



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTIMACIÓN DE RESERVAS  
UTILIZANDO SOFTWARE  
LIBRE PARA UNA MINA DE  
HEMATITA EN PUEBLA**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero en Minas y Metalurgia**

**P R E S E N T A**

Roberto Zenil Hernandez

**ASESOR(A) DE INFORME**

Ing. Soledad Viridiana Guzmán Herrera



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**

## ÍNDICE

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                                                  | III |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                                         | IV  |
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO .....                                               | 5   |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                                            | 6   |
| 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....                                              | 7   |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO.....                                     | 8   |
| 3. ANTECEDENTES .....                                                          | 10  |
| 3.1 UBICACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL .....                                         | 10  |
| 3.2 OPERACIÓN.....                                                             | 11  |
| 3.3 YACIMIENTO .....                                                           | 12  |
| 3.4 CALIDAD .....                                                              | 13  |
| 3.5 EXPLORACIÓN .....                                                          | 15  |
| 4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                                                | 16  |
| 5. METODOLOGÍA.....                                                            | 17  |
| 5.1 ORDEN Y ANÁLISIS DE DATOS.....                                             | 17  |
| 5.1.1 EXCLUSIÓN DE DATOS FUERA DE RANGO .....                                  | 18  |
| 5.1.2 CORRELACIÓN HEMATITA-SÍLICE .....                                        | 18  |
| 5.2 DIGITALIZACIÓN DE BARRENOS Y CURVAS DE NIVEL .....                         | 19  |
| 5.3 GENERACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES E INTERPRETACIÓN DEL YACIMIENTO..... | 23  |
| 5.4 ESTIMACIONES DE VOLUMEN .....                                              | 28  |
| 5.5 GENERACIÓN DE BLOQUES Y ASIGNACIÓN DE VARIABLES .....                      | 28  |
| 5.6 ASIGNACIÓN DE VALORES .....                                                | 29  |
| 5.7 ASIGNACIÓN DE LEYES MEDIANTE EL CALCULO DEL INVERSO A LA DISTANCIA .....   | 32  |
| 5.7.1 RANGO DE INFLUENCIA CON <i>GNU PLOT</i> .....                            | 33  |
| 5.7.2 RANGO DE INFLUENCIA CON <i>GEO_UTILS RECMIN</i> .....                    | 33  |
| 5.7.3 ASIGNACIÓN DE VALORES DE INVERSO A LA DISTANCIA .....                    | 34  |
| 5.7.4 REAJUSTE DE RESULTADOS .....                                             | 35  |
| 5.8 CLASIFICACIÓN DE RESERVAS.....                                             | 35  |
| 6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....                                             | 37  |
| 6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS.....                                         | 37  |

|       |                                                                          |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2   | ESTIMACIONES DE VOLUMEN .....                                            | 41 |
| 6.2.1 | CÁLCULO DE VOLUMEN CON SECCIONES .....                                   | 41 |
| 6.2.2 | CÁLCULO DE VOLUMEN CON BLOQUES .....                                     | 50 |
| 6.2.3 | COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE BLOQUE ÓPTIMO .....  | 52 |
| 6.3   | ASIGNACIÓN DE LEYES MEDIANTE EL CALCULO DEL INVERSO A LA DISTANCIA ..... | 53 |
| 6.3.1 | RANGOS DE INFLUENCIA .....                                               | 53 |
| 6.3.2 | LEYES OBTENIDAS MEDIANTE EL INVERSO A LA DISTANCIA .....                 | 58 |
| 6.4   | CLASIFICACIÓN DE RESERVAS .....                                          | 59 |
| 6.5   | CONCLUSIONES .....                                                       | 62 |
| 7.    | REFERENCIAS .....                                                        | 64 |
| 8.    | ANEXOS .....                                                             | 65 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Ilustración 1: Ubicación de la mina “El Águila Real”; tomada de Google Earth.</i>                                          | 10 |
| <i>Ilustración 2: Carta Geologica 1:50,000 de la zona de Huehuetlán; tomada del SGM.</i>                                      | 14 |
| <i>Ilustración 3: Vista de los barrenos digitalizados, a través de RMdraw</i>                                                 | 20 |
| <i>Ilustración 4: Mapa de curvas de nivel proporcionado por la empresa Dromine.</i>                                           | 21 |
| <i>Ilustración 5: Vista del mapa de curvas de nivel digitalizado, a través de RMdraw.</i>                                     | 22 |
| <i>Ilustración 6: Sección transversal ZE, Norte: 2,026,030; a través de RMdraw.</i>                                           | 24 |
| <i>Ilustración 7: Sección transversal ZE, Norte: 2026100; a través de RMdraw.</i>                                             | 25 |
| <i>Ilustración 8: vista en planta (NE) del sólido y los barrenos (en amarillo) que lo conforman, a través de RMdraw.</i>      | 26 |
| <i>Ilustración 9: vista longitudinal (ZN) del sólido, a través de RMdraw.</i>                                                 | 27 |
| <i>Ilustración 10: vista tridimensional del sólido, a través de RMdraw.</i>                                                   | 27 |
| <i>Ilustración 11: vista 3D de los bloques de valor topográfico 1, a través de RMdraw.</i>                                    | 30 |
| <i>Ilustración 12: vista 3D de los bloques de valor topográfico 0, a través de RMdraw.</i>                                    | 31 |
| <i>Ilustración 13: vista 3D de los bloques de valor litológico 1, a través de RMdraw.</i>                                     | 32 |
| <i>Ilustración 14: Histograma.</i>                                                                                            | 39 |
| <i>Ilustración 15: Correlación hematita-sílice. El eje X corresponde a los valores de hematita, el eje Y a los de sílice.</i> | 40 |
| <i>Ilustración 16: Vista 3D de las secciones ZE, a través de RMdraw.</i>                                                      | 43 |
| <i>Ilustración 17: Vista en planta de las secciones ZE, a través de RMdraw.</i>                                               | 44 |
| <i>Ilustración 18: Sección 6090.64.</i>                                                                                       | 44 |
| <i>Ilustración 19: Vista 3D de las secciones ZN, a través de RMdraw.</i>                                                      | 46 |
| <i>Ilustración 20: Vista en planta de las secciones ZN, a través de RMdraw.</i>                                               | 47 |
| <i>Ilustración 21: Sección 2250.99.</i>                                                                                       | 47 |
| <i>Ilustración 22: Vista 3D de las secciones NE, a través de RMdraw.</i>                                                      | 49 |
| <i>Ilustración 23: Vista en planta de las secciones NE, a través de RMdraw.</i>                                               | 49 |
| <i>Ilustración 24: Sección 934.73.</i>                                                                                        | 50 |
| <i>Ilustración 25: Distribución de volúmenes para bloques de 10x10x10.</i>                                                    | 51 |
| <i>Ilustración 26: Distribución de volúmenes para bloques de 5x5x5.</i>                                                       | 52 |
| <i>Ilustración 27: Mapas de Isolíneas 938 a 948.</i>                                                                          | 54 |
| <i>Ilustración 28: Mapas de Isolíneas 948 a 958.</i>                                                                          | 54 |
| <i>Ilustración 29: Mapas de Isolíneas 958 a 968.</i>                                                                          | 54 |
| <i>Ilustración 30: Mapa de Isolíneas para niveles 968 a 973, a través de gnuplot.</i>                                         | 55 |
| <i>Ilustración 31: Mapas de Isolíneas para niveles 915 a 925, a través de gnuplot.</i>                                        | 55 |
| <i>Ilustración 32: Mapas de Isolíneas para niveles 925 a 935, a través de gnuplot.</i>                                        | 55 |
| <i>Ilustración 33: Mapas de Isolíneas para niveles 935 a 945, a través de gnuplot.</i>                                        | 56 |
| <i>Ilustración 34: Mapas de Isolíneas para niveles 945 a 955, a través de gnuplot.</i>                                        | 56 |
| <i>Ilustración 35: Vista 3D del sistema de elipsoides que definen el rango de influencia, a través del visor 3D.</i>          | 57 |
| <i>Ilustración 36: Vista en planta de la clasificación de reservas, a través de RMdraw.</i>                                   | 60 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1: Resultados de la exclusión de datos fuera de rango.</i>                                                                 | <i>37</i> |
| <i>Tabla 2: Resultados del análisis estadístico.</i>                                                                                | <i>38</i> |
| <i>Tabla 3: Clases, frecuencias y porcentaje acumulado.</i>                                                                         | <i>38</i> |
| <i>Tabla 4: Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZE.</i>                                                                         | <i>42</i> |
| <i>Tabla 5: Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZN.</i>                                                                         | <i>45</i> |
| <i>Tabla 6: Áreas y volúmenes calculados. Secciones NE.</i>                                                                         | <i>48</i> |
| <i>Tabla 7: Volumen por cotas y volumen acumulado para bloques de 10x10x10.</i>                                                     | <i>50</i> |
| <i>Tabla 8: Volumen por cotas y volumen acumulado para bloques de 5x5x5.</i>                                                        | <i>51</i> |
| <i>Tabla 9: Volúmenes totales.</i>                                                                                                  | <i>52</i> |
| <i>Tabla 10: Resultados del cálculo de leyes por inverso a la distancia, método de los polígonos y la ley ajustada o ponderada.</i> | <i>58</i> |
| <i>Tabla 11: Clasificación de reservas.</i>                                                                                         | <i>59</i> |
| <i>Tabla 12: Clasificación de reservas por nivel.</i>                                                                               | <i>61</i> |

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La mina “El águila real” es una operación a cielo abierto de hematita ubicada en el municipio de Jolalpan, Puebla. Ha sido explotada por más de diez años tan solo empleando la experiencia de los operadores de maquinaria pesada, sin embargo, estos métodos han generado problemas en la actualidad que pueden resumirse a inconvenientes en cuestiones financieras, operativas y de seguridad.

