífero Superior y Pérmico Inferior, hace aproximadamente 300 millones de años. Los recursos minerales incluyen pirita, cobre, zinc, plomo y oro. La pirita, es el mineral más abundante en la faja Pirítica. Se trata de un yacimiento volcanogénico-sedimentario, con una alta concentración de sulfuros masivos y una extensión aproximada de 250km de largo y 30-50km de ancho, iniciándose en Portugal y extendiéndose hasta Sevilla (España).[5]

Con más de 70 minas y explotaciones intermitentes, este gran yacimiento polimetálico empezó su actividad minera por el siglo XVII a.C., si bien fueron los romanos los que explotaron la Faja Pirítica ibérica con mayor intensidad. Hoy día, minas como Aguas Teñidas, Riotinto y Cobre Las Cruces son las más importantes de España en producción de metales. (Figura 4-5) [11]

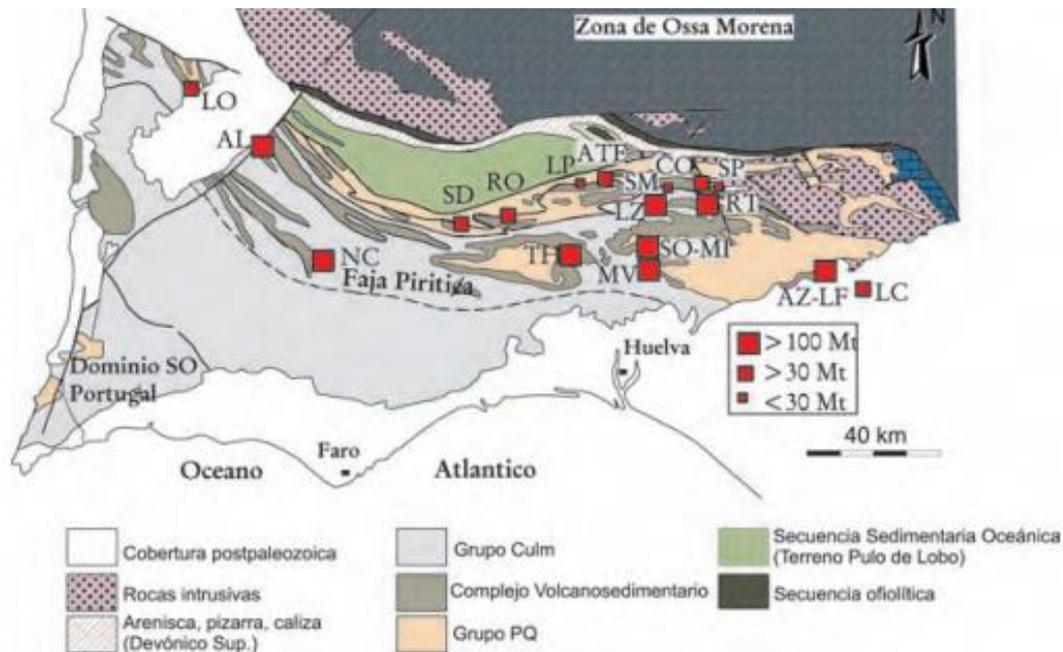


Figura 4-5 Encuadre geológico de la Faja Pirítica Ibérica. Modificado de (IGME, 1982) y (Tornos, 2006). Depósitos de sulfuros masivos: AL: Aljustrel; AT: Aguas Teñidas; ATE: Aguas Teñidas Este; AZ: Aznalcóllar; CM: Cueva de la Mora; CO: Concepción; HE: Herrerías; LF: Los Frailes; LC: Las Cruces; LO: Lousal; LP: Lomero-Poyatos; LZ: La Zarza; MI: Migollas; NC: Neves Corvo; RT: Río Tinto; SI: Silos; RO: Romanera; SD: Sao Domingos; SO: Sotiel; SM: San Miguel; SP: San Platón; ST: San Telmo; TH: Tharsis; VA: Valverde; VF: Vuelta Falsa. Vp: Virgen de la Peña. (Modificado de (Tornos, 2006))

4.4 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA INFANTA

La empresa PHELPS DODOGÉ española Co y Cía llevó a cabo un minucioso levantamiento geológico-minero a escala 1:500, según los documentos presentes en el Fondo de la mina de Reocín.

Los materiales que afloran en esta área comprenden tobas líticas que han experimentado un proceso de silicificación, presentando fragmentos en su composición. Estos materiales se localizan al sur del nivel que alberga la mineralización. Además de las tobas líticas silicificadas, se han identificado cineritas de tonalidades moradas, grises y verdes, así como pizarras. [22]

4.5 EL YACIMIENTO DE LA INFANTA

La Infanta es un yacimiento polimetálico de Plomo, Cobre, Zinc y Plata ubicado entre las localidades de Paymogo y Puebla de Guzmán, en las inmediaciones de la denominada Faja Pirítica del Suroeste Ibérico. [21]

La concesión de "La Infanta" ocupa una estrecha franja del área mineralizada, con una orientación sensiblemente paralela al afloramiento.

La dirección del criadero está perfectamente marcada sobre el terreno, tanto por su afloramiento como por una serie de pocillos y calicatas, que datan la mayor parte de finales del siglo pasado.

Entre los trabajos mineros realizados en la zona destaca (según I. Pinedo "Las Piritas de Huelva"- 1963) el pozo Poniente que alcanzó los 60 m; a los 30 m. partía una travesía que cortó dos filones bien metalizados, con potencias de 1,50 y 0,90 m., apareciendo el primero después en el pozo, al nivel 47. Es también de alguna consideración el pozo Levante o Este, de 48 m. de profundidad, que con una travesía cortó a los 20 m. un filón de 0,30 m., el cual alcanzó enseguida una potencia de 0,60 m."

El rumbo del afloramiento es E-20°S, buzando el criadero ligeramente al norte, con ángulos de buzamiento de 75° a 90°.

4.6 ACCESIBILIDAD DE LA ZONA

A la concesión se accederá desde la carretera HU-5401 que conecta los pueblos de Paymogo y Puebla de Guzmán. Paymogo se encuentra a 81 kilómetros y una hora en coche del puerto de Huelva lo que permite el transporte del mineral por carretera sin mayores complicaciones.

5 METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este trabajo ha consistido en:

- Búsqueda de información sobre los yacimientos investigados por Asturiana de Zinc S.A. en la Faja Pirítica del Suroeste Ibérico.
- Selección de yacimiento y recopilación de toda la información disponible.
- Búsqueda en otras fuentes de información sobre el yacimiento.
- Estudio y manejo del software RecMin.
- Aplicación del software.
- Depuración de errores.

5.1 SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN APORTADA

La información suministrada por el Fondo Mina Reocín que ha servido como punto de partida para la realización de este trabajo, se resume en los siguientes puntos:

- Phelps Dodge Española. La Infanta. 19 planos de Bloques de reserva de mineral, indicando la sección y el sondeo. Escala 1:250
- AZSA. La Infanta. Plano vertical de situación de sondeos. Escala 1:1000
- AZSA. La Infanta. Plano topográfico con indicación de sondeos realizados y labores mineras. Escala 1:2000
- ASTRUMINERA S. A. Estudio económico de la concesión minera “La Infanta”. Contiene Memoria (1a) y Planos (1b) May. 1977
- ASTRUMINERA S.A. Investigación geofísica en la concesión La Infanta situada en el término municipal de Puebla de Guzmán (Huelva) 31/10/1975
- Observaciones y actualización al estudio de viabilidad La Infanta de Estudios y proyectos Mineros SA. Incluye Anexo: Resumen de los datos aportados en el estudio de viabilidad de Estudios y proyectos Mineros SA.
- Labores de investigación en los grupos mineros Vuelta Falsa, La Romanera, La Carolina, La Infanta. Adjunta 7 planos y Carta de remisión (17/12/1982) Dic. 1982
- Leyes y Fichas de sondeos de la concesión La Infanta (del 1 al 39) 1976-1977

5.2 DEPURACIÓN DE ERRORES

A lo largo de todo el proceso de recopilación de información, es fundamental estar alerta a la presencia de inexactitudes y anomalías que requieren una detección temprana y una corrección precisa antes de embarcarse en cualquier análisis subsiguiente. La razón detrás de esta precaución radica en la necesidad de evitar que estas inexactitudes tengan un impacto negativo en los resultados posteriores, lo que podría afectar la toma de decisiones y la precisión de los hallazgos.

Para identificar estas discrepancias y datos problemáticos, se llevan a cabo diversas estrategias de revisión, que incluyen la búsqueda activa de valores anómalos que se

destacan como picos o puntos inusuales en las representaciones gráficas de distribución de frecuencias. También se presta especial atención a fragmentos de perforación que no se ajustan a las tendencias geológicas esperadas, así como a las instancias en las que se encuentran tipos de roca cuya ubicación no coincide con el modelo geológico previamente establecido.

Este proceso de detección y corrección de inexactitudes se realiza con el propósito de garantizar la calidad y la integridad de los datos recopilados (Figura 5-1), lo que, a su vez, fortalece la base para la toma de decisiones informadas y resultados más confiables en los análisis posteriores.

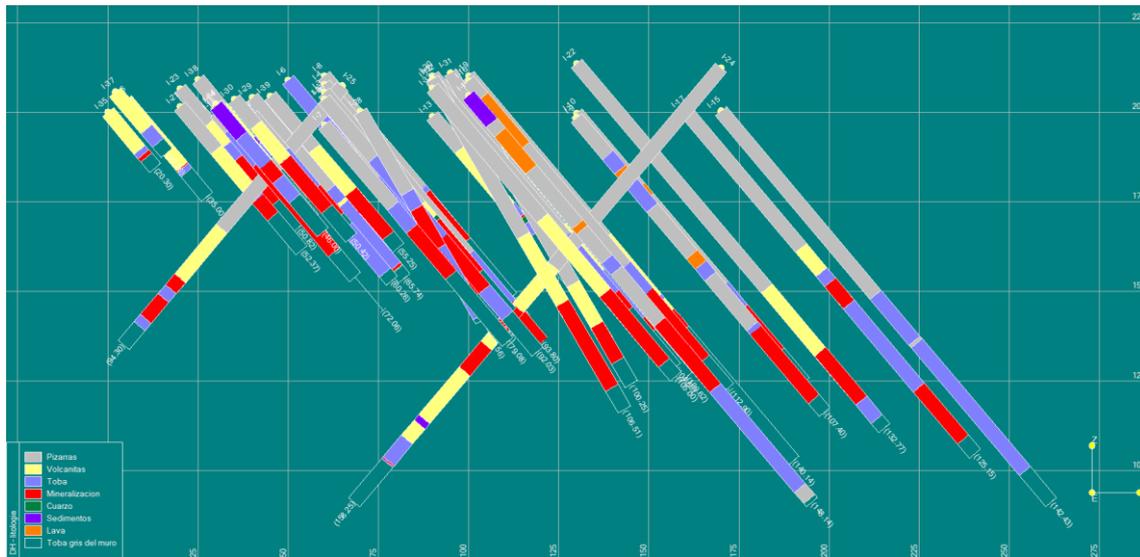


Figura 5-1 - Primera importación de sondeos. (RecMin. Elaboración propia)

En el contexto de la depuración de datos y la evaluación de la calidad de la información geológica, se ha tomado la decisión de eliminar los sondeos I-24 e I-25. En primer lugar, al examinar detenidamente la Figura 5-1, se hace evidente que estos dos sondeos se encuentran en una dirección opuesta en comparación con el resto de los sondeos, lo que plantea un problema inicial en términos de la coherencia de la recopilación de datos.

Sin embargo, el problema no se detiene ahí, ya que, al observar la distribución de la zona mineralizada, se hace evidente que esta no se corresponde con la mineralización observada en los otros sondeos. Este hallazgo plantea interrogantes acerca de la ubicación precisa de estos sondeos, ya que la mineralización que registran no coincide con las tendencias geológicas esperadas en el yacimiento.

Estos factores, en conjunto, sugieren que estos dos sondeos podrían estar mal situados en relación con el resto de los datos. Es probable que su posición correcta esté más hacia

el norte del yacimiento. Por lo tanto, la eliminación de estos sondeos se lleva a cabo con la intención de mantener la coherencia y la precisión de los datos.

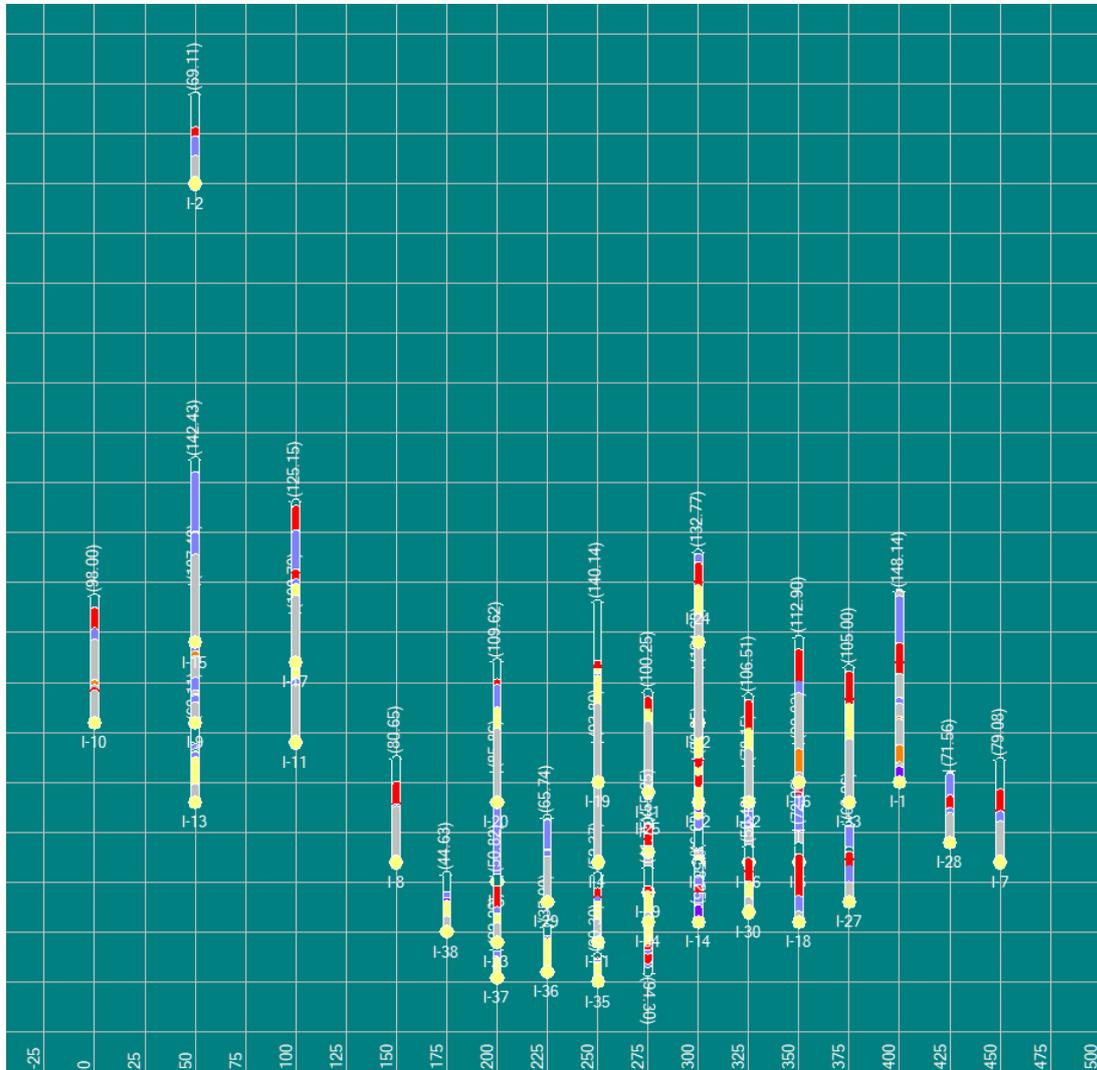


Figura 5-2 - Vista en planta de los sondeos. (RecMin. Elaboración propia)

Resulta evidente también que el sondeo I-2 presenta una notoria separación en relación con los otros sondeos (Figura 5-2), encontrándose a una distancia considerable que lo excluye de la agrupación convencional de datos. Esta distancia excesiva no se ajusta a las tendencias geológicas esperadas, lo que sugiere que su ubicación podría ser inapropiada o, al menos, no está en consonancia con las pautas geológicas típicas del yacimiento.

Dicha disparidad en la ubicación del sondeo I-2 con respecto a los demás datos plantea interrogantes sobre su relevancia y precisión en el contexto del análisis geológico, por tanto, se procede a eliminarlo de la base de datos.

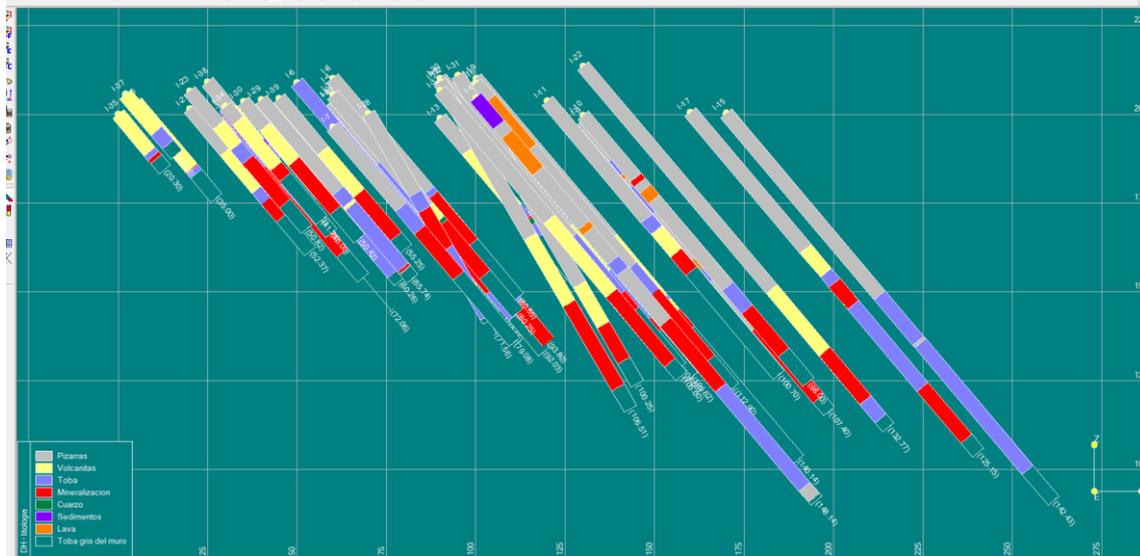


Figura 5-3 - Sondeos utilizados en el trabajo. (RecMin. Elaboración propia)

La Figura 5-3 representa los sondeos que permanecen después de la implementación de las modificaciones previamente discutidas. La representación gráfica muestra claramente los sondeos que han sido seleccionados y mantenidos en el conjunto de datos, mientras que aquellos que presentaban incongruencias o problemas han sido eliminados.

5.3 INTRODUCCIÓN

Como ya se ha explicado anteriormente se utilizará el software de uso libre RecMin para la realización de este trabajo. Desarrollado y programado por César Castañón Fernández, este programa es el resultado de más de dos décadas de colaboración con empresas dedicadas a la Investigación y Explotación de Recursos Minerales, en conjunto con la valiosa contribución de numerosos geólogos e ingenieros.[24]



Figura 5-4 - Logo RecMin. (<https://www.RecMin.com/>)

5.4 RECMIN

5.4.1 Software

RecMin es un software de minería, de uso gratuito. Puede ser utilizado por profesionales geológicos o mineros de cualquier nivel, ya sean corporativos o independientes, para realizar trabajos o realizar investigaciones sin restricciones.

Puede ser utilizado tanto por topógrafos, geólogos o ingenieros de minas, para diversas funciones como:

- Ver la información importada en 3D y editarla. Triangula, calcula el área y, calcula el volumen de una superficie.
- El terreno de la mina se puede actualizar según el avance del trabajo.
- Planificación de perforaciones de exploración convencionales o incluso perforaciones direccionales.
- Se puede importar información de tablas: campos, medidas, litología, alteración, muestras, RQDs, información del terreno, etc.
- Puede validar datos y detectar errores, corregir errores y calcular materiales compuestos.
- Se pueden realizar secciones y se pueden dibujar polígonos de interpretación geológica para finalmente construir sólidos para representar estructuras minerales.
- También es posible construir modelos de bloques y estimar leyes teniendo en cuenta la inversa de la distancia en la dirección de la anisotropía, además, las estimaciones se pueden clasificar. Los bloques se pueden exportar y estimar usando otro software y luego regresar fácilmente a RecMin.
- A partir de los bloques estimados, aplicando un cono flotante o agrupación lógica de bloques (en el caso de minería subterránea), se cuantifica qué bloques son económicamente explotables.
- Se puede deducir qué bloques tienen reservas probadas, probables y posibles y qué bloques son dignos de diseño minero.
- Capacidad para diseñar fosos, vertederos, botaderos, además de poder diseñar galerías, rampas, chimeneas, etc.

5.4.2 Diferentes Paquetes

El programa RecMin consta de cinco módulos independientes:

5.4.2.1 RMyac

El módulo RMyac desempeña una función esencial en la edición de yacimientos, ofreciendo una amplia gama de capacidades, incluyendo la posibilidad de agregar, eliminar y modificar depósitos minerales, modelos de bloques, así como la importación y exportación de archivos DXF, entre otras funciones. También permite realizar cálculos de interpolación, cono invertido y la detección de intersecciones, así como el cálculo de

capas utilizando el método del pentaedro. Además, es posible gestionar los permisos de acceso a la plataforma y trabajar de manera colaborativa en red, incluso con réplicas de bases de datos. [24]

5.4.2.2RMedit

RMedit representa el módulo de edición de sondeos, permitiendo la manipulación integral de los registros de sondeos, que abarca desde la modificación de las coordenadas del punto de inicio, los datos de desviación, la descripción litológica, hasta los resultados de análisis y las intersecciones con depósitos minerales. Además, brinda la capacidad de visualizar gráficos de los datos de las muestras, realizar cálculos de intersecciones basados en umbrales predeterminados y exportar la información. Adicionalmente, es posible gestionar múltiples tablas de datos relacionadas con litologías y muestras, proporcionando una herramienta versátil y completa para la edición y análisis de datos geológicos. [24]

5.4.2.3RMdraw

RMdraw constituye un componente de representación gráfica, que opera en un entorno tridimensional y ofrece diversas funcionalidades. Permite la apertura y edición de distintos elementos, como sondeos, superficies, líneas, modelos de bloques, notas de texto y más. Su interfaz multiventana brinda una visión tridimensional de los objetos, facilitando la generación de superficies, líneas y mallas. También, posibilita la creación de secciones, ejecución de giros y traslaciones, preparación de documentos para impresión, y el cálculo de áreas y volúmenes. Además, se adapta para la preparación de datos en el método pentaedro y permite el trabajo con capas, enriqueciendo así su versatilidad.