La planeación de las operaciones, así como el diseño de la mina no pueden llevarse a cabo sin el conocimiento de las reservas actuales y, en mayor importancia, el contrato con el cual se lleva a cabo la explotación, arreglado con el concesionario de la zona, está por vencerse, con lo que es necesario realizar la renovación de éste por un tiempo estimado o terminar con las operaciones.

La estimación de las reservas actuales es de gran importancia para resolver las problemáticas anteriores. Buscando una solución rápida y económica, se ha decidido emplear el uso de software minero para la estimación de reservas y proponer un modelo del yacimiento.

Actualmente los softwares de minería se han vuelto una herramienta importante para las unidades mineras, debido a que su uso facilita en gran medida las actividades que involucran a la elaboración de modelos geológicos, planeación y diseño de obras mineras, tanto subterráneas como a cielo abierto, cálculo y generación de plantillas de barrenación, sistemas de ventilación, sistemas hidráulicos, elaboración de modelos geológicos y estimación de reservas minerales, entre otros.

Entre los inconvenientes presentados tanto a alumnos como a pequeñas y medianas empresas se encuentra el costo de las licencias para poder operar estos softwares, sin embargo, actualmente existen otros medios con los cuales las licencias no debieran ser un impedimento para el aprovechamiento de las ventajas obtenidas mediante el uso de estas herramientas, son los softwares de uso libre, uno de estos es *Recmin*, en cuya aplicación recae un gran porcentaje de este trabajo.

*Recmin* es un software de uso libre diseñado y programado por el Dr. Cesar Castañón Fernández formado por cinco módulos: *RMyac*, módulo de edición de yacimientos, *RMedit*, edición de sondeos *RMdraw*, módulo de dibujo *RM3d* módulo de renderizado y *RMseg*, módulo de copias de seguridad.

Entre sus ventajas, además de ser de uso libre, se encuentran una fácil instalación y una interfaz gráfica amigable y sencilla de manejar, razones por las cuales este software fue seleccionado para realizar este trabajo profesional.

## **1.1 OBJETIVOS**

Proponer un modelo del cuerpo en explotación y definir los límites del mismo dentro el área concesionada, así como clasificar y cuantificar las reservas de dicho cuerpo utilizando el método del inverso a la distancia para facilitar la solución de los problemas descritos en este trabajo.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Corporativo UNNE es un grupo de empresas de servicio que participa en el mercado nacional a través de cuatro divisiones: Logística y Transportes, Servicios, Suministros y Procesos.

Procesos, a través de EXPROMAT (Explotación y Proceso de Materiales), se encarga de la explotación de materias primas para la industria, principalmente cemento y agregados pétreos.

EXPROMAT fue fundada inicialmente para suministrar materias primas a la industria de la transformación (Cemento y Vidrio). Está dedicada a la exploración, explotación y comercialización de diferentes materiales extraídos de yacimientos metálicos y no metálicos. Y a la realización de diversas actividades relacionadas a la extracción de materiales:

- Renta de maquinaria pesada.
- Levantamientos topográficos.
- Elaboración de proyectos ejecutivos y de detalle.
- Construcción de carreteras y caminos, y suministro de materiales.

Misión: Proporcionar soluciones integrales de productos y servicios promoviendo la integridad, el reconocimiento y el trabajo en equipo, cuidando la rentabilidad y seguridad de nuestros colaboradores, clientes, proveedores y accionistas, respetando nuestro entorno y contribuyendo al bienestar social.

Visión: Ser una empresa líder en la diversidad y calidad de productos y servicios representando la mejor opción de negocios en el mercado.

Un breve resumen de la historia del corporativo (enfocado al área de procesos) se presenta a continuación:

- **1972:** Corporativo UNNE comienza a laborar como empresa transportando, al inicio, materiales para construcción, principalmente a compañías relacionadas con Petróleos Mexicanos.
- **1977:** Se formaliza una alianza estratégica con la compañía de cementos Cruz Azul, para realizar el servicio de transportación de cemento a granel.
- **1978:** Inicia la distribución de derivados de petróleo desde la refinería “Miguel Hidalgo”, en Tula de Allende, Hidalgo, a todo el territorio nacional.
- **1985:** Corporativo UNNE adquiere la empresa “Transportes Pachuca” ahora conocida como TRANSPAC, S.A. de C.V.
- **1992:** Surge una de las empresas más destacadas, dedicada a la exploración y explotación de yacimientos de minerales y renta de maquinaria pesada para la industria de la minería, “EXPROMAT”.

Actualmente cuenta con tres operaciones mineras: “La Campa” o “Coayuca”, ubicada en la localidad de Coayuca, Puebla, enfocada a la explotación de yeso, “Xiteje”, en el municipio del mismo nombre, en Hidalgo, cuya explotación es



únicamente arena sílica, y “El águila real” o “Jolalpan”, localizada en Jolalpan, Puebla, produciendo mineral de hierro (Hematita) y operación en la cual está enfocado este trabajo.

## **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO**

Dentro de EXPROMAT la función del jefe de mina es la de administrar y planear los recursos generales de la mina, enfocándolos hacia la misión, visión, valores y políticas de Corporativo UNNE. Además de supervisión del personal a cargo: operadores, vigilantes, almacenistas, etc. A continuación se enlistan las funciones básicas del jefe de mina.

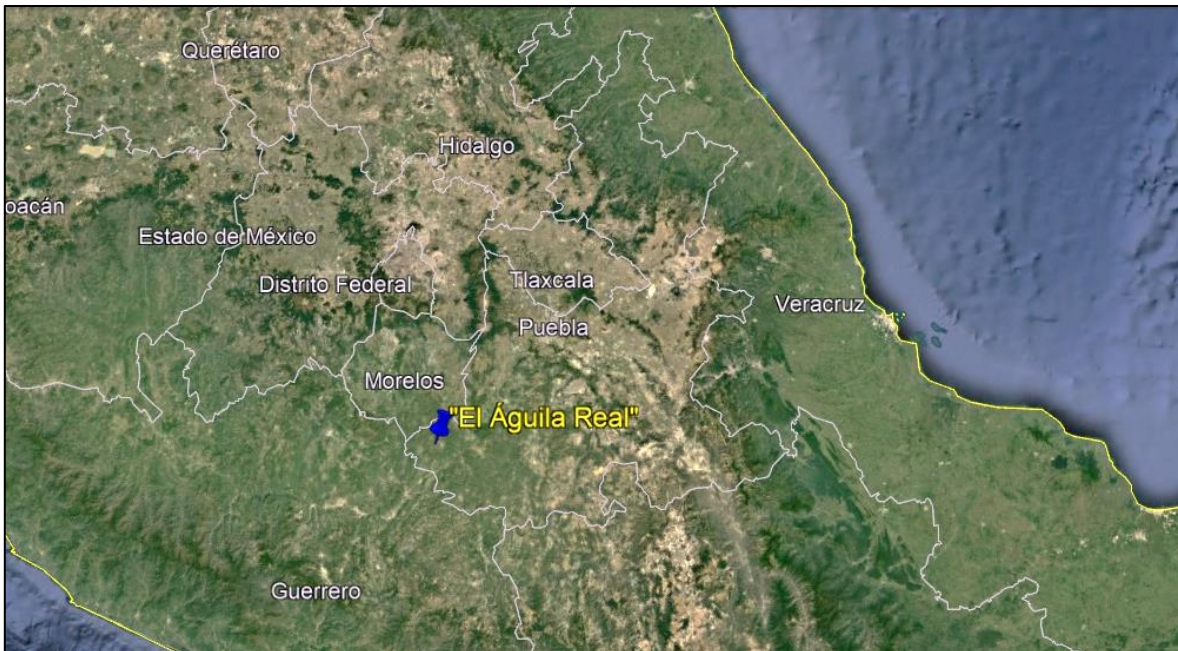
- Realizar diariamente las gestiones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento y operación de la mina.
- Generar semanalmente planes y acciones orientados a alcanzar la rentabilidad de la unidad de negocio asignada.
- Asegurar el cumplimiento diario a los compromisos establecidos con cada cliente.
- Coordinar en conjunto con analista químico, la toma de muestras del producto terminado para garantizar que se cumplan con los requerimientos de clientes.
- Asegurar el correcto uso y funcionamiento de la infraestructura de cada mina mediante la supervisión diaria. Gestionar con las áreas correspondientes que las instalaciones asignadas al personal cumplan con las condiciones de seguridad, confort e higiene adecuadas para el desempeño de sus actividades.
- Asignar labores por turno a los trabajadores, a través del reporte diario de equipo, así como la retroalimentación de las fallas reportadas en el mismo hacia el área de mantenimiento.
- Asegurar el cumplimiento al plan de mantenimiento.
- Supervisar las rutinas de inspección a equipos por el personal operativos.
- Asegurar, Ingresar y validar la información de los reportes en indicadores de operación de la mina en cada una de las áreas (Producción, Mantenimiento, Disponibilidad de equipos, almacenes, despacho, Rendimientos).
- Implementar acciones que garanticen la estabilidad laboral en los grupos de trabajo, su interrelación y condiciones adecuadas para el cumplimiento de sus actividades y objetivos.
- Ejecutar la correcta explotación y minado de la unidad de negocio asignada de acuerdo con el diseño emitido por la gerencia. Ejecutar los proyectos estratégicos que le sean asignados.
- Impulsar procesos de formación, desarrollo, evaluación y reconocimiento al personal a su cargo.

- Identificar y minimizar riesgos de trabajo del área a su cargo las actividades aquí señaladas son enunciativas más no limitativas.
- Vigilar el estado mecánico y físico de los equipos para asegurar la vida útil de los mismos, así como evaluar su reemplazo.
- Mejorar la eficacia de los procesos aplicando la política de calidad, los objetivos de calidad, el análisis de los datos, las acciones correctivas y preventivas.
- Participar en actividades de prevención y promoción, que sean aplicables en materia de Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 UBICACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

La mina “El águila real” es una explotación a cielo abierto de mineral de óxido de hierro, Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Se encuentra ubicada a 5 km del municipio de Jolalpan, Puebla en dirección Sureste, sobre la carretera hacia Teutla. Una fracción del yacimiento fue descubierta hace aproximadamente 12 años, inmediatamente después comenzó el desmonte de la zona y los trabajos de descapote y extracción de mineral.



*Ilustración 1: Ubicación de la mina “El Águila Real”; tomada de Google Earth.*

La porción del yacimiento descubierta se encuentra ubicada en terreno concesionado por un ciudadano local, con el que se posee un acuerdo para la explotación del mineral. Actualmente no se cuenta con un estudio geológico detallado de la zona, pero se sabe que en los alrededores aflora mineral de hierro que pudiera pertenecer al mismo yacimiento.

Desde sus comienzos la mina ha sido explotada de manera empírica como una operación de un solo banco, con una rampa principal y una zona en la cual disponer del material de descapote, cuyas ubicaciones no fueron planificadas. Sus reservas solo han sido calculadas una vez por la empresa EXPROMAT, hace diez años, estimando en su momento una vida útil de diez años para esa sección del yacimiento, sin embargo, se desconocen los métodos empleados para el cálculo de estas.

El desconocimiento actual de las reservas a generado retrasos en la renovación de contratos con el locatario e incertidumbre en los inversionistas. El desconocimiento actual del cuerpo mineral dificulta la toma de decisiones en cuanto al diseño de la mina y en la generación de nuevos contratos con concesionarios vecinos. También se ha producido un mal manejo de los recursos y una falta de planificación, lo cual ha ocasionado problemas de seguridad para los operadores y de calidad para el material de venta.

El mayor problema generado por el mal manejo de recursos y planeación fue el debilitamiento del talud principal, el cual se derrumbó en el pasado terremoto del 19 de septiembre del 2017, cubriendo una sección de la mina y gran parte de la zona mineralizada.

En promedio suelen explotarse 10,000 toneladas mensuales de hematita, con una relación de descapote actual de entre 0.5 y 0.8 toneladas de tepetate por tonelada de mena.

### **3.2 OPERACIÓN**

Existen tres operaciones principales y cinco auxiliares dentro de la mina, las primeras tres se describen a continuación.

*Descapote.* Consiste en exponer el mineral cuyas leyes sean rentables para la unidad. Puede realizarse empleando arranque mecánico o mediante el uso de explosivos; el primero es el más utilizado ya que el principal material de descapote es una mezcla de limonita y arcillas, la cual es deleznable y fácil de cortar mediante el uso de excavadora; el segundo material a descapotar está conformado por una costra de roca caliza, la cual requiere el uso de explosivo para ser fracturada y liberada, actualmente no es necesario el descapote por este método, sin embargo, se contempla que vuelva a emplearse a futuro.

*Abundamiento.* Una vez expuesta la mena, se procede a realizar cortes mediante arranque mecánico, también empleando excavadora, la cual apila o carga este mineral según sea necesario. Aunque la ubicación de la pila de alimentación pueda variar, las pilas destinadas a la mezcla de mineral se localizan en el área central del banco, por lo que la mayoría de las ocasiones el mineral se carga a un camión tipo tortón, el cual lo descarga en el área destinada para formación de pilas.

*Acarreo.* Existen dos principales rutas de acarreo: formación de pilas y tepetateras. La primera puede variar de posición, mientras que la segunda posee una ubicación específica dentro de la mina. El acarreo se realiza con un camión de volteo tipo tortón, es decir, posee dos ejes.

Las cinco operaciones auxiliares restantes son descritas en los siguientes párrafos.

*Muestreo.* Se realiza aleatoriamente mediante la toma de muestras de mano a lo largo de una sección a minar, o una pila de material abundado. Las muestras son enviadas al laboratorio en donde se analizan los porcentajes de óxido de hierro contenidos en las mismas, en función del porcentaje se lleva a cabo el compósito necesario para la liberación de la pila por parte del cliente.

Una vez mezclado el material vuelve a realizarse un muestreo aleatorio alrededor de la pila con el motivo de constatar la calidad de esta. Este muestreo también es llevado a cabo por los clientes de la unidad.

*Realización de compósitos.* Llevada a cabo mediante el uso de cargador frontal. Está en función de la calidad del mineral, por lo cual no siempre es necesaria.

*Despacho y remezclado de material.* Esta tarea también es realizada por el cargador frontal; consiste en despachar el material a los vehículos destinados a enviar material a las plantas cementeras. Debido al ataque frontal, las pilas continúan mezclándose para garantizar la calidad de estas.

*Limpieza de pilas.* La eliminación de roca caliza de poco tamaño, de 5 a 10 pulgadas, contenida en las pilas de material se lleva a cabo de manera manual, mientras que las rocas de tamaño superior son apartadas con ayuda de la excavadora o el cargador frontal para su conminución y/o posterior desecho.

*Disminución de sobre tamaños.* En ocasiones suelen aparecer rocas calizas de gran tamaño, superiores a las 50 pulgadas, las cuales no pueden cargarse directamente en el tortón, ya que pudieran presentarse daños en la maquinaria, por lo cual es necesario reducir el tamaño de estas para su posterior acarreo. Actualmente, debido al sismo, la cantidad de roca de gran tamaño se ha incrementado.

En raras ocasiones también es necesario reducir rocas de mineral para la aprobación del cliente.

### **3.3 YACIMIENTO**

El yacimiento se encuentra en la zona geológica de Huehuetlán, la cual abarca la zona sur oeste del estado de Puebla y el sur del estado de Morelos, la cual se encuentra conformada por conglomerados de cuarzo, areniscas arcillosas silicificadas y hematizadas y limonitas cubiertas por lentes de calizas; en la zona sobresalen cuatro principales formaciones: Morelos, Mexcala, Cuayuca y Anhidrita Huitzuco.

La formación Morelos se encuentra principalmente conformada por conglomerados calcáreos; Mexcala presenta areniscas interestratificadas con lutitas y caliza; Cuayuca se conforma de lutitas y areniscas con intercalaciones de yeso y delgadas capas de bentonita; La Anhidrita Huitzuco subyace a la formación Morelos, se encuentra conformada por intercalaciones de yeso y anhidrita.