5.4.2.4RM3d

RM3d es un componente de renderizado en tres dimensiones que permite visualizar objetos seleccionados en formato 3D. Facilita acciones como acercar, rotar, trasladar, desplazar objetos y modificar la dirección de la iluminación. Además, posibilita la apertura de archivos *.RMR previamente creados en el módulo de dibujo, arrancando el programa directamente desde dicho módulo para visualizar los objetos activos en ese instante. También admite presentaciones automáticas y la preparación de rutas de vuelo a lo largo de objetos específicos. [24]

5.4.2.5RMseg

RMseg representa el sistema para programar respaldos y compresión de bases de datos. Permite agendar copias de seguridad de archivos y directorios de forma semanal, elegir la creación de segundas copias BAK y comprimir bases de datos simultáneamente con la copia de seguridad, reservando las tareas que requieren más tiempo para horas no laborables. También se genera un archivo de registro de incidencias de manera concurrente. [24]

5.4.3 Parte utilizada del Software

En líneas generales, debido a la naturaleza gratuita y no particularmente extensa de RecMin, se ha trabajado con gran parte de este programa, llegando en algunos casos a su capacidad máxima. Se ha utilizado el módulo RMyac para la importación de datos provenientes de sondeos, la generación de bloques y la realización de cálculos con dichos bloques y los sondeos importados, hasta las funcionalidades relacionadas con la visualización tridimensional y la exportación de planos.

5.5 APLICACIÓN DE RECMIN AL YACIMIENTO DE LA INFANTA

Para establecer de manera precisa el modelo geológico del yacimiento "La Infanta", se ha hecho uso de la investigación llevada a cabo en el Fondo Mina Reocín, que proporciona la información necesaria para llevar a cabo este trabajo. Además, la definición del modelo se respalda con datos obtenidos del "Mapa geológico de España", una fuente de referencia editada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), específicamente en lo que respecta a la Hoja 958, que abarca la zona de Puebla de Guzmán. Estos recursos combinados ofrecen una valiosa fuente de información para la construcción de un modelo geológico detallado y preciso del yacimiento "La Infanta".

5.5.1 Importación de sondeos

Se importará la información de los sondeos extraída desde el archivo 5-5 Leyes y Fichas de sondeos de la concesión La Infanta (del 1 al 39) 1976-1977 del Fondo mina de Reocín.

ASTURIANA DE ZINC S.A. FICHA DE SONDEOS — HOJA N° 1

PROSPECCION La Infanta PROVINCIA DE Huelva ESTUDIADO POR Sil Ferrás de

SONDEO N° 7-14 COORDENADAS 7500 E; 2500 N ALTURA DE LA BOCA 209.80 RECUPERACION 1%

FECHA DE COMIENZO 1/7/76 INCLINACION -50° DESVIOS _____

" " TERMINACION 8/7/76 DIRECCION N-S Final del sondeo: 46.00 m.

COLUMNA SONDEO	METROS	DESCRIPCION	ANALISIS					%
			Zn	Pb	Cu	Fe	Ag/gr	
	0.0-9.50	Sin testigo						
	9.50-10.75	Q superficial oxidada.						
	10.75-16.30	Toba silíceosa con Q y puntas de blanda (14.40 m.)						
	16.30-21.45	→ Zona de sedimentos con algo de Q (20.07 fracturada).						
	21.45-26.74	Zona de mineralización Fe+Q + B-G-						
		21.45-23.45 →	4.14	2.08	0.70		57	
		23.45-25.07 →	2.2	1.20	0.70		<10	
		25.07-26.74 →	0.20	0.02	0.14		<10	
	26.74-27.11	Sedimentos (barros) sin testigo.						
	27.11-28.74	Toba cuarzo fracturada.						
	28.74-30.75	Sedimentos (barros) sin testigo.						
	30.75-32.07	Mu. Toba con sílice fracturada.						
	32.07-32.44	Sedimentos (barros) sin testigo.						
	32.44-33.30	Toba silicea con fracturada.						
	33.30-33.85	Sedimentos sin testigo (barros)						
	33.85-46.00	Toba con cuarzo con puntas de blanda, zona de mineralización.						

Figura 5-5 -Ejemplo ficha de sondeos. (Andalucía-Huelva 5-5 Leyes y Fichas de sondeos de la concesión La Infanta (del 1 al 39) 1976-1977)

Los datos de estos documentos han sido copiados a archivos .csv e importados en diferentes paquetes a RecMin:

- Coordenadas Sondeos: Archivo que contiene el Nombre del sondeo, Coordenada Este, Coordenada Norte y Elevación.

Sondeo	X-este	Y-Norte	Altura boca
I-39	275	45	204.5
I-38	175	25	209.1
I-37	200	2	205.6
I-36	225	5	203.3
I-35	250	0	200
I-34	275	30	202.2
I-33	375	90	206.7

Tabla 5-1 Ejemplo del archivo Coordenadas Sondeos (Elaboración Propia)

- Medidas Desviaciones: Archivo que contiene el nombre del sondeo, Inclinación, longitud y dirección.

Sondeo	Dirección	Inclinación (°)	Longitud
--------	-----------	-----------------	----------

I-25	180	-50	94.3
I-24	180	-50	158.25
I-32	0	-60	106.51
I-31	0	-60	100.25
I-28	0	-60	67.36
I-28	0	-60	71.56
I-26	0	-52	78.15

Tabla 5-2 Ejemplo del archivo Medidas Desviaciones (Elaboración Propia)

- Muestras de litología: En este caso ha sido necesario unificar las litologías presentes en los archivos con el fin de simplificar y entender mejor el yacimiento. Este archivo contiene el nombre del sondeo, desde donde empieza cada tramo de litología, hasta donde llega cada tramo de litología y el nombre de cada litología. Las opciones para la litología simplificada son las siguientes:
 - Cuarzo
 - Lava
 - Mineralización
 - Pizarras
 - Sedimentos
 - Toba
 - Toba gris del muro
 - Volcanitas

Sondeo	Inicio	Fin	Litología
I-01	0,00	10,00	Sedimentos
I-01	10,00	13,50	Pizarras
I-01	13,50	27,00	Lava
I-01	27,00	47,00	Pizarras
I-01	47,00	49,00	Lava
I-01	49,00	59,70	Pizarras
I-01	59,70	63,80	Toba
I-01	63,80	82,50	Pizarras
I-01	82,50	106,50	Mineralización
I-01	106,50	143,00	Toba
I-01	143,00	147,07	Pizarras
I-01	147,07	148,14	Toba gris del muro

I-02	0,00	19,50	Pizarras
I-02	19,50	34,90	Toba
I-02	34,90	41,78	Mineralización
I-02	41,78	69,11	Toba gris del muro

Tabla 5-3 Ejemplo del archivo Litologías (Elaboración Propia)

- Tabla de muestras: Este archivo contiene el nombre del sondeo, desde donde empieza cada tramo de muestras, hasta donde llega cada tramo de muestras, cantidad de cobre en % en ese tramo, cantidad de plomo en % en ese tramo, cantidad de zinc en % en ese tramo, cantidad de plata en gramos por tonelada en ese tramo.

Sondeo	Desde	Hasta	Zn	Pb	Cu	Ag
I-1	92.5	92.8	4.67	1.58	3.4	1
I-1	92.8	94.83	1.18	0.2	0.19	10
I-1	94.83	97.52	1.61	0.83	0.25	10
I-1	97.52	98.7	0.2	0.04	0.2	10
I-10	75.48	76.95	0.56	0.42	0.17	10
I-10	73.48	74.48	0.82	0.39	0.17	22

Tabla 5-4 Ejemplo del archivo Tabla de muestras (Elaboración Propia)

5.5.2 Importación de la topografía

En primer lugar, se procedió a la generación de la superficie del terreno a partir de la nube de puntos, la cual fue obtenida del Fondo mina Reocín, en combinación con las coordenadas geoespaciales de los sondeos. Sin embargo, es importante destacar que esta representación del terreno creada mediante RecMin, aunque útil, no alcanza un nivel de realismo óptimo debido a las limitaciones que surgen de la insuficiencia de datos contenidos en la nube de puntos. (Figura 5-6)

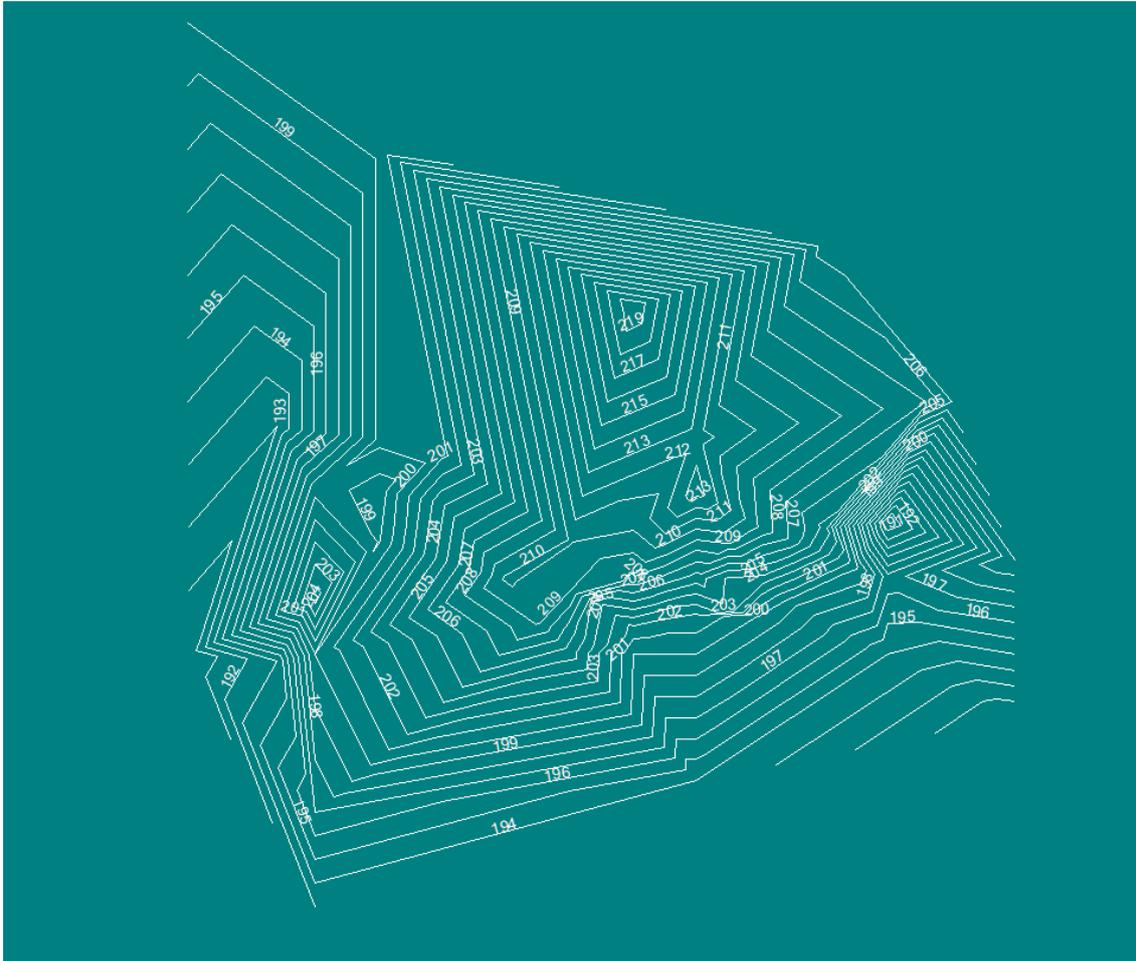


Figura 5-6 - Curvas de nivel de la zona explorada. (RecMin. Elaboración propia.)

5.5.3 Modelo de Bloques

5.5.3.1 Definición

Este método se ha desarrollado para el cálculo de ciertos depósitos principalmente metálicos masivos, ya que en estos casos existe una gran cantidad de cálculos necesarios lo que hace necesario el uso de ordenadores.

Un modelo de bloques es una representación simplificada de un depósito, el cual se discretiza por celdas que tienen el mismo tamaño en cada eje. Cada bloque contiene estimaciones de datos, como la ley del elemento, la densidad y otros valores de entidades geológicas o relacionados a factores de ingeniería cuyos valores han sido previamente calculados mediante métodos de estimación diferentes como distancia inversa al cuadrado, kriging ordinario, kriging de indicadores múltiples, etc. [6]

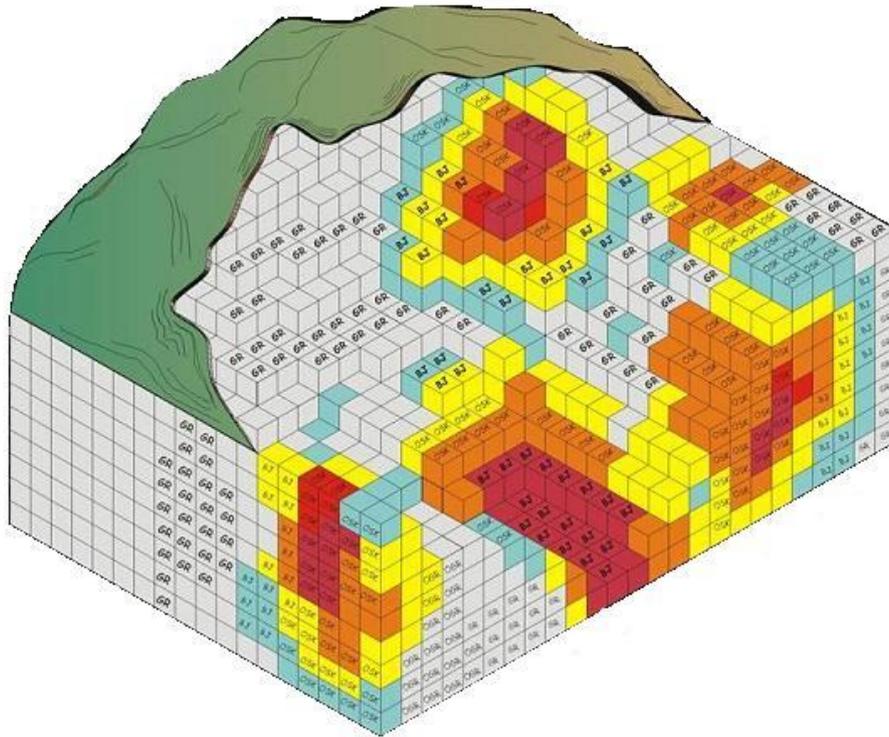


Figura 5-7 -Ejemplo modelo de bloques. (RecMin.com)

Después de importar datos de sondeos, el siguiente paso implica la creación de una red que englobe la zona de estudio y definir con precisión sus límites para delimitar el modelo del mineral. Esto supone la generación de secciones individuales para cada perfil y el trazado manual de líneas que marquen las áreas de mineralización. (Figura 5-8)

Las dimensiones del bloque dependen de:

- Variabilidad de las leyes.
- Continuidad geológica de las mineralizaciones.
- Tamaño y espaciado de las muestras.
- Capacidades de los equipos mineros.
- Taludes de diseño de la explotación.

Las cubicaciones y cálculo de leyes se obtienen sumando o ponderando respectivamente los tonelajes y leyes de los bloques incluidos en el hueco de la explotación.

5.5.3.2 Morfología del yacimiento

5.5.3.3 Generación de bloques y asignación de variables

Se establecen coordenadas límite para cubrir el área de exploración. De norte a sur, de este a oeste, de mayor a menor; definido, con la ayuda del módulo de dibujo observando los límites que abarcan los sondeos, de la siguiente manera:

- Límites mínimos: X=-25, Y=-25, Z=75
- Límites máximos: X=475, Y=275, Z=225

El tamaño escogido para los bloques es de 5x5x2. Debido a que la zona mineralizada tiene forma de filón sin excesiva inclinación se ha decidido que la coordenada Z de los bloques sea más pequeña para una mayor precisión.

Se calcula el índice de bloques en cada dirección con el cual se obtiene el número de bloques en cada coordenada. Para lo que se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de bloque: } \frac{\text{Coord. max.} - \text{Coord. min.}}{\text{Tamaño bloque}}$$

Sucedíéndose los cálculos de la siguiente forma:

$$Idx = \frac{475 - (-25)}{5} = 100$$

$$Idy = \frac{275 - (-25)}{5} = 60$$

$$Idz = \frac{225 - (75)}{2} = 75$$

Como resultado se generaron 100 bloques en el eje X, 60 bloques en el eje Y, y 75 bloques en el eje Z, para un total de 450,000 bloques.

Se crean las siguientes variables para cada bloque:

- IDX: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje X respecto al total
- IDY: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje Y respecto al total
- IDZ: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje Z respecto al total
- TOPO: Entero corto. Valor que ocupa el bloque con respecto a la topografía de la zona: 0 para bloques debajo de topografía; 1 para bloques en el aire (encima de la topografía).
- DENSIDAD: Variable numérica. Densidad del bloque, establecida como $2,7 \frac{t}{m^3}$ para todos los bloques.
- PESO: Variable numérica. Peso del bloque, establecido como 4000kg
- ALTERACION T: Texto. Descripción textual de la litología.
- ALTERACION: Variable numérica. Código numérico para la litología.
- CATEORIA: Variable numérica. Cuyo código puede tener el valor de:

- 1 para reservas medidas
- 2 para reservas indicadas
- 3 para reservas inferidas
- 0 para reservas sin categorizar
- Ag: Variable Numérica cuyo valor contiene la ley de plata del bloque.
- Zn: Variable Numérica cuyo valor contiene la ley de zinc del bloque.
- Cu: Variable Numérica cuyo valor contiene la ley de cobre del bloque.
- Pb: Variable Numérica cuyo valor contiene la ley de plomo del bloque.

[36]

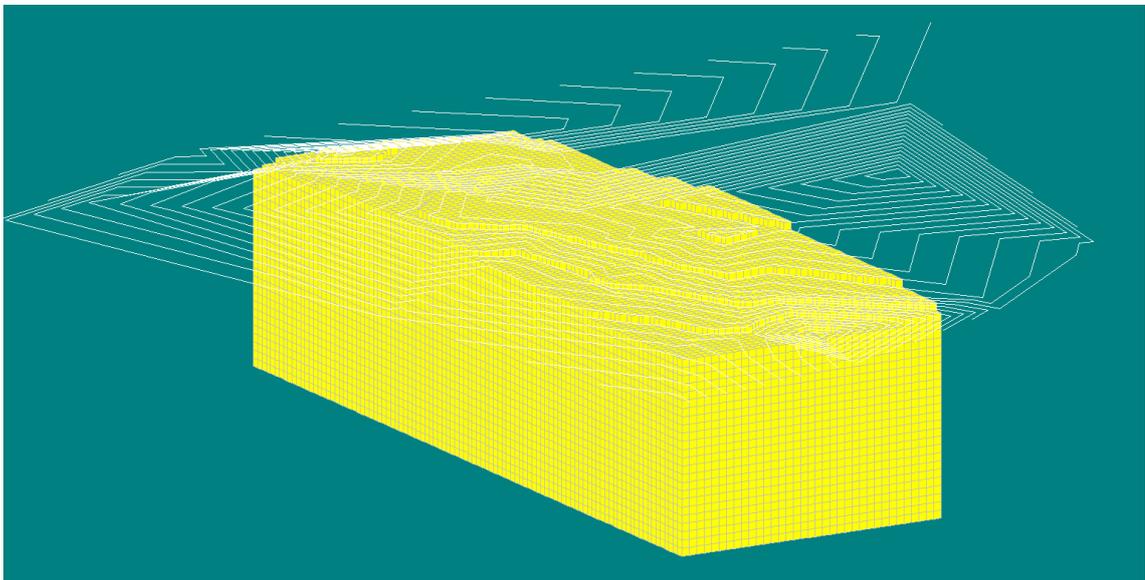


Figura 5-10 - Modelo de bloques recortado por la topografía. (RecMin. Elaboración propia.)

5.5.3.4 Cálculo de las leyes de cada bloque: método inverso de la distancia

Este método se ha implementado ampliamente desde que se generalizó el uso de programas informáticos. Debido que este modelo requiere de muchos cálculos repetidos. Los principios en los que se basa este enfoque son las leyes de los criaderos en un punto determinado relacionados con los puntos que los rodean.[2]

Si se puede conocer la función correspondiente, se pueden calcular los parámetros antes mencionados en puntos no muestreados previamente.

Por lo tanto, el objetivo de este método es asignar a un punto, bloque o caparazón alguna propiedad (potencia o ley) conocida de puntos adyacentes.

Generalmente se acepta que cualquier propiedad que caracterice a un punto tiene menos influencia sobre otro punto dado a cierta distancia de ese punto, cuanto más alejados estén esos puntos entre sí, es decir, es función de la inversa de la distancia.

La fórmula general de ponderación es:

$$L = \frac{\sum \frac{Li}{d_i^m}}{\sum \frac{1}{d_i^m}}$$

en donde:

L = Parámetro considerado, normalmente la ley o la potencia.

Li = Valores conocidos de un parámetro en los puntos dato.

d_i^m = Distancia de los puntos dato al punto de estimación.