Dentro de esta zona se encuentra el distrito minero de Jolalpan-Tlaucingo, donde se han ubicado yacimientos de hematita en forma de lentes, vetas irregulares y, en menor ocurrencia, stockworks, formados por reemplazamiento metasomático de líquidos magmáticos residuales en las calizas de la formación Morelos. En la *Ilustración 2* puede observarse la carta geológica de la sección correspondiente al distrito minero de Jolalpan, al cual corresponden, principalmente, minas de hierro de baja y media ley, de 3% a 46% de hematita (no hay registro de El Águila Real en esta carta, sin embargo, se ha ubicado mediante una estrella), canteras de bentonita, yeso y bloques dimensionables, específicamente tobas volcánicas.

De manera local, se sabe de manera experiencia que, hasta este momento, el yacimiento se encuentra conformado principalmente de dos zonas, una zona de “arcillas”, la cual es realmente una mezcla de arcillas y limonita que cubre en algunas zonas a la hematita, también conocida como zona de “óxidos”. El yacimiento se encuentra encajonado por roca caliza y en algunas zonas yeso, en cuyos puntos más altos forman zonas Kársticas. En yacimientos vecinos se han encontrado minerales de Manganese y es una zona famosa por la alta calidad del Yeso que ahí se explota. También se han encontrado minerales de cobre, principalmente Malaquita, en algunas zonas de la mina.

La Hematita se encuentra principalmente en forma terrosa de un característico color rojo sangre, muy diferenciada de la limonita, cuyo color es un pardo amarillento y esta mezclada con arcillas (no analizadas). La roca caliza presenta un color blanco amarillento, mientras que el yeso se encuentra en tonalidades blancas y grisáceas.

### **3.4 CALIDAD**

La calidad depende de los requerimientos del cliente en cuya solicitud el tamaño de partícula del material no debe de superar los 50 cm (en raras ocasiones es superado) y la ley del material debe de encontrarse en un rango de 50% a 60% de hematita, preferentemente superior al 55% de ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y menor al 10% en sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

El frente de explotación en el banco se encuentra dividido en seis sectores, de manera empírica, cuya ley supera o es apta para los requerimientos de las cementeras (S1, S2, S3, S4, S5 y S6). Los sectores se encuentran distribuidos en la parte poniente de la mina, comenzando al norte con el sector S1, y continuando con S2, S3, S4, S5 en sentido antihorario aproximadamente cada 30 metros, hasta llegar al sur en S6. Los sectores S2 y S3 se encuentran cubiertos por roca caliza, producto del terremoto y la mala planeación.



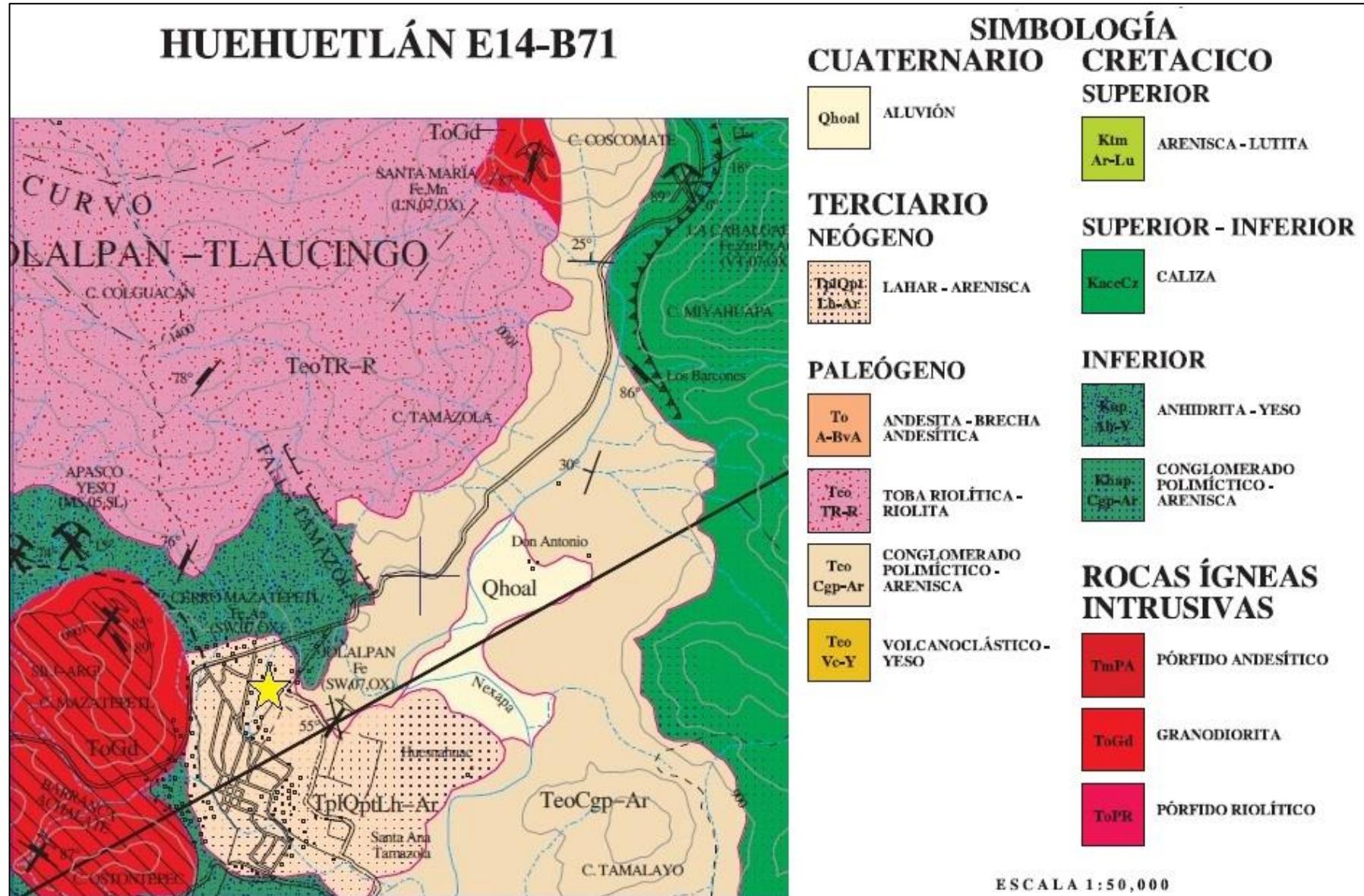


Ilustración 2: Carta geológica 1:50,000 de la zona de Huehuetlán; tomada del SGM.

### 3.5 EXPLORACIÓN

Para llevar a cabo el nuevo cálculo de reservas se realizó una campaña de exploración, utilizando el método de recolección de polvos por medio de recirculación inversa, en la cual se proyectaban 50 barrenos con una longitud promedio de 20 metros, los cuales fueron realizados en los alrededores del tajo y dentro del mismo.

La campaña duro 28 días, ya que no se contaba con equipo suficiente, la perforadora fue compartida por la mina vecina de Coayuca, de la misma empresa.

Fueron prospectados sobre un plano (**Anexo I**) con el registro de sus ubicaciones, en coordenadas UTM; los barrenos fueron etiquetados con la leyenda “JP”, seguida de un guion corto y un número consecutivo. Fue aclarado que el barreno JP-06 no fue realizado debido a su ubicación de difícil acceso, y a la finalización del plazo de 28 días de trabajo.

Se llevo a cabo una bitácora (**Anexo II**) en la que se registraron las coordenadas (UTM) y longitudes reales de los barrenos realizados, así como la descripción litológica, mediante apreciación visual, del área barrenada. También incluye tiempos de realización y de trabajo.

Las muestras fueron clasificadas y enviadas al laboratorio de la empresa, en Tula, Hidalgo. Desde donde se enviaron reportes de resultados de laboratorio (**Anexo III**) con la información de las leyes para óxido de hierro en porcentaje y los valores de sílice y humedad contenidos en las muestras, también en porcentaje. Cabe señalar que solo la mitad de los reportes contiene la información completa, debido a retrasos en los resultados de los análisis, el resto de los reportes solo contiene la información de las leyes de hierro.

El plano, la bitácora y los resultados de las muestras me fueron entregados para la realización del trabajo.



#### 4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Como se describió en la situación actual de la mina, el desconocimiento actual de las reservas genera retrasos en la renovación de contrato con el locatario, dueño de la concesión minera, e incertidumbre con los inversionistas del corporativo. A su vez se desconoce la forma del cuerpo mineralizado, lo cual genera dificultades en la toma de decisiones en cuanto al diseño y explotación de la mina, pudiera decirse que la explotación procede “a ciegas”.

Jolalpan ha demostrado ser una zona rica en óxidos de hierro, razón por la que es una zona de interés para el corporativo, el conocimiento del cuerpo mineralizado sería de gran utilidad en la generación de nuevos contratos con concesionarios vecinos.

Para solventar el problema de las reservas se llevará a cabo el análisis estadístico de los barrenos, la generación de secciones, se propone un modelo del cuerpo en explotación para definir sus límites dentro del área concesionada, así como su discretización, estimación y clasificación de las reservas empleando el método del inverso a la distancia mediante el uso del software libre *Recmin*. Esto restará incertidumbre y facilitará las decisiones en cuanto al futuro de la mina, también dará una idea de la ubicación de exploraciones futuras.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 ORDEN Y ANÁLISIS DE DATOS

Con la información anterior se procedió a organizar los datos para su análisis, ordenándolos en función a lo solicitado por el software **Recmin**, el cual solicita al menos 4 archivos: *collar*, con los datos de las coordenadas y profundidades de cada barreno; *desviaciones*, cuyos contenidos son las profundidades, azimuts y echados de los barrenos; *litología*, donde se describen los cambios litológicos de cada barreno; y *muestras*, que contiene los resultados de las muestras analizadas y su ubicación dentro de cada barreno.

*Collar*: Generado con ayuda del plan de exploración (**Anexo I**) y la bitácora de barrenación (**Anexo II**). El orden va de izquierda a derecha de acuerdo con el nombre del barreno, coordenada este, coordenada norte, elevación y profundidad del barreno; y en orden descendente a su realización. (**Anexo IV**).

*Desviaciones*: Creado con ayuda del plan de exploración y la bitácora de barrenación, donde se aclara que los barrenos fueron realizados de manera vertical y sin ninguna desviación de por medio, por lo cual se asigna un valor de 0 a los azimuts y un valor de -90 a los echados de todos los barrenos. Se ordenan de izquierda a derecha en función del nombre, profundidad, azimut y echado (dip) del barreno; y de arriba a abajo en función a su realización. (**Anexo V**).

*Litología*: Archivo creado con la información contenida en la bitácora de barrenación, donde se describen de manera cualitativa las litologías contenidas en cada barreno, se identifican únicamente tres “litologías” básicas: caliza, arcillas (en realidad se trata de limonita) y óxidos (Hematita). Los datos están ordenados de izquierda a derecha por el nombre del barreno, el segmento inicial y final en donde se encuentra la litología (comenzando por el valor de 0 hasta la profundidad total del barreno), y el tipo de “litología” en cada segmento; se ordenan de manera descendente de acuerdo con su realización. (**Anexo VI**).

*Muestras*: Realizado con la información de la bitácora de barrenación y los reportes de resultados de laboratorio (**Anexo III**), a los valores desconocidos (humedad y sílice de los barrenos 1 al 25) se les asignó el valor de 0 y se ordenaron de izquierda a derecha según su nombre, inicio y final del segmento correspondiente a la muestra, tamaño total del segmento, porcentaje de óxido de hierro, porcentaje de sílice y porcentaje de humedad de las muestras, y en orden decreciente a su realización. (**Anexo VII**).

### 5.1.1 EXCLUSIÓN DE DATOS FUERA DE RANGO

Con toda la información anterior se llevó a cabo un análisis de datos para descartar los datos atípicos en las leyes de los barrenos, evaluar las posibles leyes del yacimiento y calcular la posible correlación entre la ley de hematita y sílice.

Identificación de valores atípicos: se realizó mediante el uso de hojas de cálculo, usando todos los datos obtenidos en los reportes de laboratorio, específicamente el documento *muestras* (**Anexo VII**). Se calcularon los valores del primer y tercer cuartil ( $Q_1$  y  $Q_3$ ), y el rango Inter cuartil (IQR) para emplearlos en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Valor atípico superior} = Q_3 + 1.5 * \text{IQR}$$

$$\text{Valor atípico inferior} = Q_1 - 1.5 * \text{IQR}$$

Los resultados fueron comparados con la información conocida a fin de descartar estos valores atípicos.

Durante la campaña de barrenación no se consideró que algunos barrenos fueron realizados sobre una de las tepetateras de la mina, por lo cual se analizaron de manera visual los barrenos que realmente podrían intersectar al yacimiento, además fueron descartadas las muestras cuyos valores de óxido de hierro fueran cero y aquellos cuya litología no coincidiera con la de los óxidos.

Se evaluaron los datos estadísticos de los barrenos cuyas litologías y leyes indicaban presencia de hematita (y que no estuvieran ubicados en el área de tepetateras) y se compararon estos datos con los datos estadísticos de todos los barrenos.

### 5.1.2 CORRELACIÓN HEMATITA-SÍLICE

Finalmente se analizó la correlación entre hematita y sílice, a fin de corroborar que las leyes altas poseen bajo contenido de sílice, el cual está penalizado por los clientes. Se utilizaron solo las muestras cuyos datos estaban completos (solo 25 barrenos con 39 muestras). Para ello se llevó a cabo una regresión lineal mediante el uso de la hoja de cálculo Excel.

## 5.2 DIGITALIZACIÓN DE BARRENOS Y CURVAS DE NIVEL

Los archivos *Collar*, *Desviaciones*, *Litología* y *Muestras* fueron introducidos al software *Recmin*, dentro del módulo de edición de yacimientos *RMyac*, en la pestaña importar, subíndice importar datos de sondeos; fueron introducidos en formato de texto de valores separados por comas (.csv), para ello fue necesario generar el archivo de yacimiento “AR”, en donde se realizarían todas las operaciones futuras. Los 49 barrenos introducidos pueden visualizarse en el módulo de dibujo *RMdraw*, esta imagen puede apreciarse en la **Ilustración 1**.

Como parte del trabajo, y debido a la desactualización del mapa con el cual se realizó la campaña de exploración, se generó, con ayuda de un RPAS (sistema aéreo tripulado de forma remota, por sus siglas en inglés) comúnmente conocido como *Drone*, un nuevo mapa digital con el cual llevar a cabo el trabajo. Con la aportación y colaboración principal de la empresa *Dromine* se generó y digitalizo el mapa de curvas de nivel para la mina (**Ilustración 2**).

Se establecieron los límites de la zona a mapear mediante el uso de equipo GPS y se programó un área de vuelo utilizando la aplicación de uso libre *Pix4D*. El mapa de curvas de nivel fue entregado para su visualización y manipulación. Debido a las deficiencias graficas de *Recmin*, la calidad del mapa tuvo que reducirse a fin de facilitar el trabajo sin modificar las elevaciones, simplemente reduciendo el número de puntos que conforman a las polilíneas que lo constituyen.

El mapa fue digitalizado utilizando el módulo de yacimientos de *Recmin* con el nombre de *Superficie*, en formato *.su* y de esta forma pudo ser visualizado mediante el módulo de dibujo *RMdraw*, tal y como puede verse en la **Ilustración 3**.