Esta fórmula otorga mayor importancia a las muestras cercanas a medida que el exponente 'm' aumenta. El valor de 'm' depende de las características del depósito y suele ser difícil de medir, por lo que generalmente se fija en $m = 2$, que es el valor estadísticamente más representativo en lugares donde se ha realizado medición.[2]

Para el presente trabajo se tomará $m=3$, debido a que no hay datos de sondeos suficientes en la mina de la infanta, de esta manera se opta por un criterio más pesimista y así se cerciorarse de que los resultados son más correctos. [2]

El proceso general para evaluar leyes o potencias mediante este método es el siguiente:

1. Se determina qué muestras del yacimiento son válidas para la evaluación. Se excluyen los puntos atípicos, como aquellos que contienen una mineralización diferente a la evaluada. [2]
2. Se crea una malla regular en el depósito, dividiéndolo en recintos cuadrados de tamaño igual. El punto evaluado se encuentra en el centro del recinto, y el valor del parámetro en ese punto se aplica a todo el recinto. Este valor se calcula considerando las muestras ubicadas dentro de una circunferencia con centro en el centro del recinto. Para este caso utilizaremos la malla de bloques antes creada. [2]
3. Se establecen las condiciones para la estimación:
 - El radio de la circunferencia dentro de la cual se encuentran las muestras utilizadas para determinar el parámetro. [2]
 - El criterio angular para evitar la interacción de muestras muy cercanas y reducir la posibilidad de sobrevalorar una tendencia lineal. Si dos muestras forman un ángulo con vértice en el centro del recinto que es menor que un valor predefinido, generalmente menor de 20-

25 grados, se elimina una de las dos, siguiendo un conjunto de reglas específicas. [2]

- Todas las muestras de tamaño menor o igual a 2 metros se completan con un +/- del 5%. Además, se completan muestras si lo añadido es menor o igual al 25 % o la ley final diluida de cobre es mayor o igual al 25%. [2]
- Se escogerán solo las 10 muestras más cercanas a cada bloque. [2]
- Cuando las mineralizaciones muestran cierta anisotropía en la distribución de los parámetros, se utiliza una elipse en lugar de un círculo de influencia, ajustando la fórmula de ponderación según corresponda. En cálculos tridimensionales, la búsqueda se realiza utilizando esferas y elipsoides. Se crearán elipses de radio 100, con un factor en el eje primario de 1, un factor en el eje secundario de 3.33 y un factor en el eje terciario de 6.25. Con un ángulo de cabeceo de 130 grados, un ángulo de buzamiento de 0 grados y un ángulo entre la dirección de buzamiento y el norte de 0 grados. [2]
- Utilizando en los cálculos distancias anisotrópicas. [2]

4. Se seleccionan las muestras a considerar y se realiza el cálculo correspondiente para cada recinto. [2]
5. Se determina la forma del yacimiento para una ley de corte específica. La ley promedio se obtiene calculando el promedio de las leyes individuales de cada bloque, considerando su superficie, volumen o tonelaje, o como un promedio aritmético. [2]

5.5.3.5 Categorización de los recursos

Con el fin de garantizar un grado de fiabilidad de los recursos estimados, se aplica una clasificación en función del conocimiento que tenemos de cada bloque.

Según el sistema europeo (1959) clasificaremos los recursos en Reservas A, Reservas B, Reservas C y Reservas D:

- Reservas A: Contornos de reservas conocidos, con una malla de investigación densa, margen de error menor al 30%
- Reservas B: Contornos de reservas conocidos con algunas lagunas, margen de error entre el 30% y el 40%
- Reservas C1: Las reservas son conocidas por prospecciones realizadas a grandes intervalos, o se han delimitado por prospección geofísica. El margen de error es del 50 % al 80 %.
- Reservas C2: Las reservas se han explorado por prospecciones aisladas, o bien se ha supuesto su existencia basándose en su posición geológica. El margen de error es superior al 80 %. [2]

A la vista de la información disponible para el yacimiento, se sigue el criterio de considerar:

- Reservas “A”: al mineral con tres o más sondeos en un radio de 150 m.
- Reservas “B”: en el caso de que tenga dos sondeos en un radio de 150m.
- Reservas “C1”: en caso de que haya un sondeo en un radio de 150m.

También se han encontrado recursos sin categorizar que no tienen ningún sondeo en un radio de 150m, se categorizan como reservas C2.

De esta forma, del total de bloques se han categorizado:

- 2900 como reservas A
- 120 como reservas B
- 260 como reservas C1
- 119 como reservas C2.

5.6 DATOS EMPLEADOS

Del Fondo Mina Reocín se recopilaban datos geológicos, informes, mapas, fichas de sondeos y datos topográficos.

5.6.1 Sondeos

De los datos obtenidos sobre el yacimiento La Infanta en el Fondo Mina Reocín, se han utilizado 39 sondeos. De ellos, treinta y tres cortaron mineralización y el resto fueron estériles. En las tablas siguientes se recoge toda la información obtenida de los sondeos empleados en este trabajo. Se destacan en color rojo los nombres de los sondeos que se han descartado tal y como se explicó en el apartado de “Depuración de datos”.

En las tablas siguientes se muestra detalladamente la información de coordenadas, longitud, inclinación, dirección, potencia y mineralización correspondiente a cada sondeo, el tramo mineralizado y los datos de leyes correspondientes.

Estas tablas son la base para la modelización del yacimiento con el software RecMin.

Sondeo	X-este	Y-Norte	Altura boca	Dirección	Inclinación (º)	Longitud	Mineralización			Leyes			
							Desde	Hasta	Potencia	Zn	Pb	Cu	Ag/gr
I-39	275	45	204.5	N-S	-50	55.25	34.97	40.6	5.63	11.98	6.23	1.32	117.86
							49	49.35	0.35	37.45	17	5.91	387
I-38	175	25	209.1	N-S	-50	44.63	24.6	24.66	0.06	28.65	17.46	2.47	266
I-37	200	2	205.6	N-S	-50	22.2			0				
I-36	225	5	203.3	N-S	-50	35	24.25	24.5	0.25	30	18.75	3.79	389
I-35	250	0	200	N-S	-50	20.3			0				
I-34	275	30	202.2	N-S	-50	41.75			0				
I-33	375	90	206.7	N-S	-50	105	76.39	79.8	3.41	10.5	5.24	1.37	181.55
I-32	325	90	209.3	N-S	-60	106.51	72.37	76	3.63	31.2	18.2	3.81	213
I-31	275	95	211	N-S	-60	100.25	81.2	86.5	5.3	18.27	9.52	2.98	205.09
I-30	325	35	203.6	N-S	-50	50.42	30.65	31.7	1.05	14.35	6.88	3	293
I-29	225	40	204.1	N-S	-50	65.74	61.65	62.4	0.75	31.43	15.62	3.42	286
I-28	425	70	200.2	N-S	-60	71.56	31.2	39.45	8.25				
I-27	375	40	199.2	N-S	-50	60.26	27.25	32.67	5.42	6.67	2.49	0.92	85.25
I-26	325	60	203.8	N-S	-52	78.15	52.52	52.67	0.15	24.69	13	6.06	425
							61.28	62.38	1.1	6.1	1.15	0.42	54.18
I-25	275	65	207.3	S-N	-50	94.3	70.52	74	3.48	16.75	7.97	2.74	157
							78	78.4	0.4	30	17	4.24	525
							78.4	80.86	2.46	0.48	0.15	0.04	10
I-24	300	170	212.4	S-N	-50	158.25	89.65	91.65	2	10.34	6.32	1.09	94
							101.2	110.6	9.4	5.5	2.3	0.58	39.57

Carlos Peña Mirones

						143.32	143.69	0.37	5.61	0.38	1.24	400	
I-23	200	20	206.6	N-S	-50	50.82	26.9	41.4	14.5	9.2	4.3	0.19	13
I-22	300	130	213.6	N-S	-50	132.77	105.95	109.15	3.2	24.045	12.5	3.7	148.5
I-21	250	20	201.6	N-S	-50	52.37	33.69	34.3	0.61	31.29	16.67	3.44	376
									0	32.14	15	3.94	376
I-20	200	90	210.1	N-S	-50	109.62	89.3	94	4.7	3.03	1.76	0.63	56
I-19	250	100	210.1	N-S	-50	140.14	88.23	89.4	1.17	32.39	16.36	3.45	317
							89.4	91.29	1.89	3.39	1.9	0.42	48
I-18	350	30	199.9		-50	72.06	18.2	19.87	1.67	20.62	13.67	3	417
							19.87	25.3	5.43	1.13	1.4	0.37	15
I-17	100	160	200.6		-50	125.15	68.84	69.9	1.06	11.26	6.46	2.6	302
							101.8	103.86	2.06	16	10.33	2.27	221
I-16	350	100	208.8		-50	112.9	77.35	78.25	0.9	26.74	13.14	3.18	320
							78.25	80.6	2.35	0.42	0.09	0.05	10
							98.54	99.95	1.41	2.28	2.06	0.06	10
							99.95	100.7	0.75	11.88	7.16	0.16	18
							100.7	101.59	0.89	34.28	6.89	1.27	25
I-15	50	170	200.3		-50	142.43			0				
I-14	300	30	201.8		-50	46	21.45	23.45	2	4.14	2.08	0.7	5

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)



MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN

						23.45	25.29	1.84	3.82	1.92	0.72	10
						25.29	26.74	1.45	0.3	0.07	0.14	10
I-13	50	90	198.9	-50	60.11	37.21	37.78	0.57	13.09	5.1	1.07	51
I-12	300	90	208.9	-50	104.6	78	86.14	8.14	14.47	8.67	3.04	88.1
I-11	100	120	203.8	-50	100.7	55.9	57.31	1.41	65.22	45.94	3.64	566
						60.84	62.6	1.76	37.75	15.63	4.63	794
I-10	0	130	199.7	-50	98	22.9	24.45	1.55	1.18	0.6	0.39	31
						73.48	74.48	1	0.82	0.39	0.17	22
						74.48	75.48	1	1.4	0.64	0.28	22
						75.48	76.95	1.47	0.56	0.42	0.17	10
						79	79.4	0.4	4.14	2.52	0.88	94
						81	81.53	0.53	7.46	3.48	0.69	81
						81.53	85.53	4	1.33	0.64	0.18	38
						86	87.16	1.16	7.26	2.1	0.88	75
I-9	50	130	198.4	-50	107.4	75.81	77.25	1.44	0.4	0.34	0.06	10
						77.25	79.4	2.15	14.39	7.81	2.17	304
						79.4	81.81	2.41	21.23	10.94	3	322
						81.81	82.88	1.07	0.21	0.22	0.04	10
						82.88	84.88	2	0.58	0.33	0.07	10

Carlos Peña Mirones

						84.88	86.88	2	0.21	0.12	0.04	10	
						86.88	88.88	2	1.08	0.3	0.09	16	
						88.88	90.88	2	0.92	0.43	0.05	16	
						90.88	92.14	1.26	3.95	2.22	0.53	56	
						92.14	95.16	3.02	0.54	0.32	0.09	10	
						95.16	95.95	0.79	22.5	13.13	3.21	320	
						95.95	97.2	1.25	1.54	0.73	0.2	16	
						97.2	98.91	1.71	0.92	0.36	0.18	10	
I-8	150	60	210.2		-50	80.65	44.5	44.9	0.4	6.9	3.78	1.08	174
							44.9	46.9	2	0.42	0.19	0.07	10
							46.9	48.4	1.5	0.18	0.12	0.03	10
							48.9	50.92	2.02	2.21	0.89	0.32	11
							57.2	57.65	0.45	0.78	0.7	0.07	0.7
I-7	450	60	196.5		-50	79.08	39.1	39.5	0.4	13	10.42	2.23	169
							39.5	41.5	2	1.8	1.17	0.49	82
							41.5	43.5	2	1.15	0.58	0.2	15
I-6	200	50	209		-50	85.86	58	59.9	1.9	0.53	0.31	0.09	12
							59.9	61.82	1.92	0.94	0.47	0.1	18
							61.82	62.17	0.35	22.68	14.26	2.93	376

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
 MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN



						62.17	63.6	1.43	1.49	0.73	0.28	29
						63.6	63.7	0.1	10.87	16.08	0.11	94
						63.7	64.7	1	0.48	0.33	0.01	10
I-5	350	60	203.7	-50	92.03	50.87	51.5	0.63	17.66	13.12	3.53	258
						51.5	53	1.5	11.01	7.15	1.23	117
						53	55	2	0.42	0.11	0.04	10
						55	57	2	0.26	0.03	0.01	10
						57	59	2	0.82	0.22	0.33	25
						59	61.3	2.3	2.6	1.22	0.44	22
						61.3	61.6	0.3	11.38	7.06	1.84	126
						61.6	63.6	2	0.59	0.15	0.06	10
						63.6	65.6	2	0.46	0.08	0.04	10
						65.6	67.6	2	0.27	0.15	0.02	10
I-4	250	60	207.8	-50	93.8	80.2	81.05	0.85	3.96	3.74	1.67	152
						81.05	82.65	1.6	20	14.92	4.65	455
						82.65	83.59	0.94	3.6	1.62	0.4	25
						83.59	85.59	2	0.31	0.09	0.08	10
						85.59	87.59	2	1.25	0.34	0.03	10
						87.59	89.59	2	0.65	0.36	0.02	10

Carlos Peña Mirones

						89.59	91.59	2	0.3	0.11	0.08	10	
I-3	300	60	205.5		-50	80.25	47.64	48.5	0.86	20	16.52	5.35	236
							48.5	50.25	1.75	19.7	11.3	2.64	380
							50.25	50.75	0.5	6.5	3.44	0.59	82
							50.75	53.46	2.71	0.86	0.44	0.29	26
							53.46	55.55	2.09	0.71	0.24	0.08	10
							55.55	57.85	2.3	0.55	0.24	0.04	10
							57.85	59.18	1.33	8.1	7.89	1.74	78
							59.18	61.8	2.62	6	3	0.72	39
							61.8	63.3	1.5	29.18	17.6	4.28	304
							63.3	64.26	0.96	5.44	1.88	0.57	45
							64.26	66.16	1.9	1.93	0.57	0.25	14
							72.2	72.8	0.6	0.72	0.39	0.25	18
I-2	50	400	200.3		-50	69.11	34.9	36.08	1.18	1.73	1	0.13	10
							36.08	37.18	1.1	0.71	0.06	0.25	10
							37.18	39.51	2.33	0.38	0.04	0.11	10
							39.51	41.78	2.27	2.48	1.42	0.06	10
I-1	400	100	204.7		-50	148.14	92.5	92.8	0.3	4.67	1.58	3.4	1
							92.8	94.83	2.03	1.18	0.2	0.19	10

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN

						94.83	97.52	2.69	1.61	0.83	0.25	10
						97.52	98.7	1.18	0.2	0.04	0.2	10

Tabla 5-5 Datos de los sondeos (Elaboración Propia)

5.6.2 Información sobre litologías en los sondeos

Los sondeos presentan longitudes que varían entre 20,3m y 158,25m. Las litologías son principalmente rocas piroclásticas con secuencias sedimentarias a techo y filones de cuarzo intercalados.

En las tablas siguientes se muestra detalladamente las litologías cortadas por los sondeos:

Sondeo2	Inicio	Fin	litología
I-1	0,00	10,00	Sedimentos
I-1	10,00	13,50	Pizarras
I-1	13,50	27,00	Lava
I-1	27,00	47,00	Pizarras
I-1	47,00	49,00	Lava
I-1	49,00	59,70	Pizarras
I-1	59,70	63,80	Toba
I-1	63,80	82,50	Pizarras
I-1	82,50	106,50	Mineralización
I-1	106,50	143,00	Toba
I-1	143,00	147,07	Pizarras
I-1	147,07	148,14	Toba gris del muro
I-2	0,00	19,50	Pizarras
I-2	19,50	34,90	Toba
I-2	34,90	41,78	Mineralización
I-2	41,78	69,11	Toba gris del muro
I-3	0,00	41,22	Pizarras
I-3	41,22	46,22	Volcanitas
I-3	46,22	47,44	Cuarzo
I-3	47,44	66,16	Mineralización
I-3	66,16	80,25	Toba gris del muro
I-4	0,00	62,10	Pizarras
I-4	62,10	80,20	Toba
I-4	80,20	93,83	Mineralización

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN



I-5	0,00	21,50	Pizarras
I-5	21,50	50,87	Toba
I-5	50,87	69,23	Mineralización
I-5	69,23	75,50	Toba
I-5	75,50	79,00	Toba
I-5	79,00	92,00	Toba gris del muro
I-6	0,00	58,00	Toba
I-6	58,00	64,70	Mineralización
I-6	64,70	79,08	Toba gris del muro
I-6	79,08	85,60	Toba gris del muro
I-7	0,00	29,60	Pizarras
I-7	29,60	37,82	Toba
I-7	37,82	54,68	Mineralización
I-7	54,68	79,08	Toba gris del muro
I-8	0,00	41,50	Pizarras
I-8	41,50	43,27	Toba
I-8	43,27	60,68	Mineralización
I-8	60,68	80,65	Toba gris del muro
I-9	0,00	13,50	Pizarras
I-9	13,50	18,75	Toba
I-9	18,75	20,30	Lava
I-9	20,30	23,00	Pizarras
I-9	23,00	32,68	Toba
I-9	32,68	49,70	Pizarras
I-9	49,70	53,55	Lava
I-9	53,55	57,70	Toba
I-9	57,70	75,81	Pizarras
I-9	75,81	77,25	Toba
I-9	77,25	102,38	Mineralización
I-9	102,38	107,00	Toba gris del muro
I-10	0,00	27,00	Pizarras
I-10	27,00	30,85	Lava

Carlos Peña Mirones

I-10	30,85	62,87	Pizarras
I-10	62,87	71,31	Toba
I-10	71,31	87,17	Mineralización
I-10	87,17	98,00	Toba gris del muro
I-11	0,00	43,20	Pizarras
I-11	43,20	47,54	Toba
I-11	47,54	48,90	Volcanitas
I-11	48,90	55,90	Volcanitas
I-11	55,90	62,60	Mineralización
I-11	62,60	100,70	Toba gris del muro
I-12	0,00	57,00	Pizarras
I-12	57,00	78,00	Toba
I-12	78,00	84,14	Mineralización
I-12	84,14	104,60	Toba gris del muro
I-13	0,00	12,00	Pizarras
I-13	12,00	33,05	Volcanitas
I-13	33,05	37,21	Toba
I-13	37,21	37,78	Mineralización
I-13	37,78	39,66	Cuarzo
I-13	39,66	43,26	Toba
I-13	43,26	60,00	Toba gris del muro
I-14	0,00	11,00	Sedimentos
I-14	11,00	21,45	Toba
I-14	21,45	26,74	Mineralización
I-14	26,74	33,85	Toba
I-14	33,85	46,00	Toba gris del muro
I-15	0,00	66,81	Pizarras
I-15	66,81	83,57	Toba
I-15	83,57	84,50	Pizarras
I-15	84,50	131,09	Toba
I-15	131,09	142,43	Toba gris del muro
I-16	0,00	6,00	Pizarras

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN



I-16	6,00	24,00	Lava
I-16	24,00	67,50	Pizarras
I-16	67,50	77,35	Toba
I-16	77,35	101,59	Mineralización
I-16	101,59	112,00	Toba gris del muro
I-17	0,00	50,19	Pizarras
I-17	50,19	59,00	Volcanitas
I-17	59,00	62,69	Toba
I-17	62,69	70,78	Mineralización
I-17	70,78	101,00	Toba
I-17	101,00	120,00	Mineralización
I-17	120,00	125,15	Toba gris del muro
I-18	0,00	6,00	Pizarras
I-18	6,00	18,92	Toba
I-18	18,92	50,85	Mineralización
I-18	50,85	59,90	Toba gris del muro
I-19	0,00	59,00	Pizarras
I-19	59,00	81,00	Volcanitas
I-19	81,00	81,50	Toba
I-19	81,50	82,50	Toba
I-19	82,50	86,30	Volcanitas
I-19	86,30	92,70	Mineralización
I-19	92,70	140,14	Toba gris del muro
I-20	0,00	55,20	Pizarras
I-20	55,20	72,00	Volcanitas
I-20	72,00	89,30	Toba
I-20	89,30	93,85	Mineralización
I-20	93,85	109,62	Toba gris del muro
I-21	0,00	15,68	Pizarras
I-21	15,68	29,53	Volcanitas
I-21	29,53	33,69	Toba
I-21	33,69	40,00	Mineralización

Carlos Peña Mirones

I-21	40,00	52,37	Toba gris del muro
I-22	0,00	82,00	Pizarras
I-22	82,00	105,02	Volcanitas
I-22	105,02	122,77	Mineralización
I-22	122,77	129,50	Toba
I-22	129,50	132,77	Toba gris del muro
I-23	0,00	12,55	Pizarras
I-23	12,55	20,29	Volcanitas
I-23	20,29	25,24	Toba
I-23	25,24	41,40	Mineralización
I-23	41,40	50,82	Toba gris del muro
I-24	0,00	72,30	Pizarras
I-24	72,30	87,55	Volcanitas
I-24	87,55	95,42	Mineralización
I-24	95,42	101,20	Volcanitas
I-24	101,20	110,60	Mineralización
I-24	110,60	128,00	Volcanitas
I-24	128,00	130,00	Sedimentos
I-24	130,00	135,45	Volcanitas
I-24	135,45	143,32	Toba
I-24	143,32	143,69	Mineralización
I-24	143,69	144,00	Sedimentos
I-24	144,00	158,25	Toba gris del muro
I-25	0,00	52,00	Pizarras
I-25	52,00	70,00	Volcanitas
I-25	70,00	74,00	Mineralización
I-25	74,00	77,20	Toba
I-25	77,20	84,80	Mineralización
I-25	84,80	87,50	Toba
I-25	87,50	94,30	Toba gris del muro
I-26	0,00	26,31	Pizarras
I-26	26,31	52,30	Toba

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
 MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN



I-26	52,30	69,16	Mineralización
I-26	69,16	78,15	Toba gris del muro
I-27	0,00	13,50	Pizarras
I-27	13,50	27,00	Toba
I-27	27,00	37,21	Mineralización
I-27	37,21	40,80	Toba gris del muro
I-27	40,80	57,34	Toba
I-27	57,34	60,26	Toba gris del muro
I-28	0,00	26,00	Pizarras
I-28	26,00	43,30	Toba
I-28	43,30	43,88	Mineralización
I-28	43,88	66,00	Toba
I-28	66,00	67,36	Toba gris del muro
I-29	0,00	28,51	Pizarras
I-29	28,51	33,47	Pizarras
I-29	33,47	38,00	Toba
I-29	38,00	39,00	Volcanitas
I-29	39,00	61,65	Toba
I-29	61,65	62,40	Mineralización
I-29	62,40	62,69	Cuarzo
I-29	62,69	65,74	Toba gris del muro
I-30	0,00	9,40	Pizarras
I-30	9,40	22,00	Volcanitas
I-30	22,00	40,00	Mineralización
I-30	40,00	50,42	Toba gris del muro
I-31	0,00	68,01	Pizarras
I-31	68,01	81,40	Volcanitas
I-31	81,40	92,77	Mineralización
I-31	92,77	100,25	Toba gris del muro
I-32	0,00	50,50	Pizarras
I-32	50,50	72,37	Volcanitas
I-32	72,37	99,53	Mineralización

Carlos Peña Mirones

I-32	99,53	106,51	Toba gris del muro
I-33	0,00	47,37	Pizarras
I-33	47,37	74,50	Volcanitas
I-33	74,50	100,00	Mineralización
I-33	100,00	105,00	Toba gris del muro
I-34	0,00	5,30	Pizarras
I-34	5,30	22,00	Volcanitas
I-34	22,00	26,00	Mineralización
I-34	26,00	41,75	Toba gris del muro
I-35	0,00	13,70	Volcanitas
I-35	13,70	15,32	Toba
I-35	15,32	16,52	Mineralización
I-35	16,52	20,30	Toba gris del muro
I-36	0,00	24,24	Volcanitas
I-36	24,24	24,50	Mineralización
I-36	24,50	26,15	Toba
I-36	26,15	35,00	Toba gris del muro
I-37	0,00	13,50	Volcanitas
I-37	13,50	14,10	Toba
I-37	14,10	18,46	Toba
I-37	18,46	22,20	Toba gris del muro
I-38	0,00	10,00	Pizarras
I-38	10,00	14,29	Volcanitas
I-38	14,29	17,29	Volcanitas
I-38	17,29	22,29	Volcanitas
I-38	22,29	24,60	Sedimentos
I-38	24,60	24,66	Mineralización
I-38	24,66	29,26	Toba
I-38	29,26	44,63	Toba gris del muro
I-39	0,00	19,13	Pizarras
I-39	19,13	34,97	Volcanitas
I-39	34,97	50,82	Mineralización

I-39	50,82	55,25	Toba gris del muro
------	-------	-------	--------------------

Tabla 5-6 - Información sobre litologías en los sondeos. (Elaboración propia.)