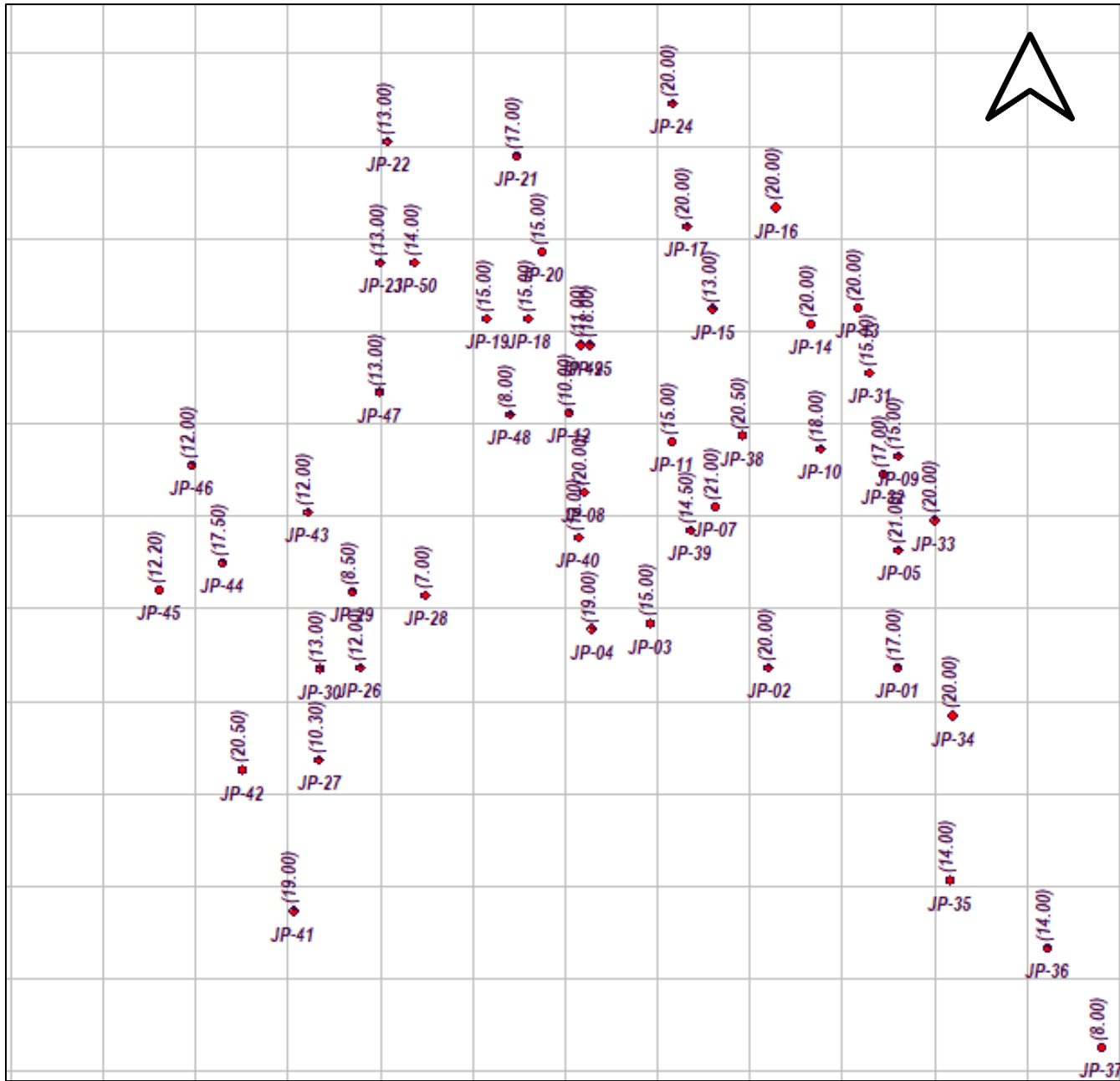
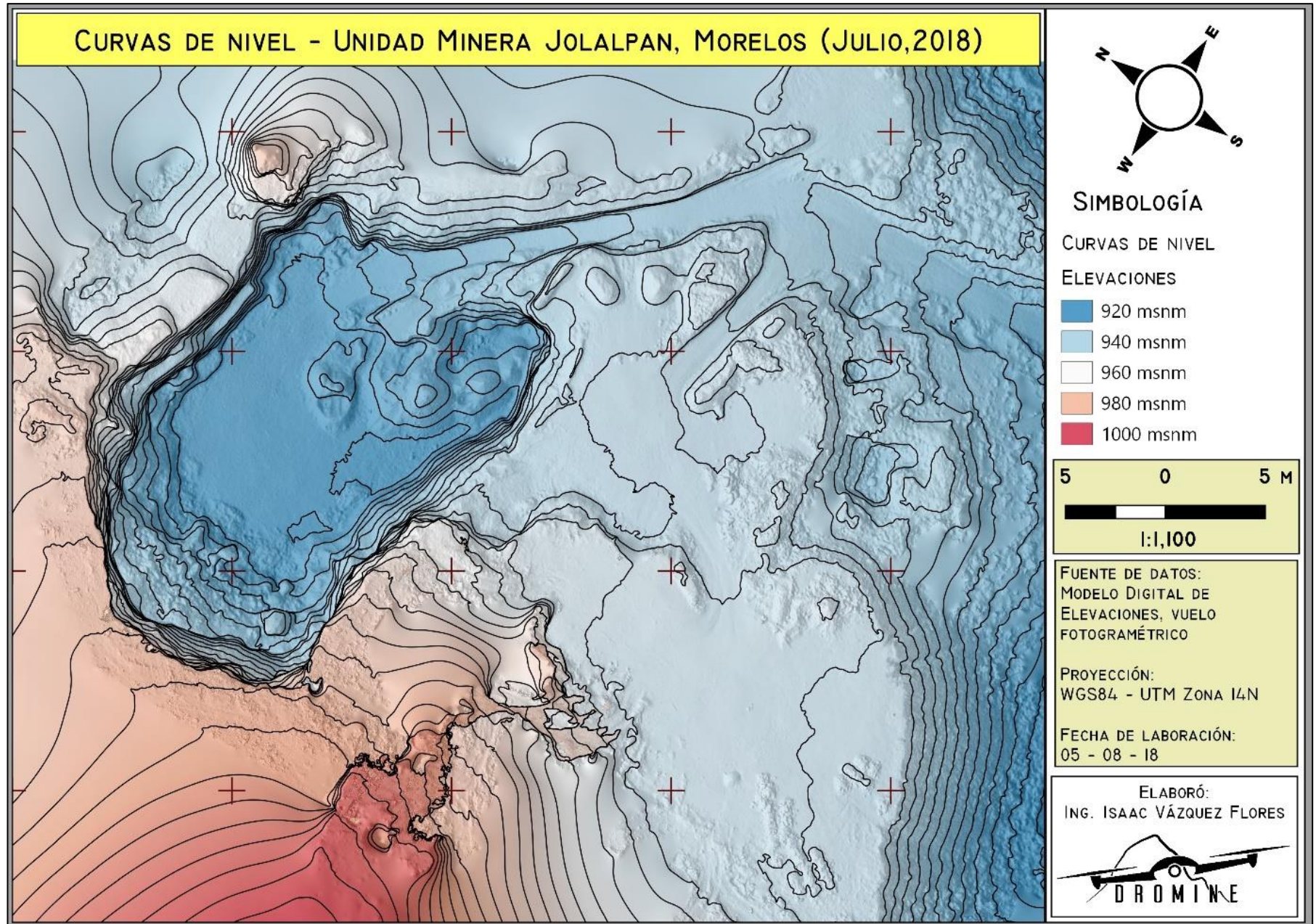
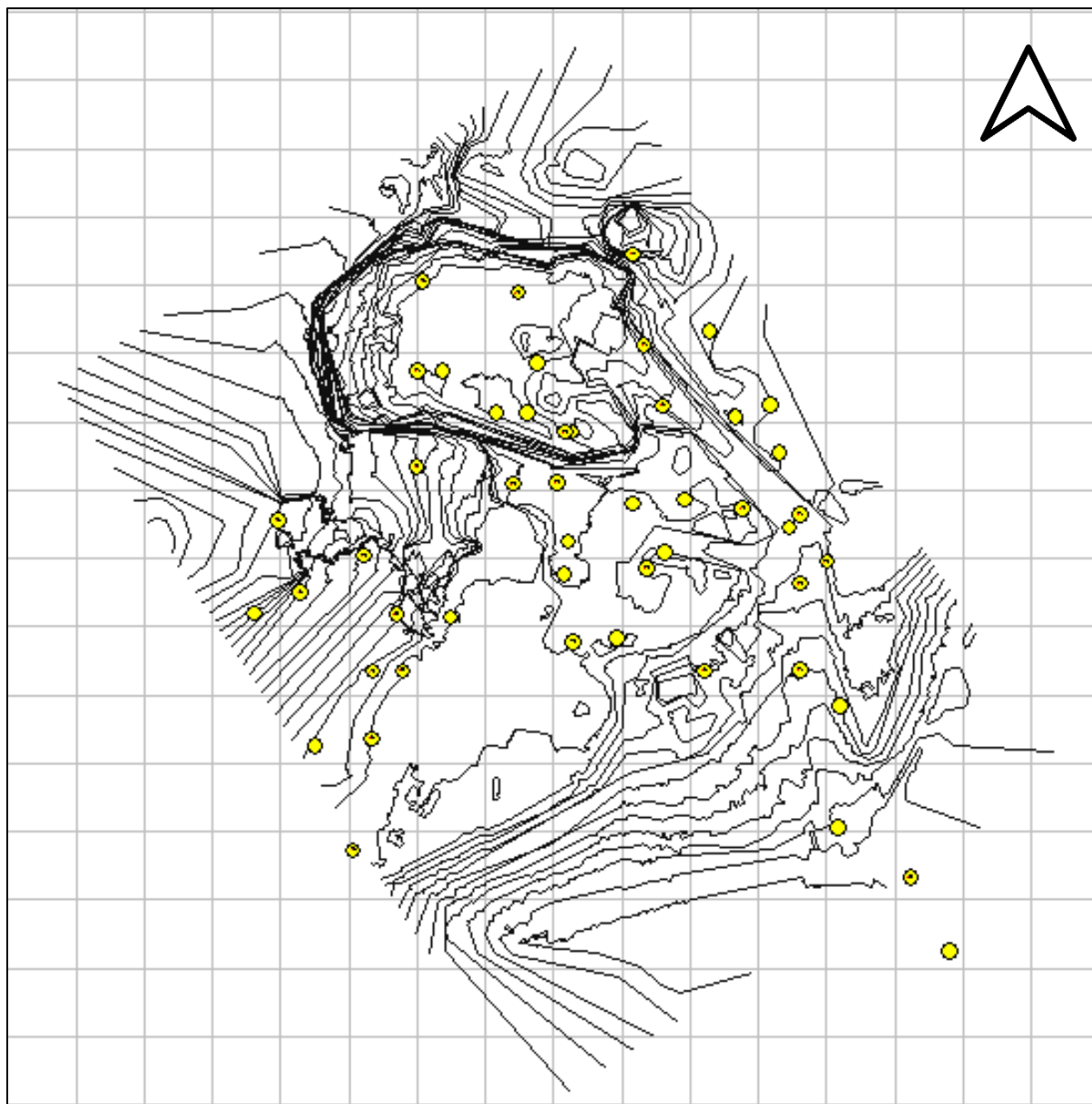


Ilustración 3: Vista de los barrenos digitalizados, a través de RMdraw





*Ilustración 4: Mapa de curvas de nivel proporcionado por la empresa Dromine.*



*Ilustración 5: Vista del mapa de curvas de nivel digitalizado, a través de RMdraw.*

### 5.3 GENERACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES E INTERPRETACIÓN DEL YACIMIENTO

Con la información litológica de los barrenos, considerados dentro de los estudios anteriores, se generaron 10 secciones transversales dentro del módulo de dibujo, ocho con direcciones E-W, una con dirección N-S y otra con dirección NE-SW, las cuales sirvieron como base para la interpretación y delimitación del yacimiento de hematita. Los barrenos 43 al 46 fueron descartados por considerarse muy alejados del sólido a generar; mientras que los barrenos 26 al 30, y el barreno 42, fueron descartados por encontrarse en la zona de tepetateras.

En estas secciones los barrenos fueron unidos mediante líneas para representar la forma del yacimiento en esa sección; en las **Ilustraciones 4 y 5** se muestra un ejemplo de dos secciones realizadas, la sección transversal ZE, Norte: 2,026,030, y la sección transversal ZE, Norte: 2,026,100. El resto de las secciones no fueron colocadas, por cuestiones de espacio, sin embargo, están disponibles si alguien así lo requiriera.

Con estas secciones se generaron las secciones sólidas del yacimiento mediante el uso de líneas auxiliares llamadas *RMLinks*, las cuales son detectadas por el software y sirven de enlace para las secciones transversales, uniéndolas mediante triangulaciones, conocidas como *T3*. El sólido generado recibió el nombre de *Oxido* y una vez finalizado se pudo proceder a la estimación de volumen de este. En las **Ilustraciones 6, 7 y 8** pueden verse la vista en planta (sección NE) del sólido junto a los barrenos que lo constituyen, la vista longitudinal (sección ZN) del sólido y una vista tridimensional del mismo, respectivamente.

Cabe aclarar que el sólido *Oxido* es una interpretación con base a la información litológica y mineralógica obtenida por los barrenos de exploración.



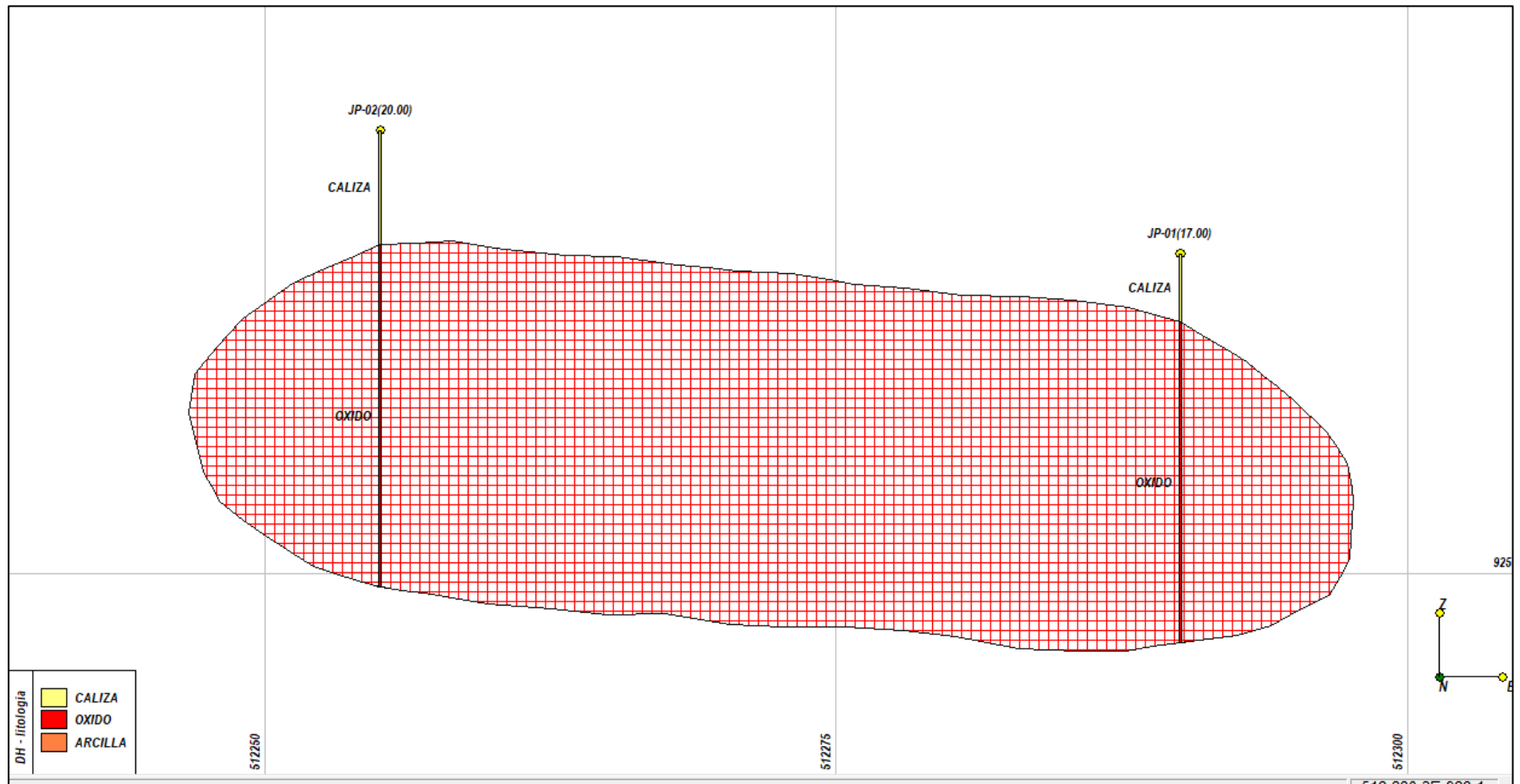


Ilustración 6: Sección transversal ZE, Norte: 2,026,030; a través de RMdraw.