5.6.3 Nube de Puntos

Para poder realizar la modelización del yacimiento, es necesario contar con un modelo del relieve obtenido a través de una nube de puntos.

En la siguiente tabla se detallan los datos de la nube de puntos:

Punto	Ordenada	Abscisa	Elevación
1	275	45	204,5
2	175	25	209,1
3	200	2	205,6
4	225	5	203,3
5	250	0	200,0
6	275	30	202,2
7	375	90	206,7
8	325	90	209,3
9	275	95	211,0
10	325	35	203,6
11	225	40	204,1
12	425	70	200,2
13	425	70	200,2
14	375	40	199,2
15	325	60	203,8
16	275	65	207,3
17	300	170	212,4
18	200	20	206,6
19	300	130	213,6
20	250	20	201,6
21	200	90	210,1
22	250	100	210,1
23	350	30	199,9
24	100	160	200,6
25	350	100	208,8

Carlos Peña Mirones

26	50	170	200,3
27	300	30	201,8
28	50	90	198,9
29	300	90	208,9
30	100	120	203,8
31	0	130	199,7
32	50	130	198,4
33	150	60	210,2
34	450	60	196,5
35	200	50	209,0
36	350	60	203,7
37	250	60	207,8
38	300	60	205,5
39	50	400	200,3
40	400	100	204,7
41	300	-100	194,0
42	450	105	190,0
43	0	-200	193,0
44	500	200	205,0
45	-100	0	190,0
46	400	325	204,5
47	0	-125	197,0
48	-100	500	200,0
49	250	275	220,0
50	0	0	200,0
51	-30	-5	193,0
52	-30	180	192,0
53	480	200	207,0
54	550	-50	190,0
55	450	0	194,0
56	475	25	195,0
57	550	75	200,0

Tabla 5-7 - Nube de Puntos. (Elaboración propia.)

6 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este trabajo se dividen en:

1. Los obtenidos a partir del Fondo Mina Reocín
2. Los obtenidos de la aplicación del software RecMin

6.1 RESULTADOS DEL FONDO MINA REOCÍN

Del estudio realizado en la documentación existente en el Fondo Mina Reocín, se han obtenido como resultados:

- Datos obtenidos de los sondeos sobre mineralización y litología
- Topografía de la zona extraída a partir de la nube de puntos

6.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE RECMIN:

La aplicación del software RecMin, ha permitido obtener un modelo de bloques del yacimiento y la cubicación del mismo.

6.2.1 Modelo de bloques

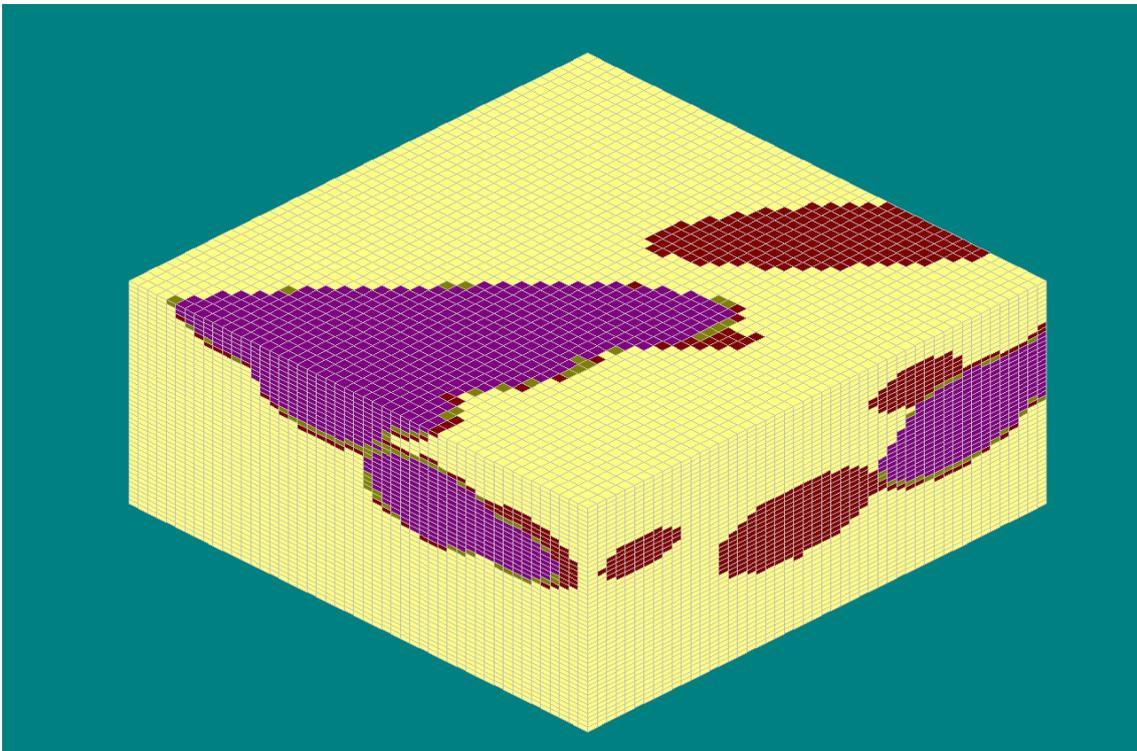


Figura 6-1 - Modelo de Bloques recortado mostrando las leyes de plata (Elaboración propia)

Como resultado se ha obtenido un modelo de bloques creado por RecMin en el cual cada bloque tiene definidas diferentes variables en función de principalmente la distancia a los sondeos como se ha explicado en el apartado 5.5.3.

Este	217.5
Norte	152.5
Elevación	144
idx	49
idy	36
idz	35
Alteracion	
Alteracion T	
Topo	0
Peso	3000
Densidad	2.7
Ley	
Ag	80.83257
Zn	4.330404
Pb	2.728622
Nivel	
Cu	0.8375316
Categoria	1
Volumen	
_gc_zup	1
_gc_zdown	1
_gc_volume	50
_gc_weigth	3000

Figura 6-2 - Ejemplo de un bloque en el que se muestra la información contenida por cada bloque (Elaboración Propia)

Además, se ha obtenido cuatro planos en los cuales se muestra las leyes de los bloques que están dentro de la zona mineralizada:

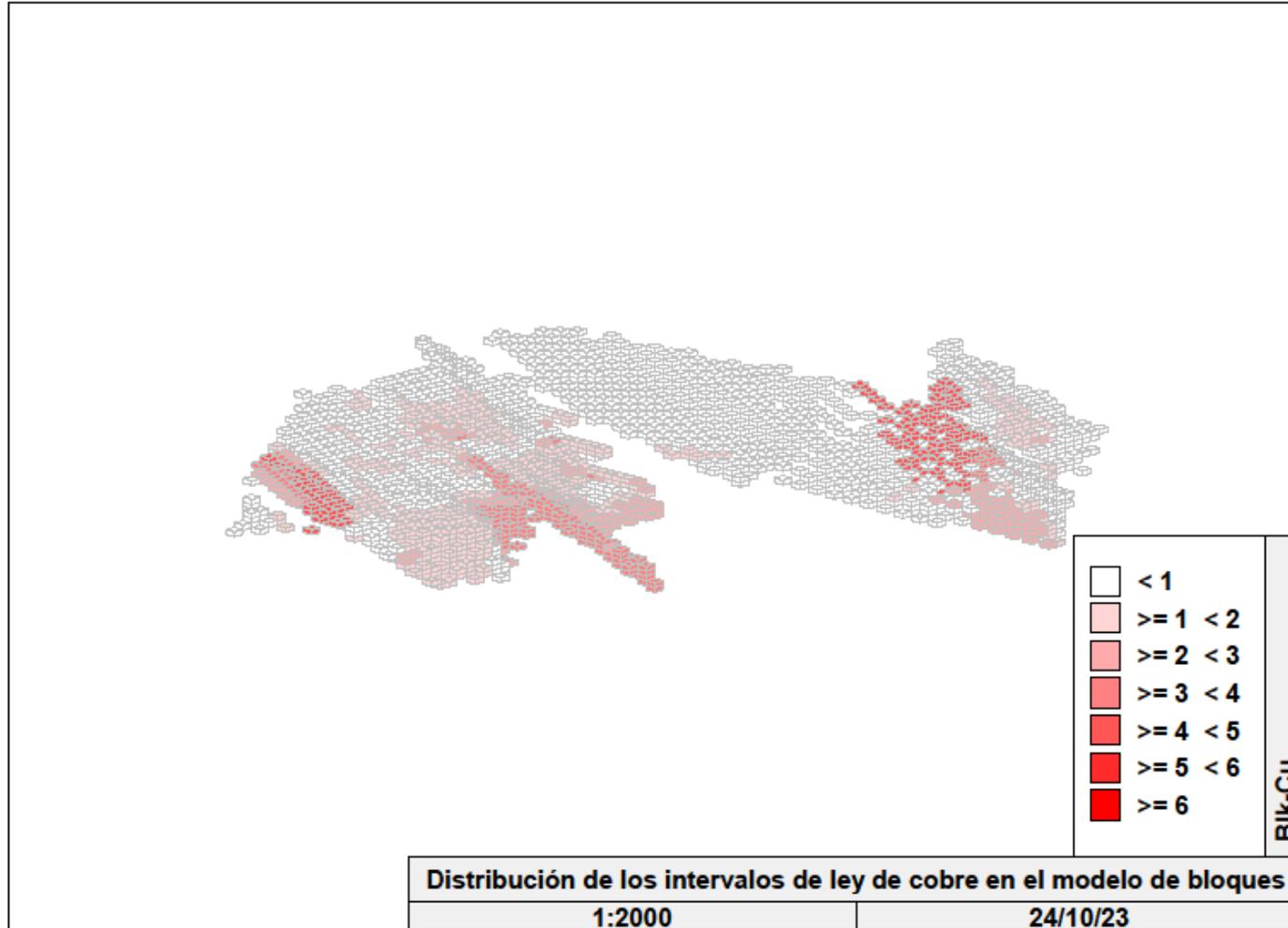


Figura 6-3 - Distribución de intervalos de cobre en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)

Carlos Peña Mirones

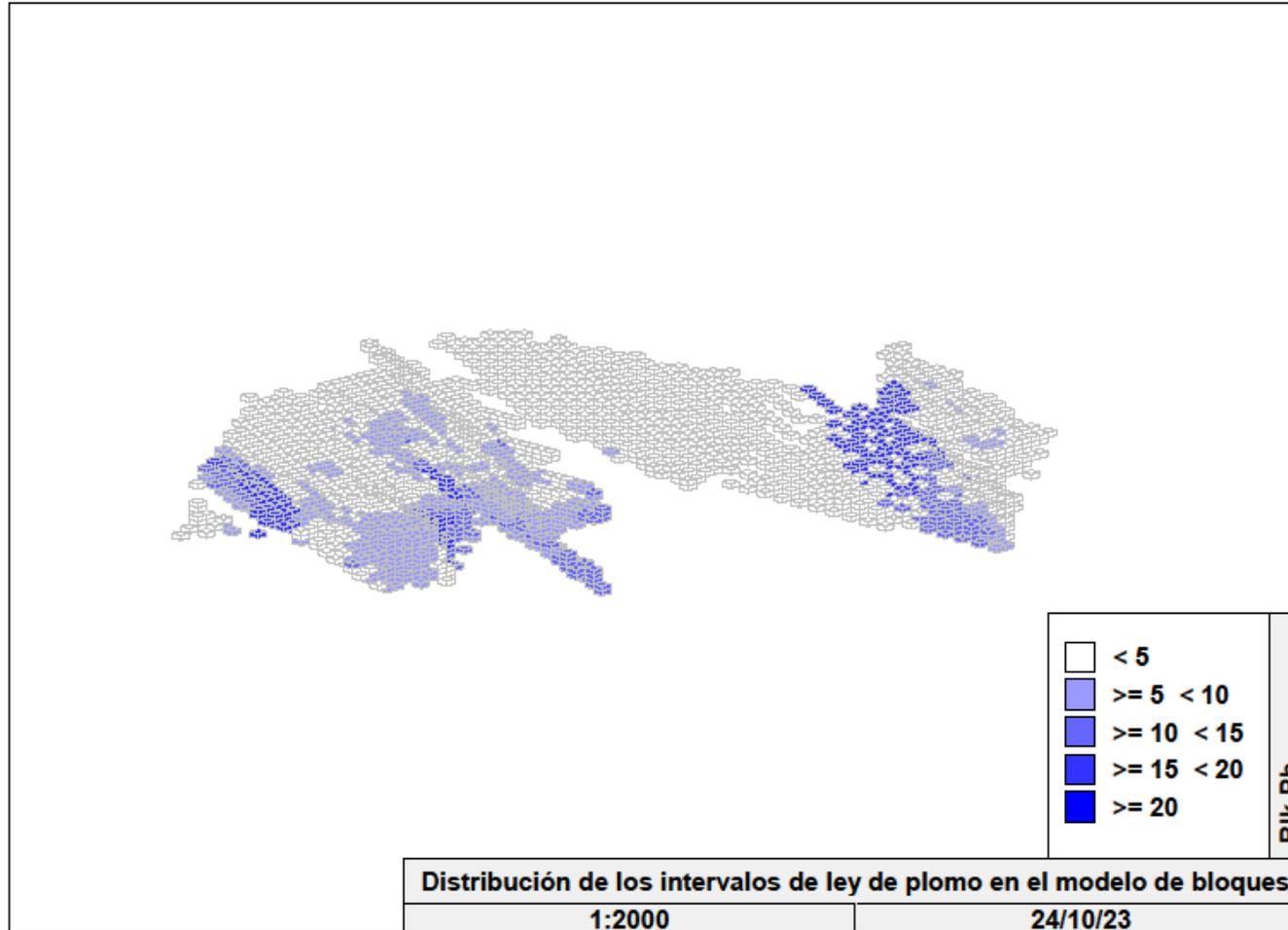


Figura 6-4 - Distribución de intervalos de plomo en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)

EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO “LA INFANTA” (PUEBLA DE GUZMÁN – HUELVA)
MEDIANTE EL SOFTWARE RECMIN

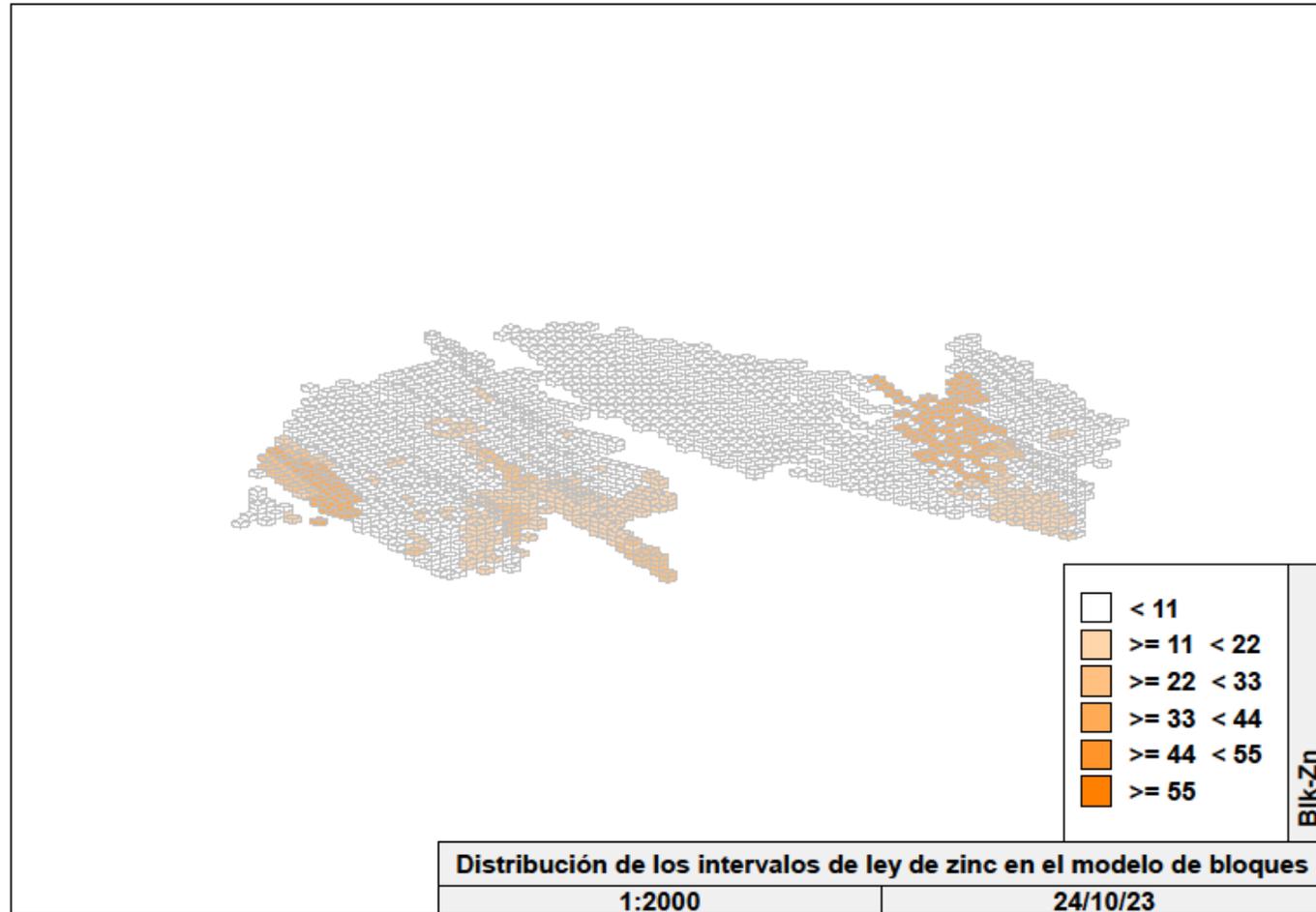


Figura 6-5 -Distribución de intervalos de zinc en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)

Carlos Peña Mirones

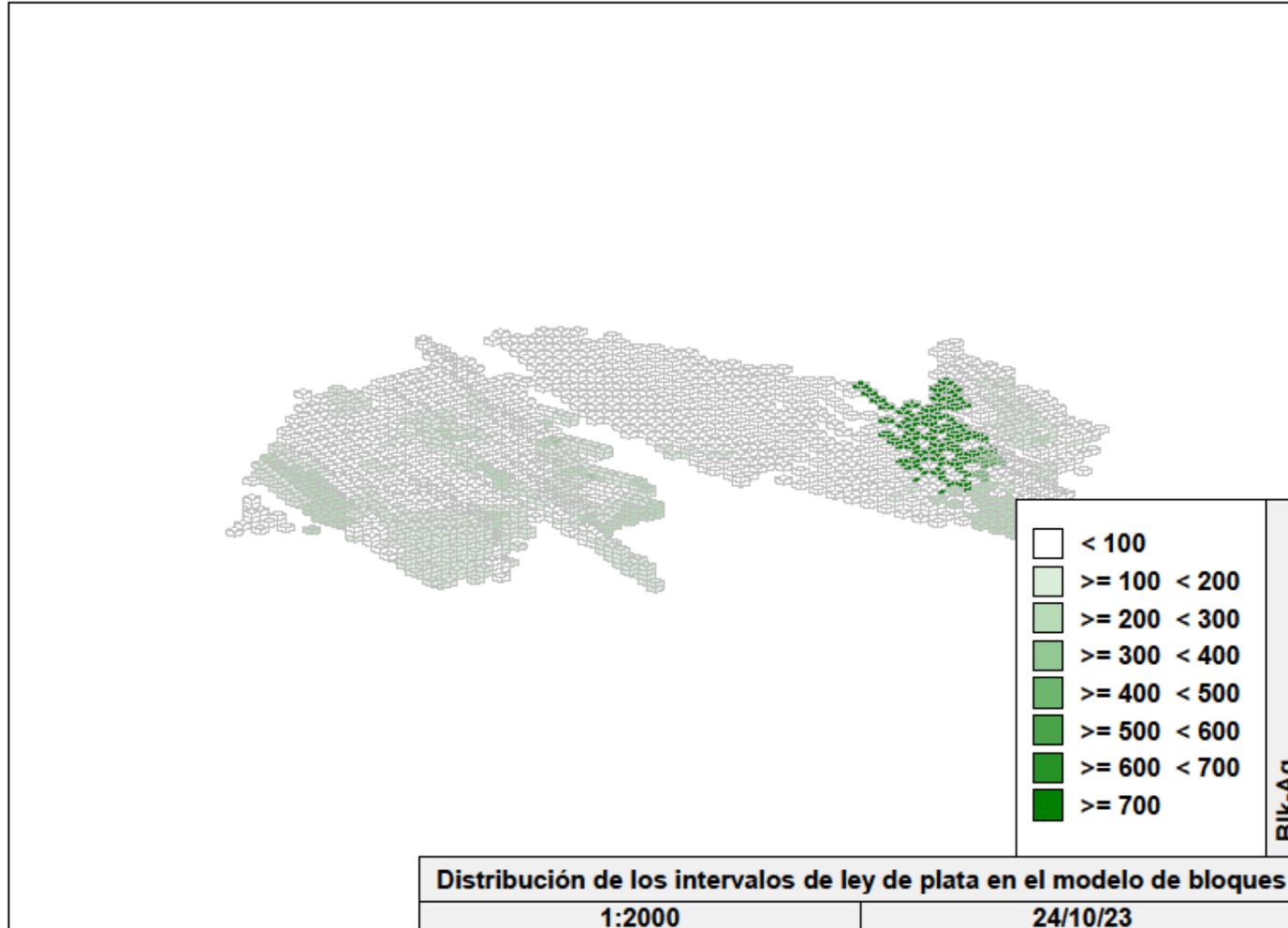


Figura 6-6 Distribución de intervalos de plata en el modelo de bloques. (RecMin. Elaboración propia.)

6.2.2 Cálculo de la densidad media del yacimiento

Para llevar a cabo el cálculo del tonelaje del yacimiento a partir del volumen proporcionado por RecMin, es necesario contar con una estimación aproximada de la densidad media del yacimiento. Esta estimación se obtendrá a partir de las leyes medias en porcentaje de cada recurso, debido a que la ley media de plata es de 112,6g/t no se considera relevante para el cálculo de la densidad media por tanto se excluye la plata y se la considera como estéril. Es relevante tener en cuenta que, en la mayoría de las áreas, el estéril se compone principalmente de toba mineralizada.

En este proceso, se busca determinar de manera aproximada cuánta masa de mineral se encuentra presente en el yacimiento. Esta estimación de densidad media es esencial para convertir el volumen calculado por RecMin en una estimación precisa del tonelaje del yacimiento.

Material	Porcentaje Peso	Densidad (Ton/m ³)	Ley*Densidad/100
Cu	1,3	8,96	0,12
Zn	9,6	7,14	0,68
Pb	5,1	11,34	0,58
Estéril (Toba)	84,0	3,20	2,69
		TOTAL	4,07

Tabla 6-1 - Cálculo densidad media. (Elaboración propia.)

Obtenemos como resultado una densidad media para el yacimiento de aproximadamente 4.000 kg/m³

6.2.3 Obtención de las Leyes

A partir del modelo de bloques RecMin ha calculado las leyes medias de cada metal en el yacimiento siguiendo la metodología explicada en el apartado “5.5.3.4 Cálculo de las leyes de cada bloque: método inverso de la distancia”

Material	Ley
Cu	1,3%
Zn	9,6%
Pb	5,1%
Ag	112.6 gr/t

Tabla 6-2 - Leyes medias de cada metal (Elaboración propia)

6.2.4 Cálculo tonelaje total: Cubicación

Para el cálculo del tonelaje total, con los bloques de dimensiones 5x5x2 que generan paralelepípedos de 50 m³ de volumen, se generaron 3.403 bloques para un total de 170.150 m³. La tabla que se presenta a continuación proporciona información detallada sobre el volumen existente en la zona mineralizada. Asimismo, muestra el volumen acumulado a medida que avanzan los cálculos. Además de estos datos, se incluyen las toneladas parciales y totales, las cuales se obtienen mediante la multiplicación de los volúmenes correspondientes por la densidad previamente calculada en la sección anterior (4t/m³).

Sección	Área	Paso	Volumen Parcial m3	Volumen Total m3	Tonelaje Parcial	Tonelaje Total
0	0					
5	39,25	5	98,12	98,12	392,48	392,48
10	60,83	5	250,2	348,32	1.000,80	1.393,28
15	64,73	5	313,9	662,22	1.255,60	2.648,88
20	50,96	5	289,23	951,45	1.156,92	3.805,80
25	19,52	5	176,2	1.127,65	704,80	4.510,60
30	32,71	5	130,57	1.258,22	522,28	5.032,88
35	100,62	5	333,33	1.591,55	1.333,32	6.366,20
40	186,39	5	717,53	2.309,08	2.870,12	9.236,32
45	289,99	5	1.190,95	3.500,03	4.763,80	14.000,12
50	411,45	5	1.753,60	5.253,63	7.014,40	21.014,52
55	329,6	5	1.852,63	7.106,26	7.410,52	28.425,04
60	248,63	5	1.445,58	8.551,84	5.782,32	34.207,36
65	168,55	5	1.042,95	9.594,79	4.171,80	38.379,16
70	89,35	5	644,75	10.239,54	2.579,00	40.958,16
75	8,87	5	245,55	10.485,09	982,20	41.940,36
80	67,78	5	191,62	10.676,71	766,48	42.706,84
85	143,73	5	528,77	11.205,48	2.115,08	44.821,92
90	218,97	5	906,75	12.112,23	3.627,00	48.448,92
95	293,5	5	1.281,18	13.393,41	5.124,72	53.573,64
100	367,32	5	1.652,05	15.045,46	6.608,20	60.181,84
105	332,39	5	1.749,28	16.794,74	6.997,12	67.178,96
110	302,13	5	1.586,30	18.381,04	6.345,20	73.524,16

115	275,74	5	1.444,67	19.825,71	5.778,68	79.302,84
120	253,49	5	1.323,07	21.148,78	5.292,28	84.595,12
125	235,38	5	1.222,18	22.370,96	4.888,72	89.483,84
130	221,41	5	1.141,98	23.512,94	4.567,92	94.051,76
135	211,57	5	1.082,45	24.595,39	4.329,80	98.381,56
140	205,88	5	1.043,63	25.639,02	4.174,52	102.556,08
145	204,32	5	1.025,50	26.664,52	4.102,00	106.658,08
150	206,89	5	1.028,03	27.692,55	4.112,12	110.770,20
155	213,61	5	1.051,25	28.743,80	4.205,00	114.975,20
160	225,26	5	1.097,17	29.840,97	4.388,68	119.363,88
165	239,46	5	1.161,80	31.002,77	4.647,20	124.011,08
170	258,59	5	1.245,13	32.247,90	4.980,52	128.991,60
175	281,85	5	1.351,10	33.599,00	5.404,40	134.396,00
180	309,26	5	1.477,78	35.076,79	5.911,12	140.307,16
185	340,8	5	1.625,15	36.701,93	6.500,60	146.807,72
190	376,48	5	1.793,20	38.495,13	7.172,80	153.980,52
195	416,3	5	1.981,95	40.477,08	7.927,80	161.908,32
200	458,42	5	2.186,80	42.663,88	8.747,20	170.655,52
205	356,88	5	2.038,25	44.702,13	8.153,00	178.808,52
210	259,35	5	1.540,58	46.242,71	6.162,32	184.970,84
215	167,88	5	1.068,08	47.310,79	4.272,32	189.243,16
220	75,89	5	609,43	47.920,22	2.437,72	191.680,88
225	10,25	5	215,35	48.135,57	861,40	192.542,28
230	36,32	5	116,42	48.251,99	465,68	193.007,96
235	122,22	5	396,35	48.648,34	1.585,40	194.593,36
240	122,22	5	611,1	49.259,45	2.444,40	197.037,80
245	424,45	5	1.366,66	50.626,11	5.466,64	202.504,44
250	726,67	5	2.877,79	53.503,89	11.511,16	214.015,56
255	423,85	5	2.876,30	56.380,20	11.505,20	225.520,80
260	143,69	5	1.418,85	57.799,05	5.675,40	231.196,20
265	116,16	5	649,63	58.448,68	2.598,52	233.794,72
270	354,57	5	1.176,83	59.625,50	4.707,32	238.502,00

Carlos Peña Mirones

275	571,88	5	2.316,13	61.941,63	9.264,52	247.766,52
280	656,84	5	3.071,80	65.013,43	12.287,20	260.053,72
285	760,85	5	3.544,23	68.557,66	14.176,92	274.230,64
290	883,9	5	4.111,88	72.669,55	16.447,52	290.678,20
295	1.025,99	5	4.774,73	77.444,27	19.098,92	309.777,08
300	1.187,12	5	5.532,77	82.977,05	22.131,08	331.908,20
305	716,33	5	4.758,63	87.735,68	19.034,52	350.942,72
310	433,71	5	2.875,10	90.610,78	11.500,40	362.443,12
315	339,25	5	1.932,40	92.543,18	7.729,60	370.172,72
320	432,95	5	1.930,50	94.473,68	7.722,00	377.894,72
325	714,81	5	2.869,40	97.343,08	11.477,60	389.372,32
330	945,61	5	4.151,05	101.494,10	16.604,20	405.976,40
335	1.129,33	5	5.187,35	106.681,50	20.749,40	426.726,00
340	1.265,99	5	5.988,30	112.669,80	23.953,20	450.679,20
345	1.355,59	5	6.553,95	119.223,70	26.215,80	476.894,80
350	1.398,11	5	6.884,25	126.108,00	27.537,00	504.432,00
355	1.235,95	5	6.585,15	132.693,10	26.340,60	530.772,40
360	1.092,05	5	5.820,00	138.513,10	23.280,00	554.052,40
365	966,42	5	5.146,18	143.659,30	20.584,72	574.637,20
370	859,06	5	4.563,70	148.223,00	18.254,80	592.892,00
375	769,96	5	4.072,55	152.295,60	16.290,20	609.182,40
380	693,55	5	3.658,78	155.954,30	14.635,12	623.817,20
385	580,21	5	3.184,40	159.138,80	12.737,60	636.555,20
390	429,92	5	2.525,33	161.664,10	10.101,32	646.656,40
395	242,7	5	1.681,55	163.345,60	6.726,20	653.382,40
400	18,55	5	653,12	163.998,80	2.612,48	655.995,20
405	24	5	106,37	164.105,10	425,48	656.420,40
410	38,06	5	155,15	164.260,30	620,60	657.041,20
415	23,65	5	154,28	164.414,60	617,12	657.658,40
420	19,24	5	107,22	164.521,80	428,88	658.087,20
425	90,61	5	274,63	164.796,40	1.098,52	659.185,60
430	73,64	5	410,62	165.207,00	1.642,48	660.828,00

435	56,09	5	324,32	165.531,30	1.297,28	662.125,20
440	37,96	5	235,12	165.766,50	940,48	663.066,00
445	19,27	5	143,07	165.909,50	572,28	663.638,00
450	0	5	48,18	165.957,70	192,72	663.830,80
450	0	0	0	165.957,70	0,00	663.830,80

Tabla 6-3 - Volumen y tonelaje por secciones. (Elaboración propia.)

Los resultados obtenidos de la cubicación realizada mediante el software RECMIN han sido:

Reservas totales de mineralización = 663.831 toneladas

Reservas metálicas:

- 8.630 toneladas de Cobre
- 63.641 toneladas de Zinc
- 34.035 toneladas de Plomo
- 75 toneladas de plata

La siguiente tabla resumen el contenido metálico de la cubicación realizada:

Material	Ley	Reservas (t)	Mineral (t)
Cu	1,3%	663.831	8.630
Zn	9,6%	663.831	63.641
Pb	5,1%	663.831	34.035
Ag	112.6 g/t	663.831	75

Tabla 6-4 - Cálculo reservas totales de cada mineral. (Elaboración propia.)

7 ESTUDIO ECONÓMICO

En este trabajo se ha realizado exclusivamente la cubicación del yacimiento La Infanta, lo que implica conocer qué cantidad y calidad de mineralización existe. Para un estudio de viabilidad de una posible explotación, se necesitaría conocer el diseño de la explotación, la situación socioeconómica de la región, las inversiones etc.... Este no es el objetivo del trabajo, pero se ha querido realizar bajo el epígrafe de “estudio económico” una estimación del valor actual de los metales que se obtendrían con la explotación de este yacimiento.

Para ello, teniendo en cuenta la cubicación obtenida para el yacimiento “La Infanta”, se ha realizado un estudio del precio actual de los metales en el London Metal Exchange.

En la siguiente tabla se observa el valor actual del cobre, zinc, plomo y plata a fecha de 24 de noviembre de 2023.

Metal	Precio (US\$/t)
Cu	8000
Zn	2414
Pb	2097
Ag	750000

Tabla 7-1 - Valor de los metales en el LME (<https://www.lme.com/>)

Conociendo las toneladas metálicas del yacimiento, se puede dar una aproximación del valor de dichos metales si fueran extraídos en la actualidad.

La siguiente tabla refleja los precios y toneladas metálicas del yacimiento y el valor que tendrían en el mercado actual:

Material	Precio (US\$/t)	Reservas metálicas (t)	Total US\$
Cu	8000	8.636	69.091.000
Zn	2414	63.641	153.631.000
Pb	2097	34.035	71.371.000
Ag	750000	75	56.087.000
		TOTAL:	350.180.000

Tabla 7-2 - Precio por tonelada multiplicado por las reservas de cada mineral. (Elaboración propia.)

El estudio económico refleja que el valor actual de los metales del yacimiento de La Infanta es especialmente interesante. No se trata entonces del valor de los metales, sino de una cantidad pequeña de mineralización a extraer tal y como muestra la cubicación.

8 CONCLUSIONES

En el presente Trabajo Fin de Grado se ha realizado una cubicación del yacimiento “La Infanta”, ubicado en la Faja Pirítica del Suroeste Ibérico, a través de la aplicación del software RECMIN.

Si bien, este trabajo se ha encontrado con dificultades como es la insuficiencia de datos, especialmente en lo que respecta a los sondeos, la carencia de información detallada acerca de la ubicación precisa del yacimiento, así como la ausencia de una nube de puntos y datos topográficos adecuados se ha conseguido realizar el modelo con el software y obtener una cubicación orientativa del yacimiento.

Las conclusiones del trabajo son:

1. El Fondo Mina Reocín contiene una valiosa información sobre el yacimiento de La Infanta. Se ha podido obtener de dicho fondo tanto informes geológicos como datos de sondeos y leyes.
2. Este trabajo ha permitido conocer, a través de la documentación existente en el Fondo Mina Reocín, la existencia de una interesante mineralización que, si bien no tiene entidad para ser rentable en su explotación, sí se trata de una fase previa a una posible prospección minera más intensa que permitiera el descubrimiento de una cantidad mayor de mineralización.
3. El software RecMin es una aplicación válida y competente para la realización de cubicaciones de yacimientos minerales, presentando tanto ventajas como inconvenientes en su uso. Entre las ventajas, se puede destacar:
 - **Gratuidad y versatilidad:** La gratuidad de RecMin permite que se utilice tanto en entornos de producción en empresas mineras como en contextos académicos, como material docente en universidades, lo que lo hace accesible para una amplia gama de usuarios.
 - **Interfaz y soporte en múltiples idiomas:** RecMin cuenta con una interfaz de usuario en castellano, inglés y francés, lo que facilita su uso para usuarios de diferentes regiones y niveles de competencia en idiomas.
 - **Facilidad de aprendizaje:** Al no ser un programa muy complejo y ni con un enfoque específico, una sola persona es capaz de dominar el software en pocos días, a diferencia de otros programas mineros que requieren de largas horas de formación para poder usarlos.
 - **Rapidez y eficiencia en cálculos complejos:** RecMin demuestra ser rápido y eficiente al ejecutar algoritmos complejos, como el cono flotante o el método de la inversa de los cuadrados de las distancias, lo que agiliza el proceso de análisis de datos mineros.
 - **Transparencia en los cálculos:** El programa muestra los cálculos de manera clara, sin suavizar resultados ni tomar decisiones sin la intervención del usuario, lo que brinda un mayor control y comprensión de los resultados.

- **Gráficos 3D atractivos:** RecMin genera gráficos 3D llamativos y fáciles de usar muy útiles tanto para exportarlos como para tener una imagen correcta de que se está haciendo.

Entre las desventajas, destacan:

- **Falta de respaldo de una gran empresa:** RecMin carece del respaldo de una empresa con recursos suficientes para pagar licencias de tecnologías o patentes de terceros. Esto resulta en la ausencia de opciones de integración con software estándar utilizado en modelado 3D, tareas de oficina, cálculos o programación. La falta de integración puede limitar la eficiencia y la flexibilidad en el trabajo.
 - **Entorno y usabilidad obsoletos:** La interfaz y usabilidad de RecMin se encuentran atrasadas en comparación con otros programas técnicos. Los usuarios se ven constreñidos por sus limitaciones, como la falta de una función de "deshacer" o un módulo de dibujo que carece de herramientas adecuadas. A menudo, es necesario recurrir a programas externos como AutoCAD para completar tareas.
 - **Rigidez en el flujo de trabajo:** RecMin está diseñado para tareas específicas siguiendo pautas concretas, lo que dificulta la adaptación a necesidades más complejas. Salir de ese camino predefinido es extremadamente complicado y a menudo requiere el uso de múltiples programas externos para suplir las limitaciones de RecMin
 - **Dependencia de formación externa:** A pesar de contar con archivos de ayuda, estos tienden a explicar detalles técnicos del programa en lugar de proporcionar una guía práctica para su uso. Como resultado, los usuarios dependen en gran medida de recibir formación externa, lo que se relaciona con el modelo de negocio de RecMin, donde el software es gratuito, pero la formación es una oferta de pago. Además, esa información externa, al no ser un programa muy completo y por tanto muy usado, esa información externa muchas veces se encuentra incompleta o con explicaciones vagas e inservibles.
 - **Inestabilidad y generación de archivos grandes:** RecMin se caracteriza por su inestabilidad, lo que puede llevar al bloqueo del software. Además, tiende a generar archivos de bases de datos con gran tamaño si no se realizan depuraciones periódicas. Esto puede afectar negativamente el rendimiento y la capacidad de almacenamiento del sistema.
4. La cubicación obtenida aplicando dicho software con los datos del Fondo Mina Reocín, son 663.831t, una cantidad pequeña para una explotación rentable. De ellas, se pueden obtener:
- 8.636 de Cu
 - 63.641 de Zn
 - 34.035 de Pb
 - 75 de Ag

5. Se ha realizado un estudio económico a partir del dato actualizado del precio de los metales en el LME, lo que ha permitido cuantificar en dólares americanos el valor de estas toneladas metálicas hoy día, obteniéndose:

Material	Precio (US\$/t)	Reservas metálicas (t)	Total US\$
Cu	8000	8.636	69.091
Zn	2414	63.641	153.631
Pb	2097	34.035	71.371
Ag	750000	75	56.087
		TOTAL:	350.180

Tabla 8-1 - Precio por tonelada multiplicado por las reservas de cada mineral. (Elaboración propia.)

6. El yacimiento de La Infanta no tiene cubicación suficiente para constituir una mina pequeña, ya que no supera el 1.000.000 de toneladas. Sin embargo, se puede apreciar en el estudio económico que si tuviera una mayor cubicación sería una mina muy interesante por su contenido en Cu y Zn metálicos.

9 BIBLIOGRAFÍA

9.1 LIBROS Y ARTÍCULOS

- [1] Bustillo Revuelta, M., & López Jimeno, C. (1996). *Recursos Minerales, TIPOLOGÍA, PROSPECCIÓN, EVALUACIÓN, MINERALURGIA, E IMPACTO AMBIENTAL*. Gráficas Arias Montano, S.A. Madrid. 363pp.
- [2] Orche García, E. (1999). *Manual de Evaluación de Yacimientos Minerales*. Carlos López Jimeno. Gráficas Arias Montano, S.A. Madrid. 295pp.
- [3] Craig, J. R., Vaughan, D. J., & Skinner, B. J. (2007). *Recursos de la tierra: origen, uso e impacto ambiental*. PRENTICE HALL. Madrid. 656pp.
- [4] Revuelta, M. B., & Jimeno, C. L. (1997). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Entorno gráfico*, S.L. Madrid 705pp.
- [5] Hidrotermalismo submarino de hace más de 350 millones de años La Faja Píritica Ibérica. (2012). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(20), 210-212.
- [6] Trainings, C. W. C. (2022, abril 30). *¿Qué son los modelos de bloques en minería?* Minería Space. <https://mineria.space/que-son-los-modelos-de-bloques-en-mineria/>
- [7] Revuelta, M. B. (2000). *Manual de aplicaciones informáticas en minería*. U.D. Proyectos E.T.S.I. Minas – U.P.M. Madrid. 381pp.
- [8] España, D. E., & De Publicaciones, C. (s/f). *ESTADÍSTICA MINERA*. Gob.es. Recuperado el 26 de octubre de 2023, de [https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/DatosBibliotecaConsumer/2021/Estadistica Minera Anual 2021.pdf](https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/DatosBibliotecaConsumer/2021/Estadistica%20Minera%20Anual%202021.pdf)

- [9] Servicio de Publicaciones Ministerio de industria y energía. (1982). *Mapa Geológico de España - E 1:50000 - Hoja 958- Puebla de Guzmán*, (1.^a ed.). ADOSA.
- [10] Vázquez Guzmán F. Depósitos minerales de España [Libro]. - Madrid: IGME, 1983.
- [11] TORNOS ARROYO, F. (2008). La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica.
- [12] Pirítica Ibérica. *revista de la sociedad española de mineralogía*, 10.

9.2 FONDO MINA REOCÍN

- [13] Andalucía-Huelva 55-13 Phelps Dodge Española. La Infanta. 19 planos de Bloques de reserva de mineral, indicando la sección y el sondeo. Escala 1:250
- [14] Andalucía-Huelva 52-33 AZSA. La Infanta. Plano vertical de situación de sondeos. Escala 1:1000
- [15] Andalucía-Huelva 52-34 AZSA. La Infanta. Plano topográfico con indicación de sondeos realizados y labores mineras. Escala 1:2000
- [16] Andalucía-Huelva 1-1a y b ASTRUMINERA S. A. Estudio económico de la concesión minera "La Infanta". Contiene Memoria (1a) y Planos (1b) May. 1977
- [17] Andalucía-Huelva 2-12 ASTRUMINERA S.A. Investigación geofísica en la concesión La Infanta situada en el término municipal de Puebla de Guzmán (Huelva) 31/10/1975
- [18] Andalucía-Huelva 42-10 Observaciones y actualización al estudio de viabilidad La Infanta de Estudios y proyectos Mineros SA. Incluye Anexo: Resumen de los datos aportados en el estudio de viabilidad de Estudios y proyectos Mineros SA.

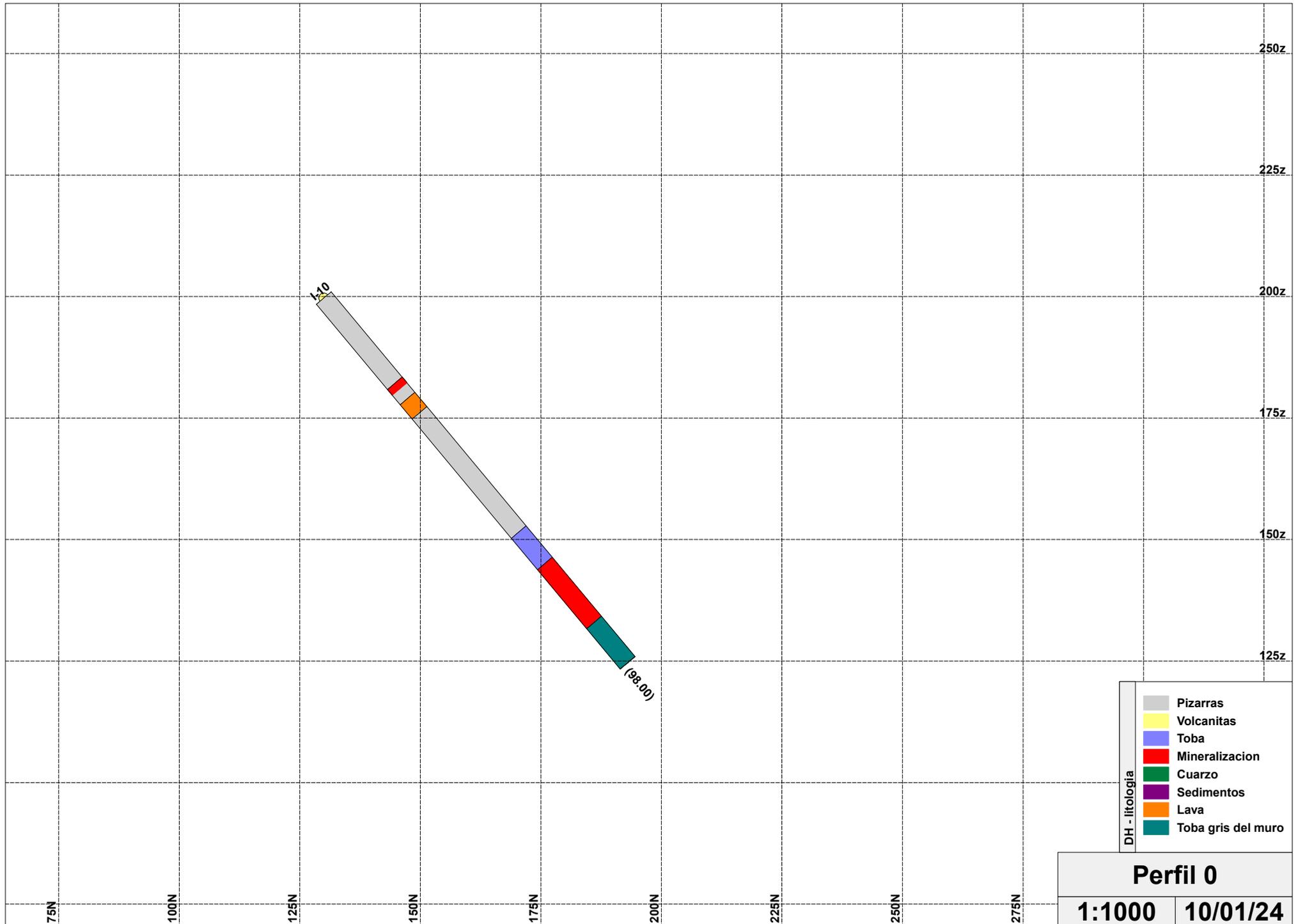
- [19] Andalucía-Huelva 44-5 Labores de investigación en los grupos mineros Vuelta Falsa, La Romanera, La Carolina, La Infanta. Adjunta 7 planos y Carta de remisión (17/12/1982) dic. 1982
- [20] Andalucía-Huelva 5-5 Leyes y Fichas de sondeos de la concesión La Infanta (del 1 al 39) 1976-1977
- [21] Andalucía-Huelva 4-6 Estudio preliminar para la determinación de costes y aspectos operativos en la concesión “La Infanta” (Huelva) Jun. 1982
- [22] Andalucía-Huelva 4-7 Estudio de viabilidad final del proyecto de explotación de “La Infanta” realizado por Estudios y proyectos Mineros S.A. (2 tomos: memoria y apéndices) Jun. 1984

9.3 PÁGINAS WEB Y VIDEOS

- [23] GeoMin, C. [@cursosgeomin6166]. (2017, enero 14). *Método Pentaédrico de RecMin*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=KlhU9f1I4Dc>
- [24] *Información*. (s/f). RecMin.com. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de https://RecMin.com/WP/?page_id=88
- [25] la rehabilitación., H. I. Q. P. U. V. C. D. la E. H. (s/f). *Software de planificación minera y modelado en 3D*. Maptek.com. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de https://www.maptek.com/pdf/es/vulcan/Maptek_Vulcan_Overview_esp.pdf
- [26] *MapasIGME - Portal de cartografía del IGME: MAGNA 50 - Hoja 958 (PUEBLA DE GUZMAN)*. (s/f). Igme.es. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=958>
- [27] Peruanas, C. M. (s/f). *Estimación de reservas*. Slideshare.net. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de <https://es.slideshare.net/julioventog/estimacion-de-reservas>

- [28] *Qué Es Datamine.* (s/f). Scribd. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de <https://es.scribd.com/document/337034245/Que-Es-Datamine>
- [29] *Selección de bloques.* (s/f). RecMin.com. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de https://www.RecMin.com/RecMinFree_Help/es/RecMin_web/Selecciondebloques.html
- [30] Software Minero-FI UNAM [@SoftwareMineroUnam]. (2023a, marzo 15). *Importación de Sondeos y Modelo de Bloques en RECMIN.* Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=zCf3rgSDQW8>
- [31] Software Minero-FI UNAM [@SoftwareMineroUnam]. (2023b, mayo 17). *Taller RecMin Diseño de Mina a Cielo Abierto - Sesión 3 Importación de Modelos geológicos.* Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=WPEHlluw6oc>
- [32] Software Minero-FI UNAM [@SoftwareMineroUnam]. (2023c, junio 21). *Taller RecMin Diseño de Mina a Cielo Abierto - Sesión 4 Modelo de Bloques.* Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=3ZtfRAI-SiY>
- [33] Software Minero-FI UNAM [@SoftwareMineroUnam]. (2023d, octubre 9). *Importar nube puntos en RECMIN y Crear curvas de nivel.* Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=aJVrbF6FLfI>
- [34] Unam, S. [@saimmunam2346]. (2020a, septiembre 24). *Modelo de bloques I Generación y depuración conforme a la topografía - RECMIN* 📖 ↩ 👤. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=b2V1G14cfEE>
- [35] Unam, S. [@saimmunam2346]. (2020b, octubre 8). *Modelo de bloques II Estimación de recursos por el inverso de la distancia - RECMIN* 📖 ↩ 👤. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=r57w30sXlmo>
- [36] (S/f-b). Unam.mx:8080. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/16577/1/informe.pdf>

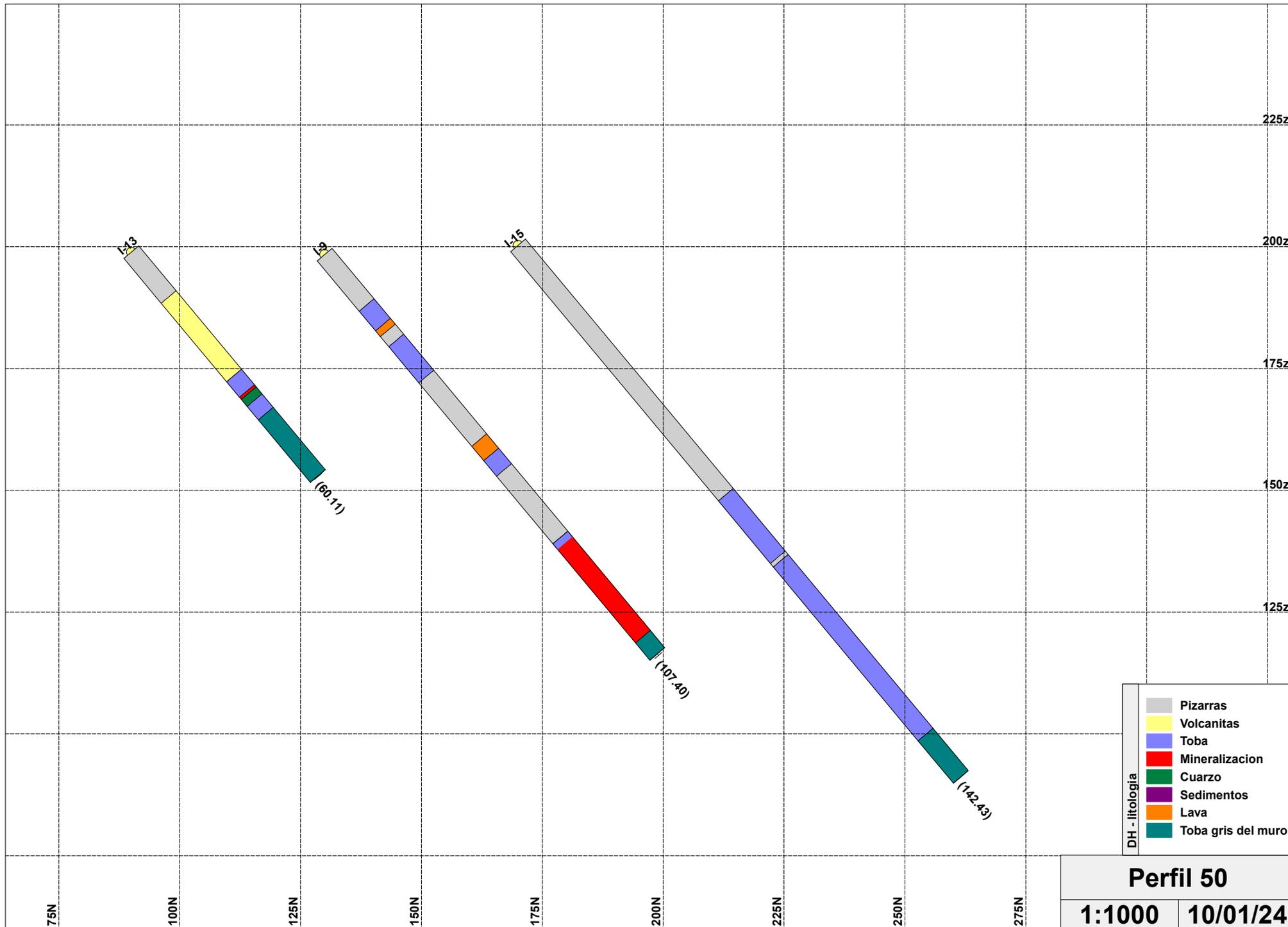
10 PLANOS



- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 0

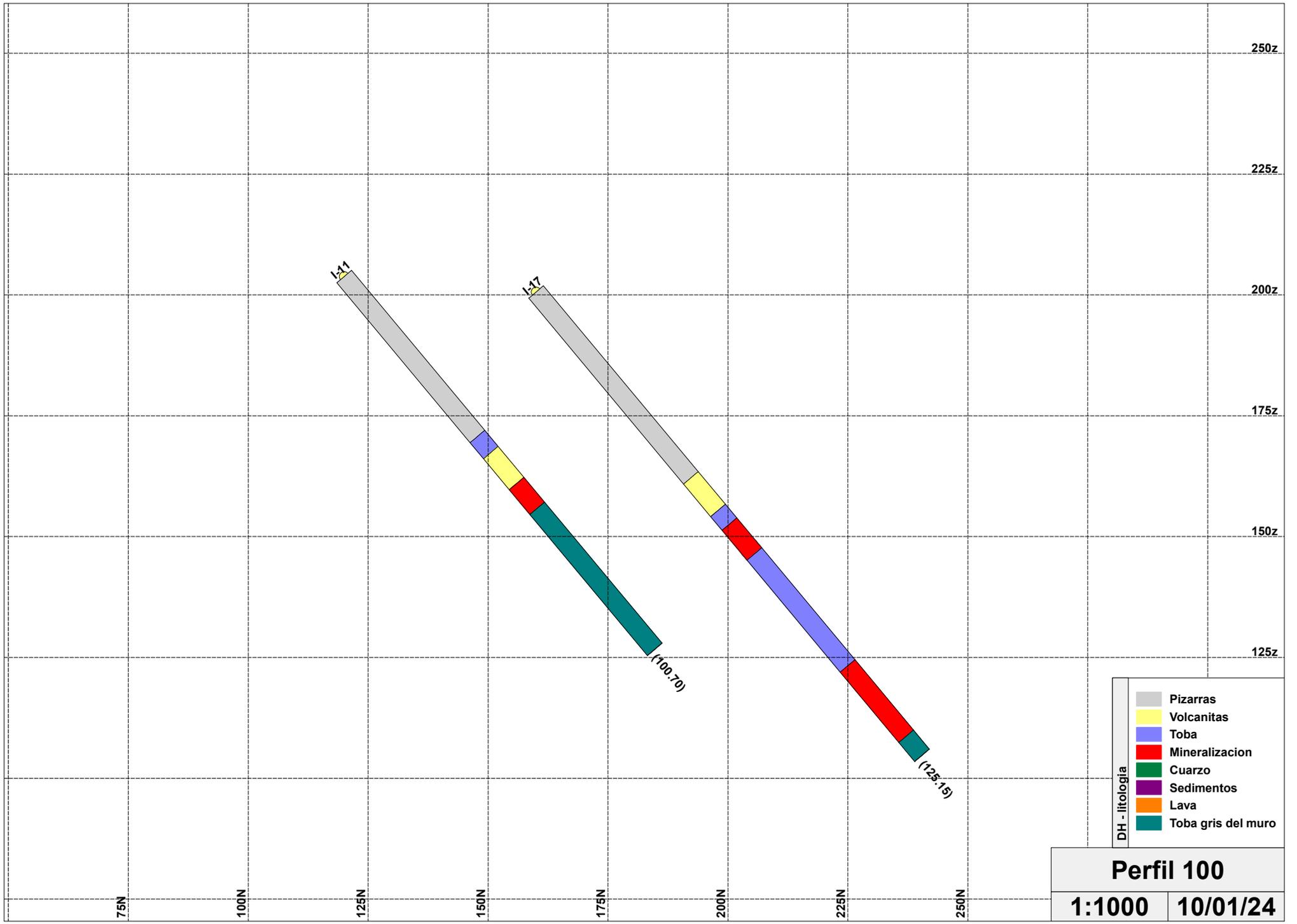
1:1000 **10/01/24**



- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 50

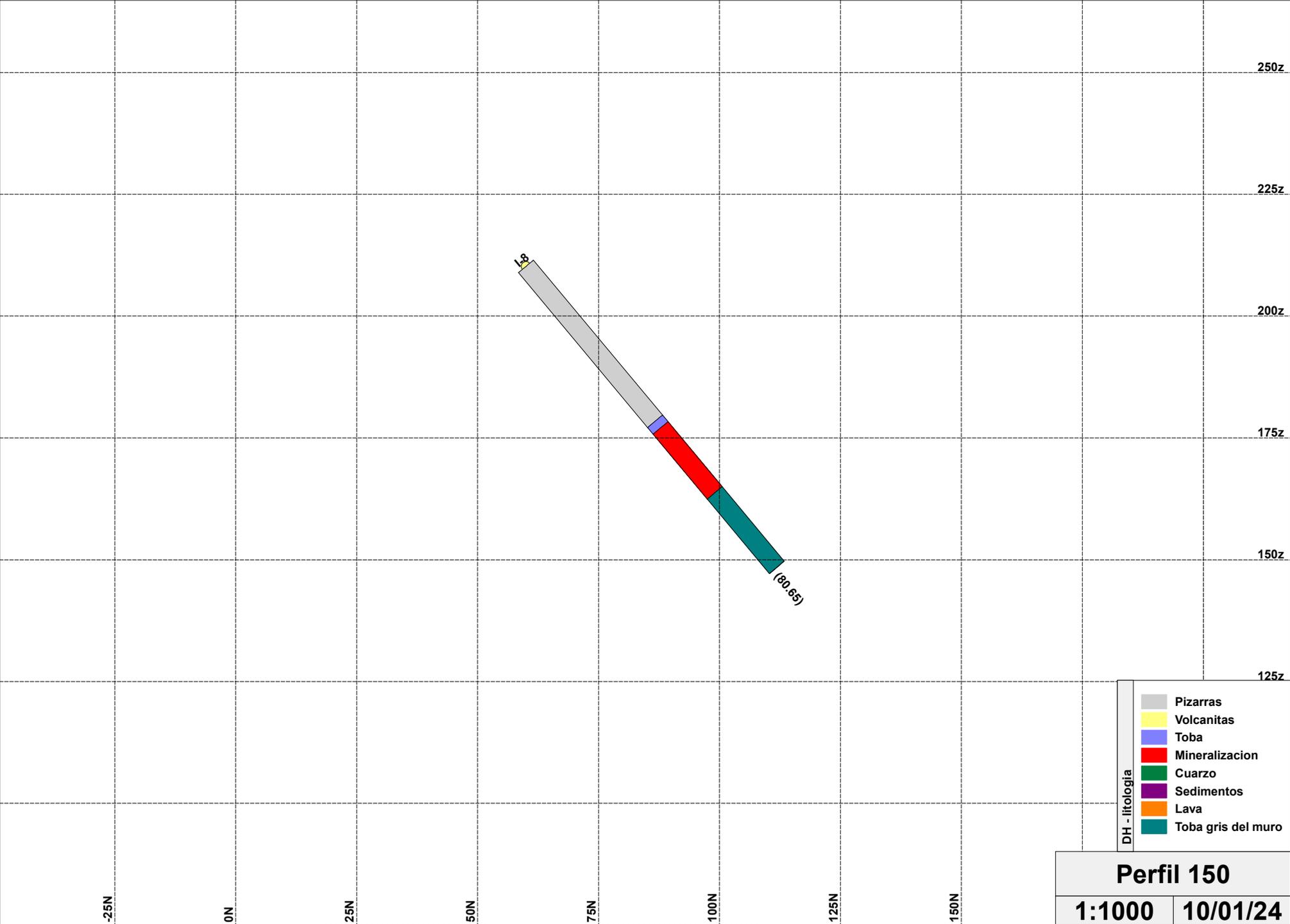
1:1000	10/01/24
---------------	-----------------



- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 100

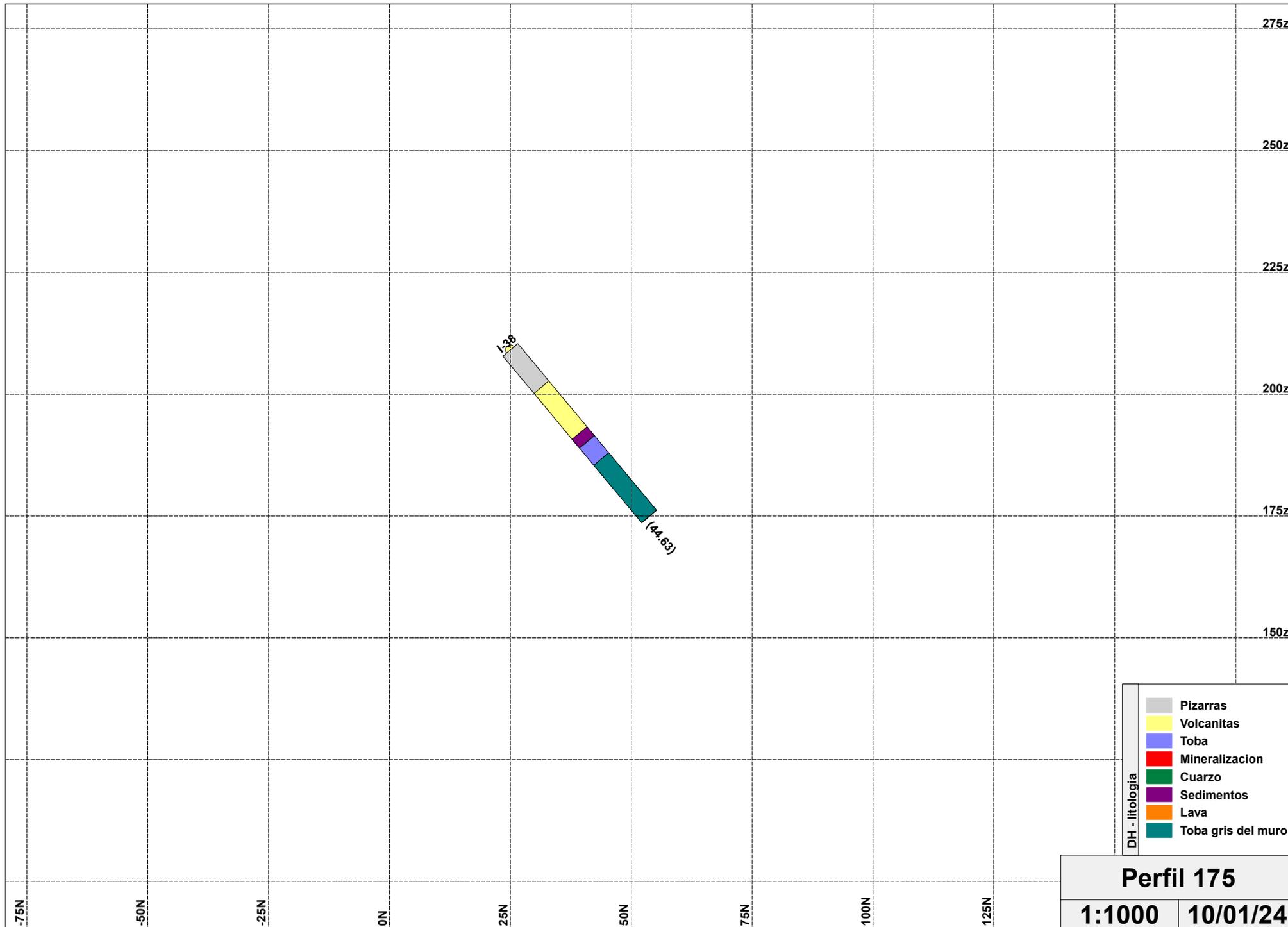
1:1000 **10/01/24**

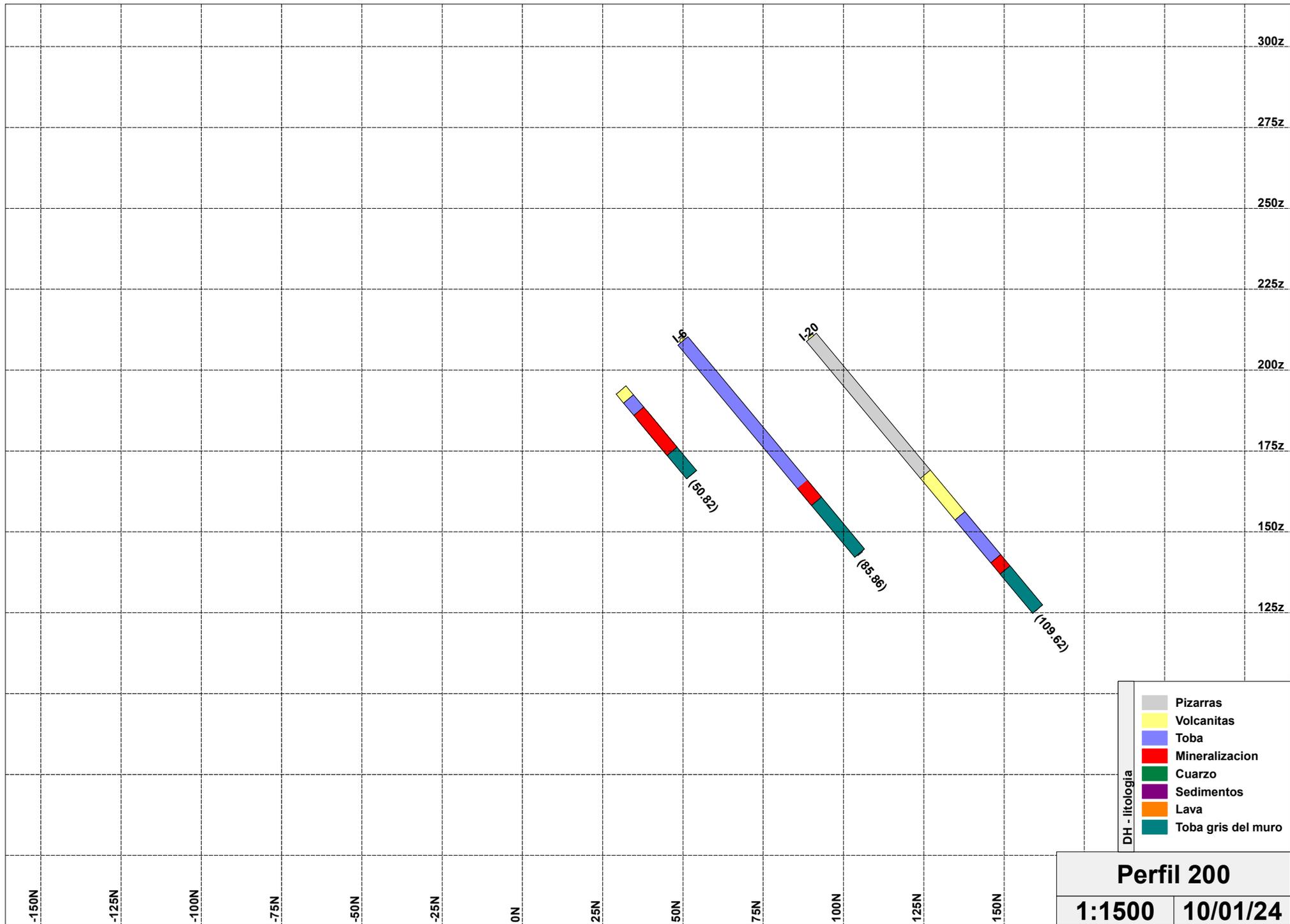


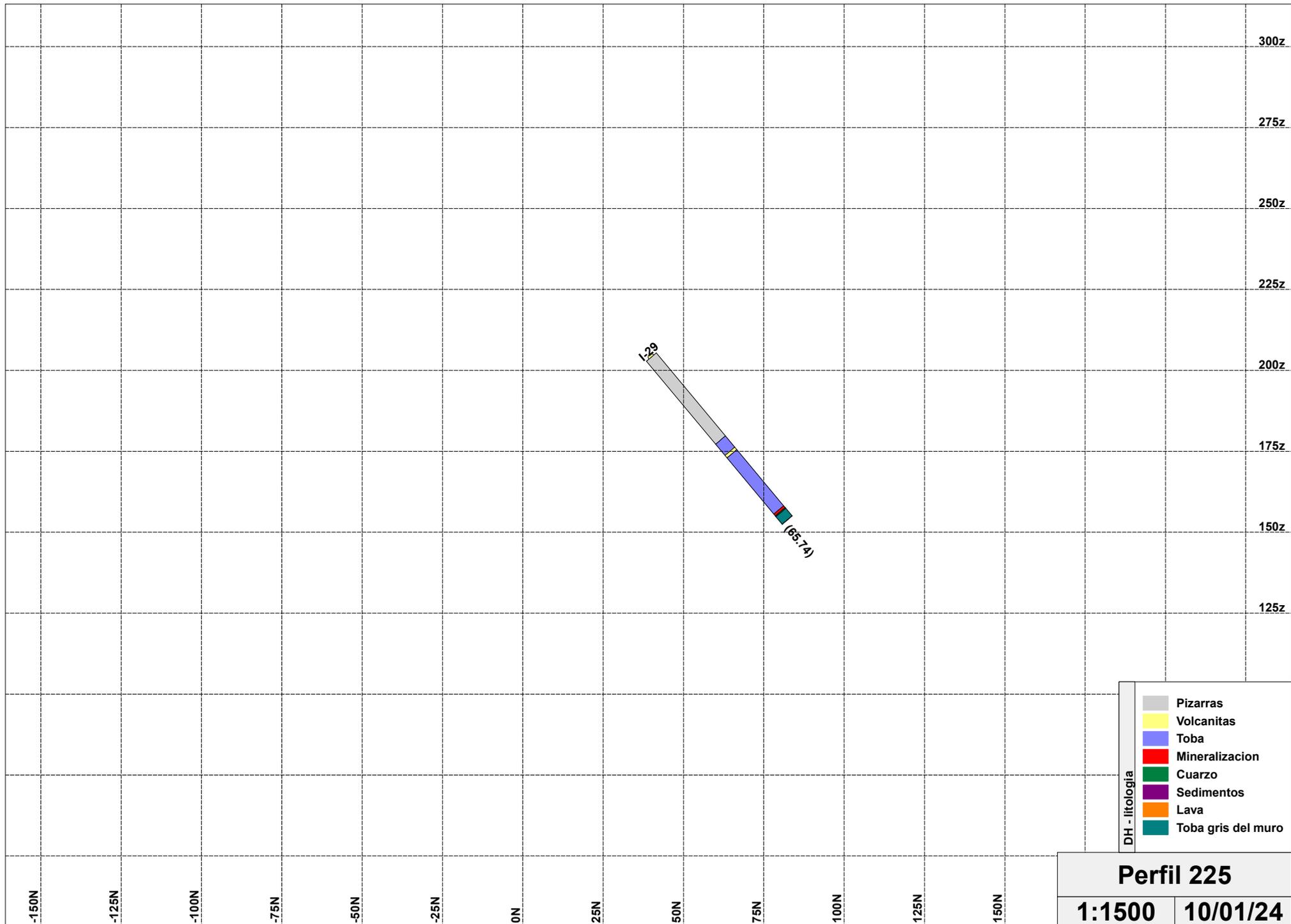
- DH - litologia
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

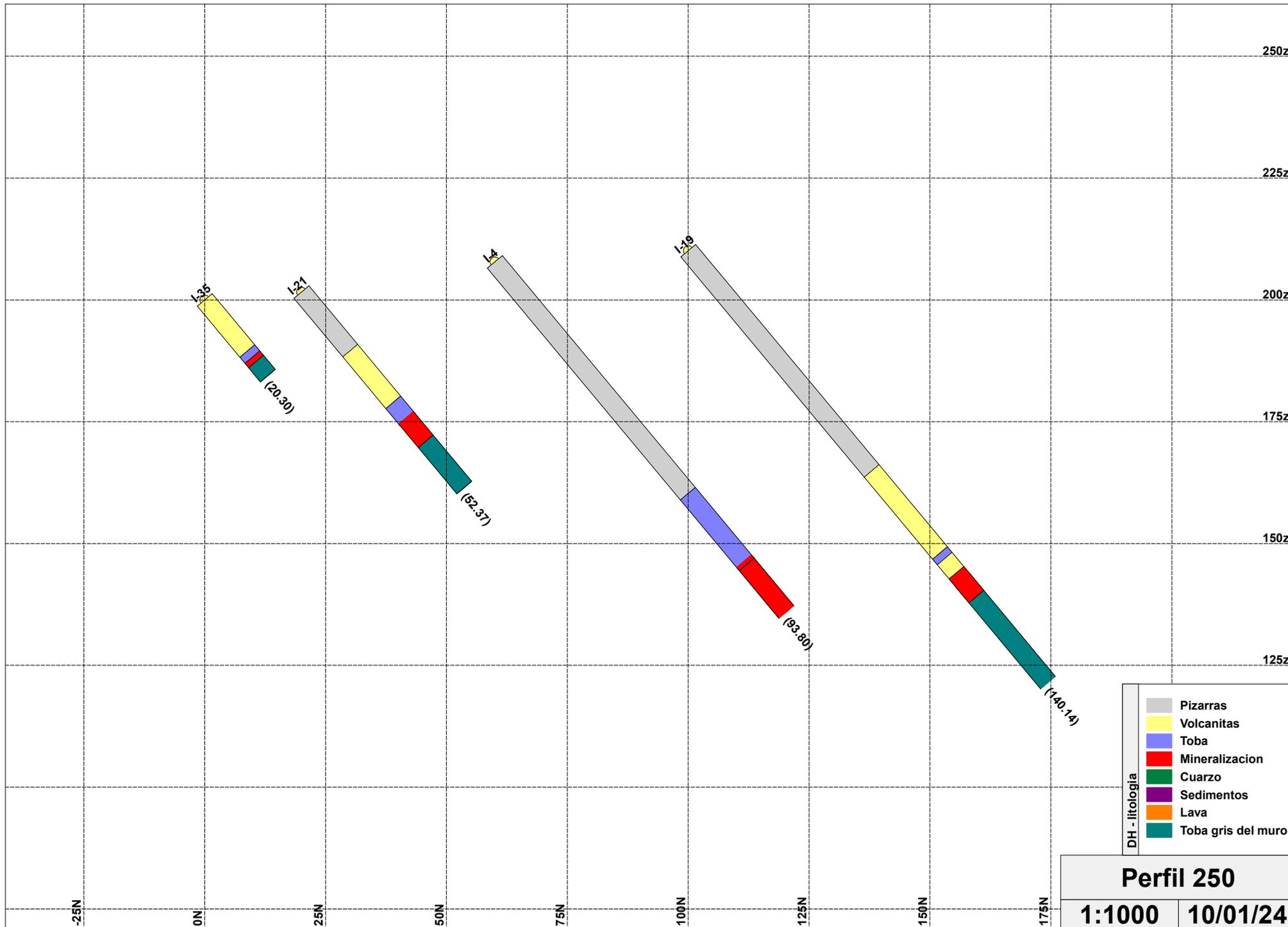
Perfil 150

1:1000 **10/01/24**





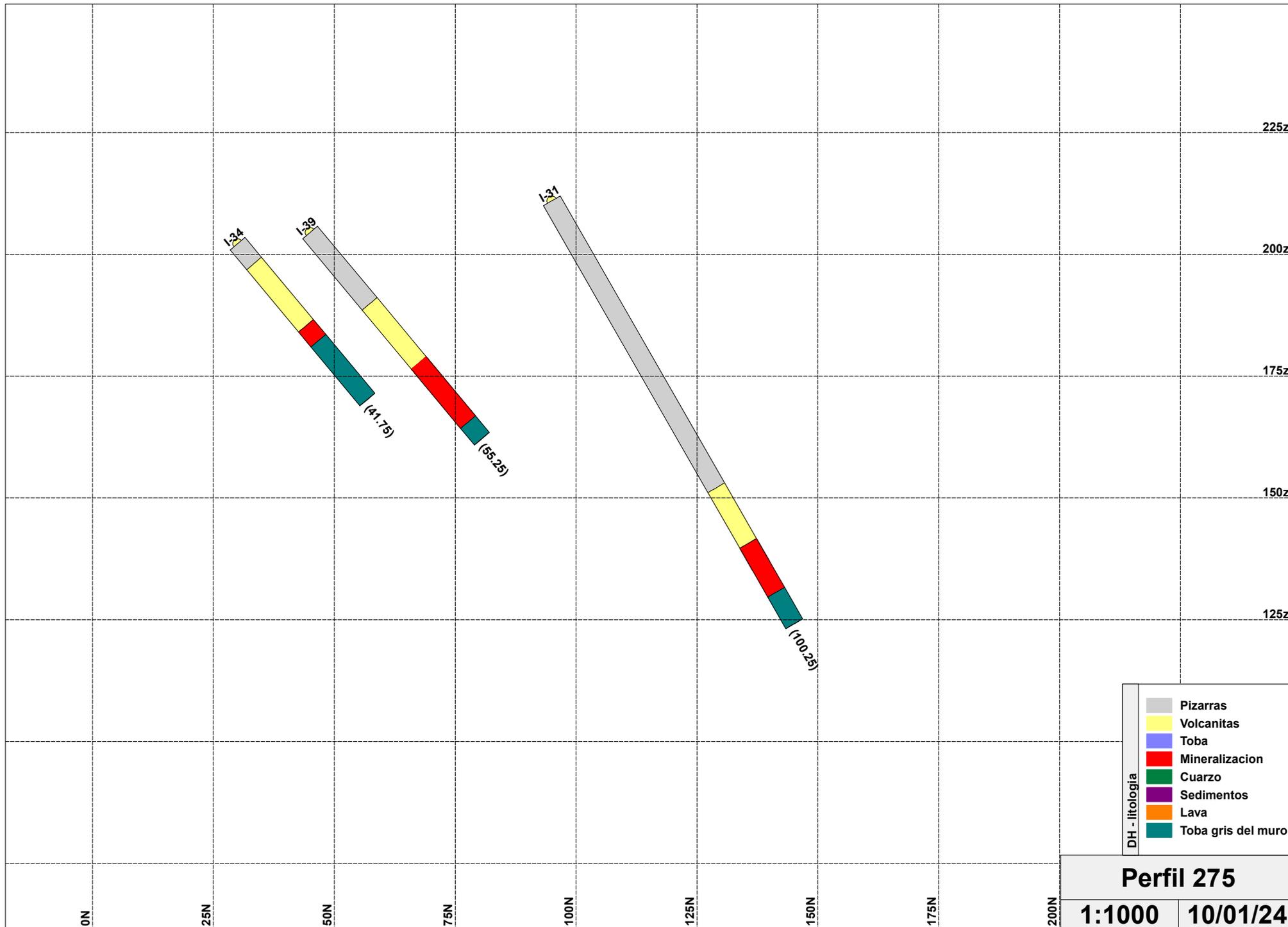




- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 250

1:1000 **10/01/24**

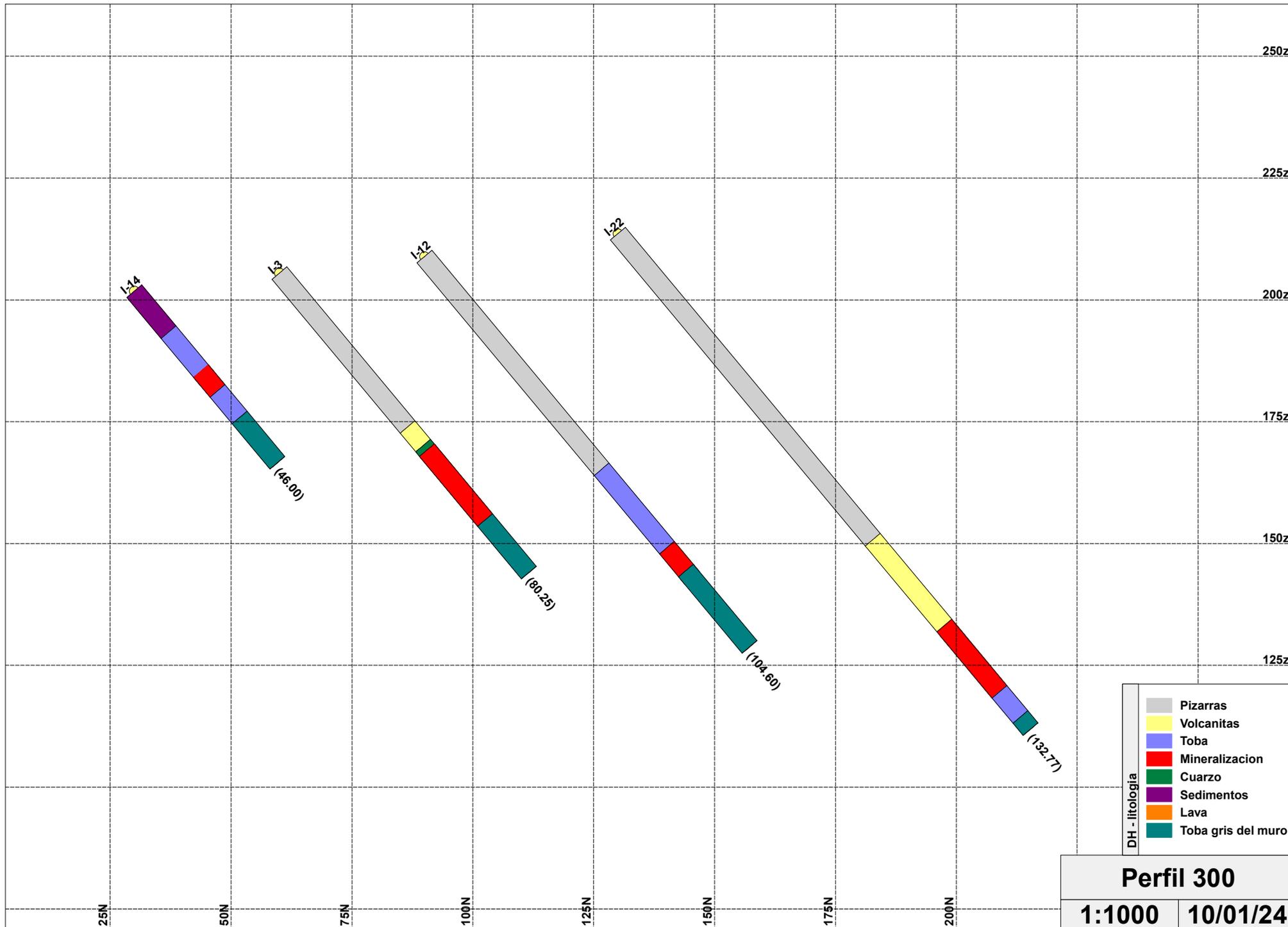


- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 275

1:1000

10/01/24

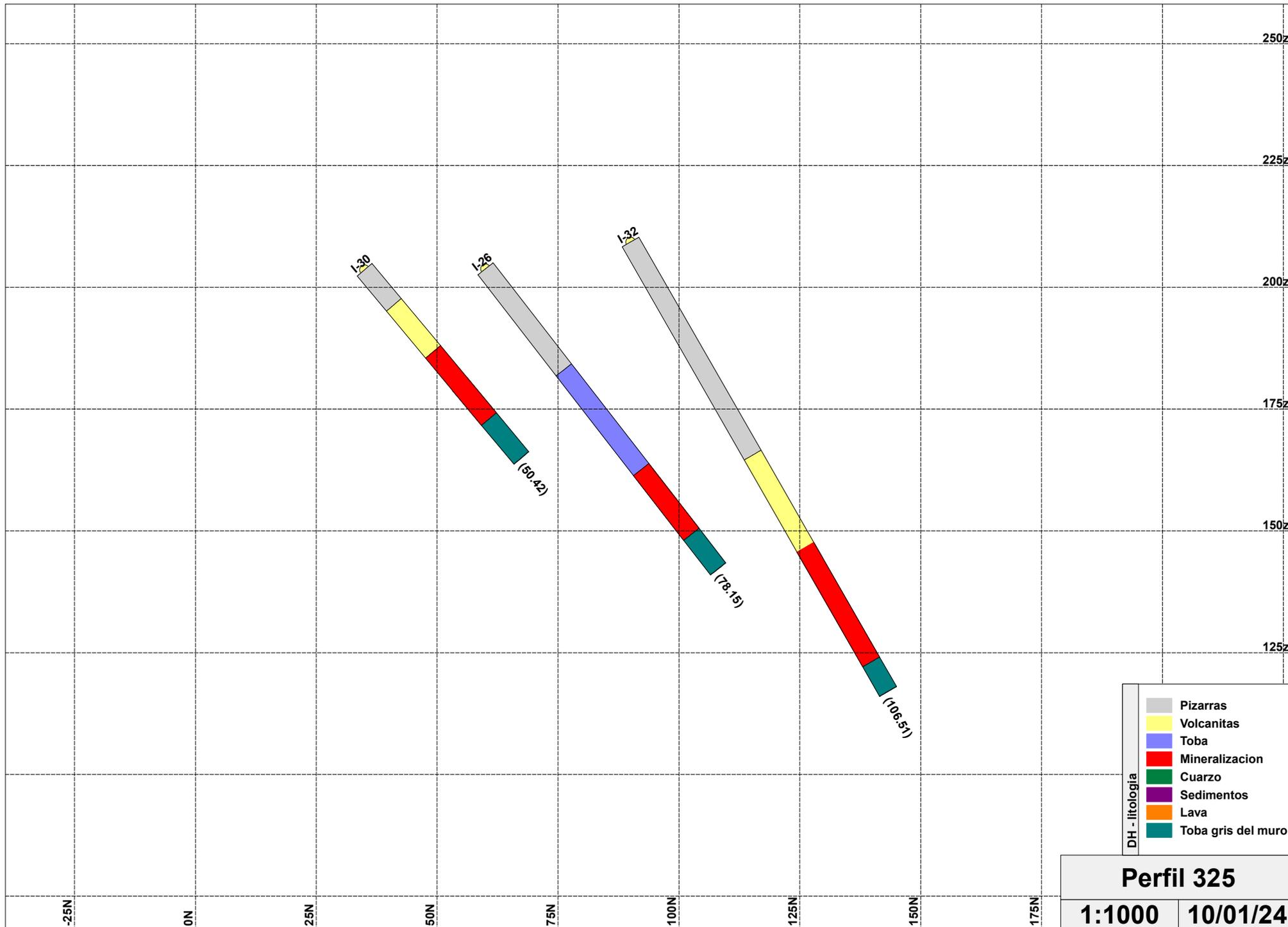


- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Lava
 - Sedimentos
 - Toba gris del muro

Perfil 300

1:1000

10/01/24

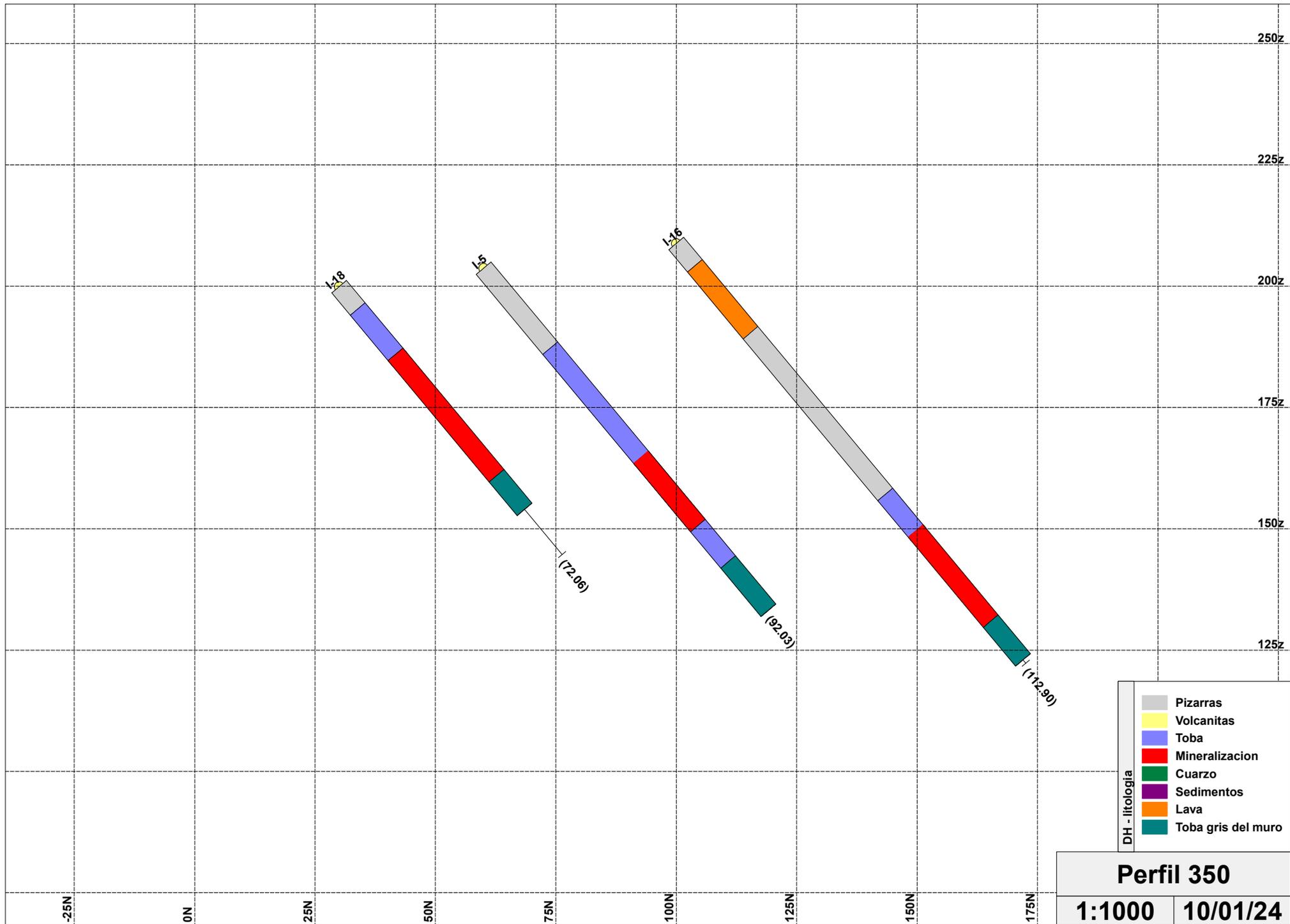


- DH - litologia
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 325

1:1000

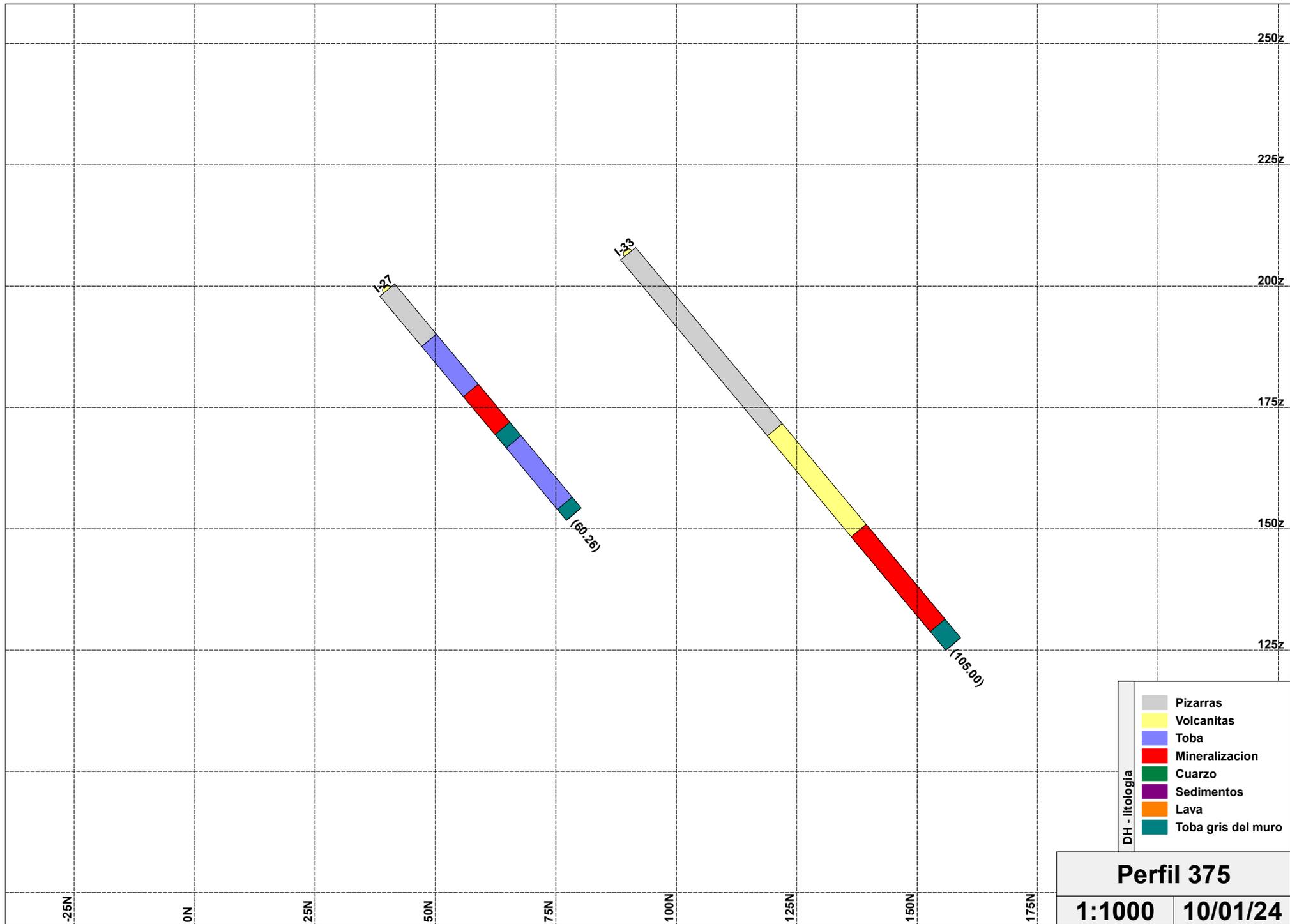
10/01/24

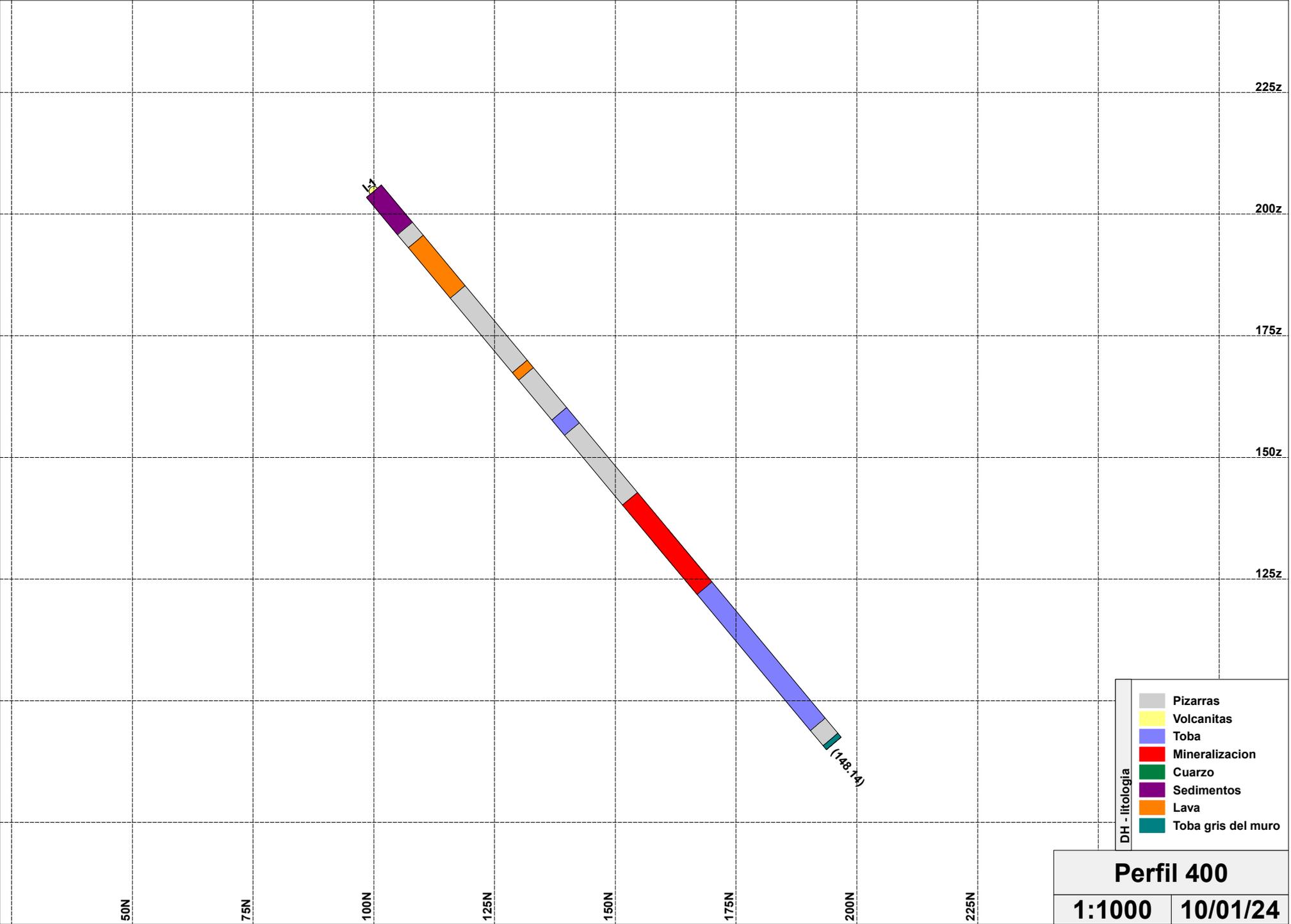


- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 350

1:1000	10/01/24
---------------	-----------------

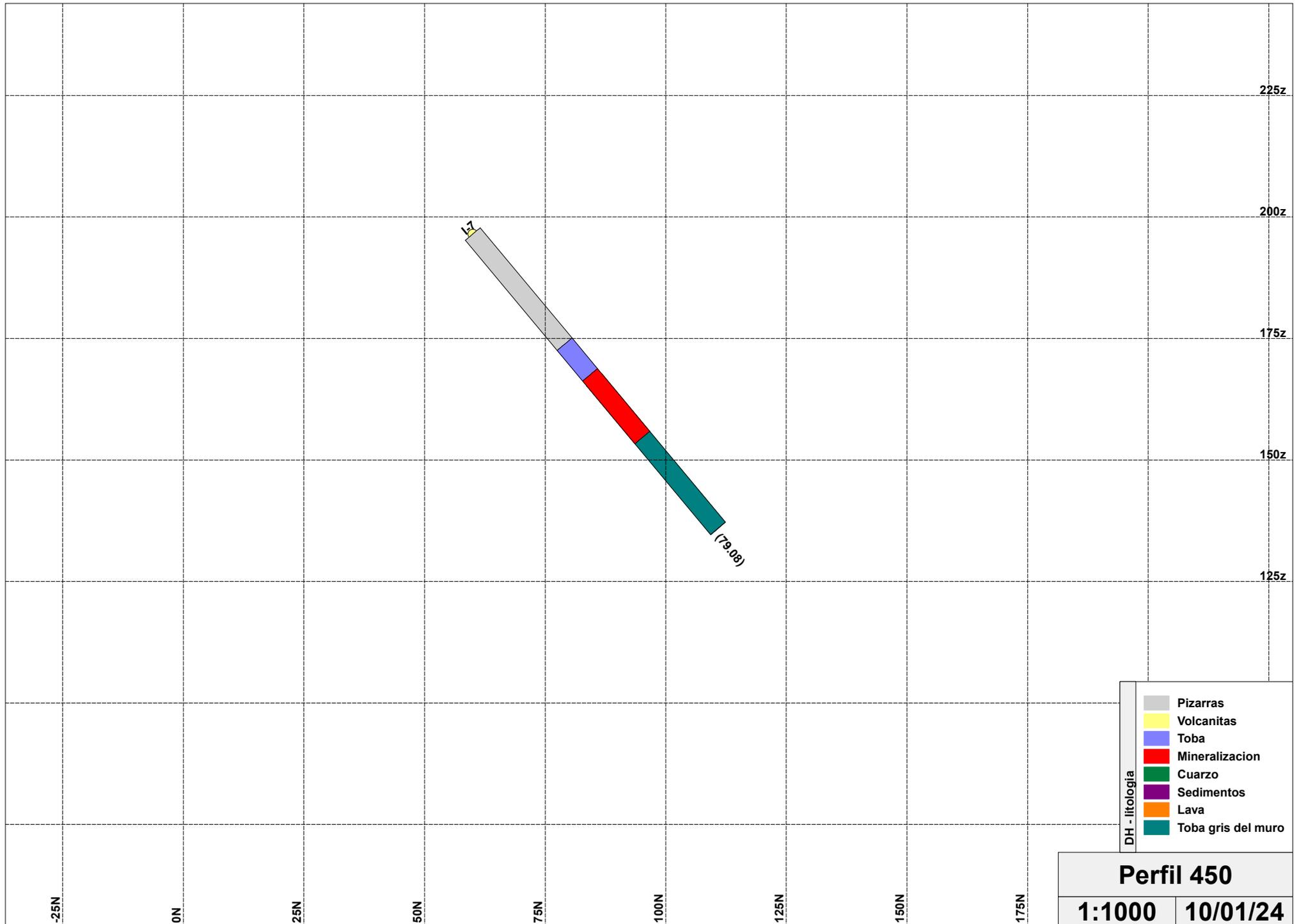


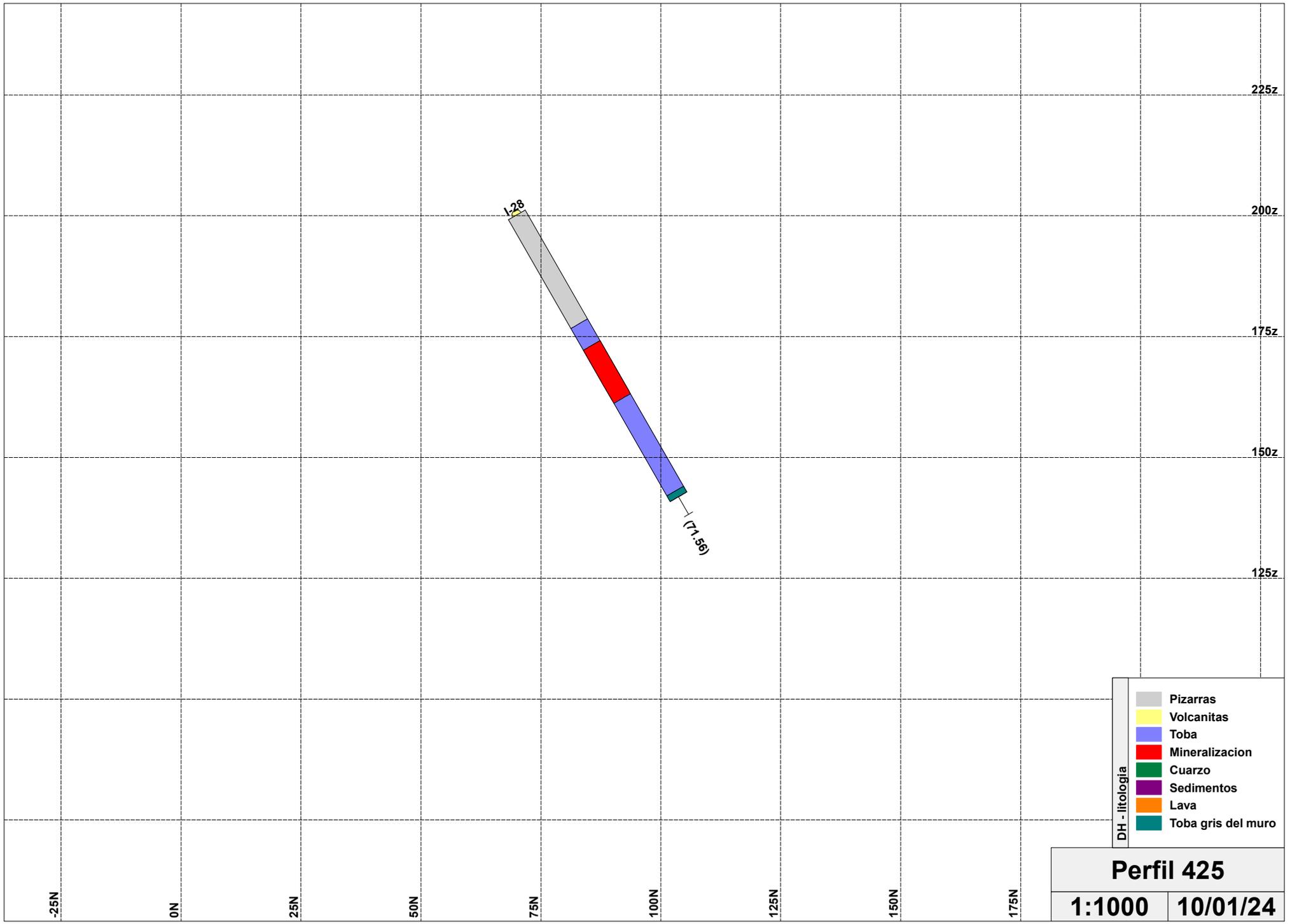


- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 400

1:1000 **10/01/24**





- DH - litología
- Pizarras
 - Volcanitas
 - Toba
 - Mineralizacion
 - Cuarzo
 - Sedimentos
 - Lava
 - Toba gris del muro

Perfil 425
1:1000 **10/01/24**