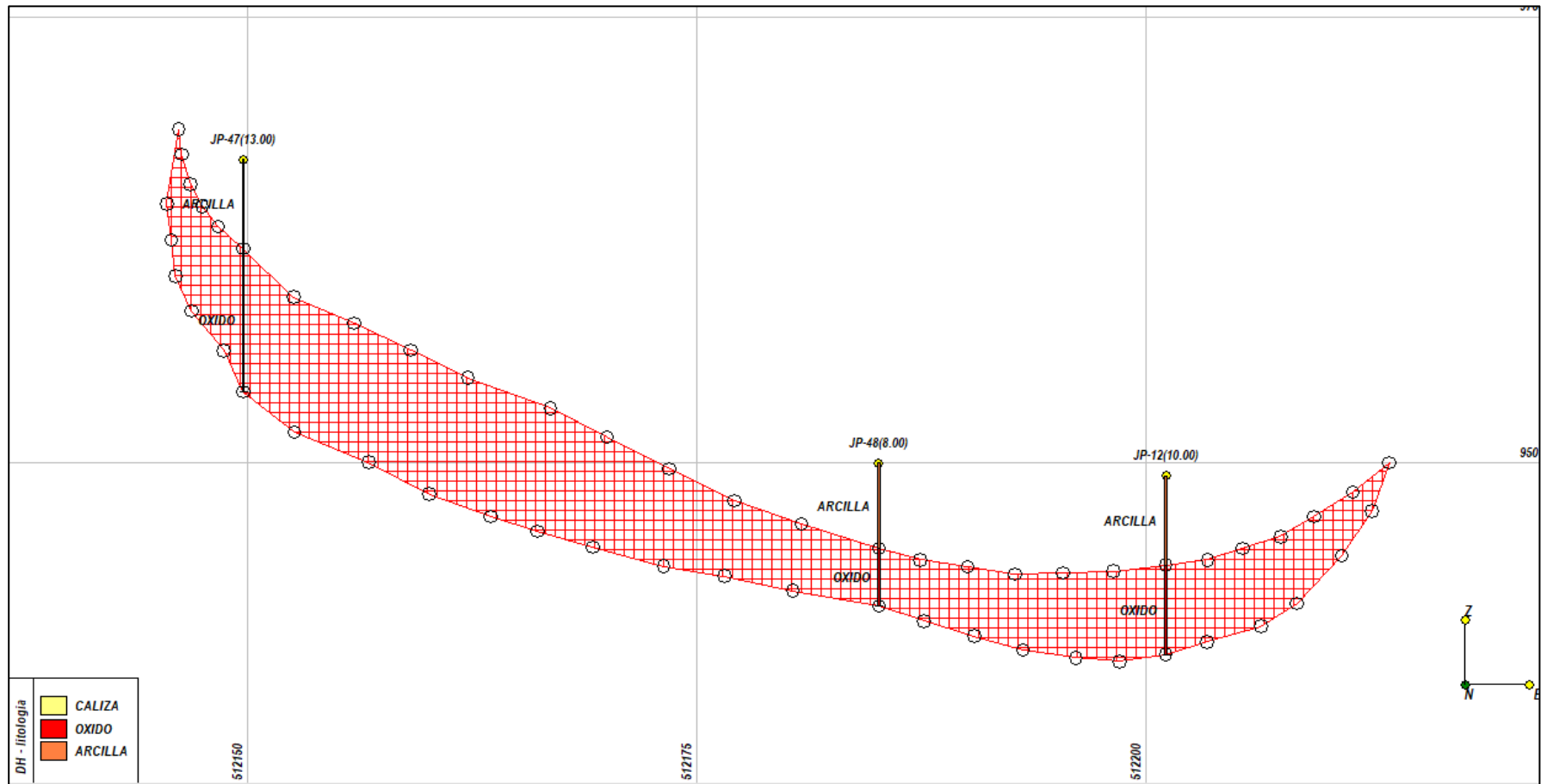
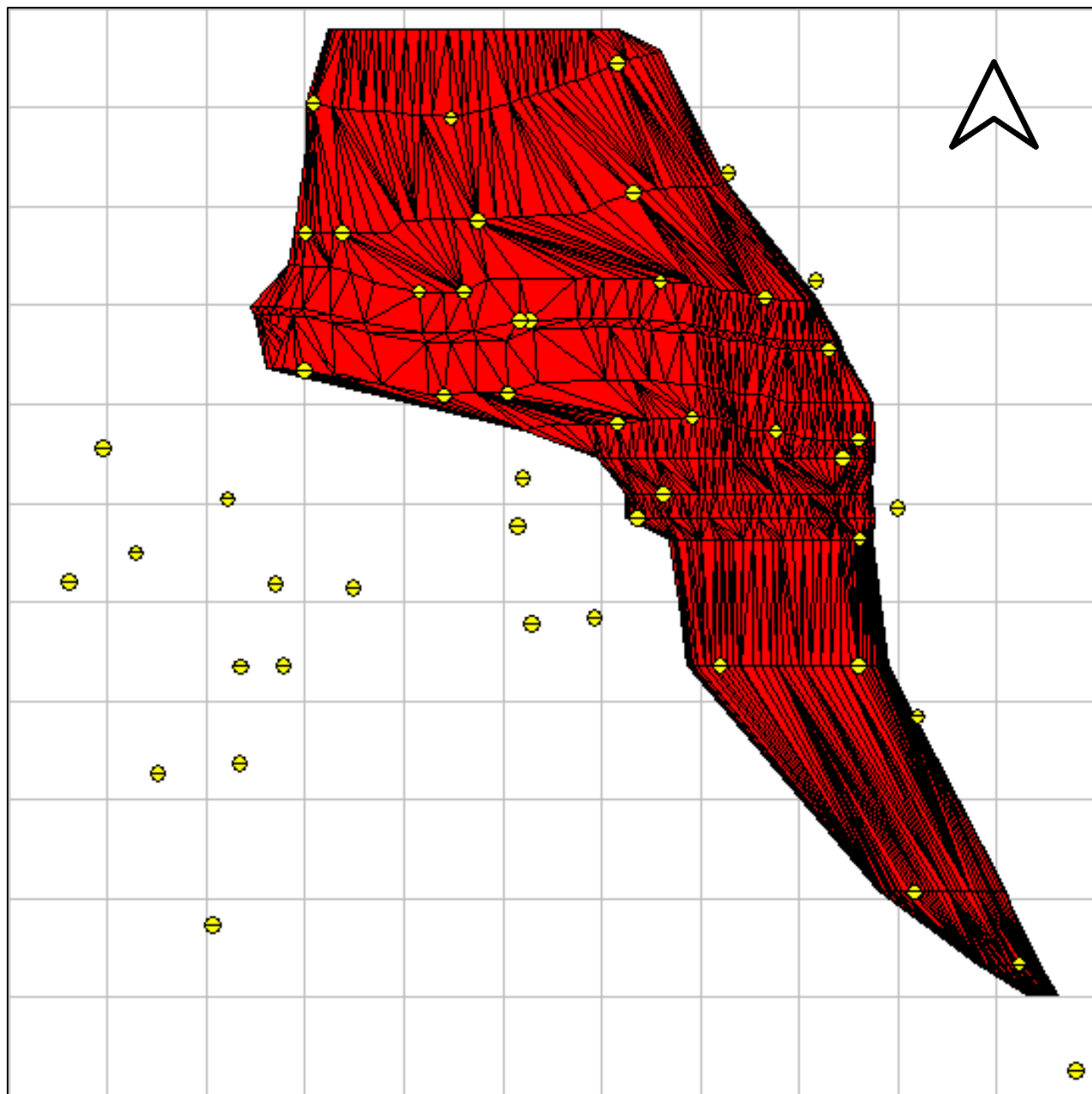
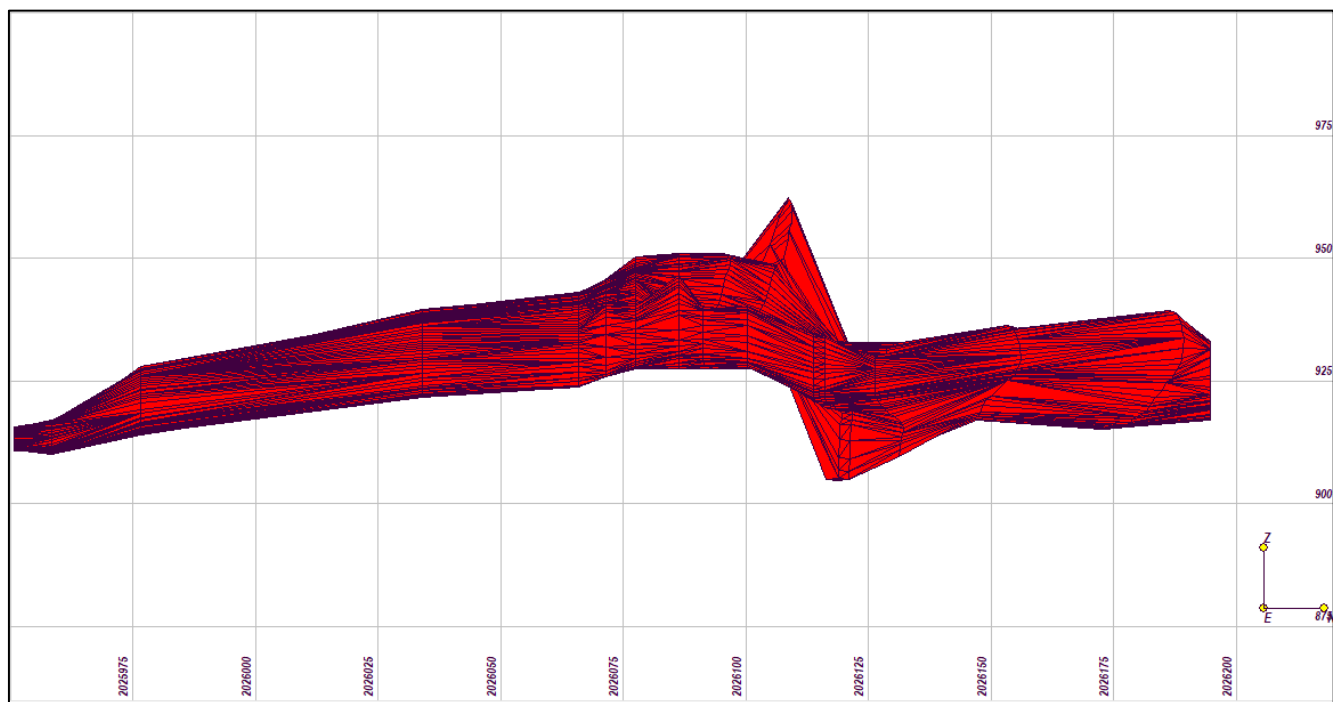


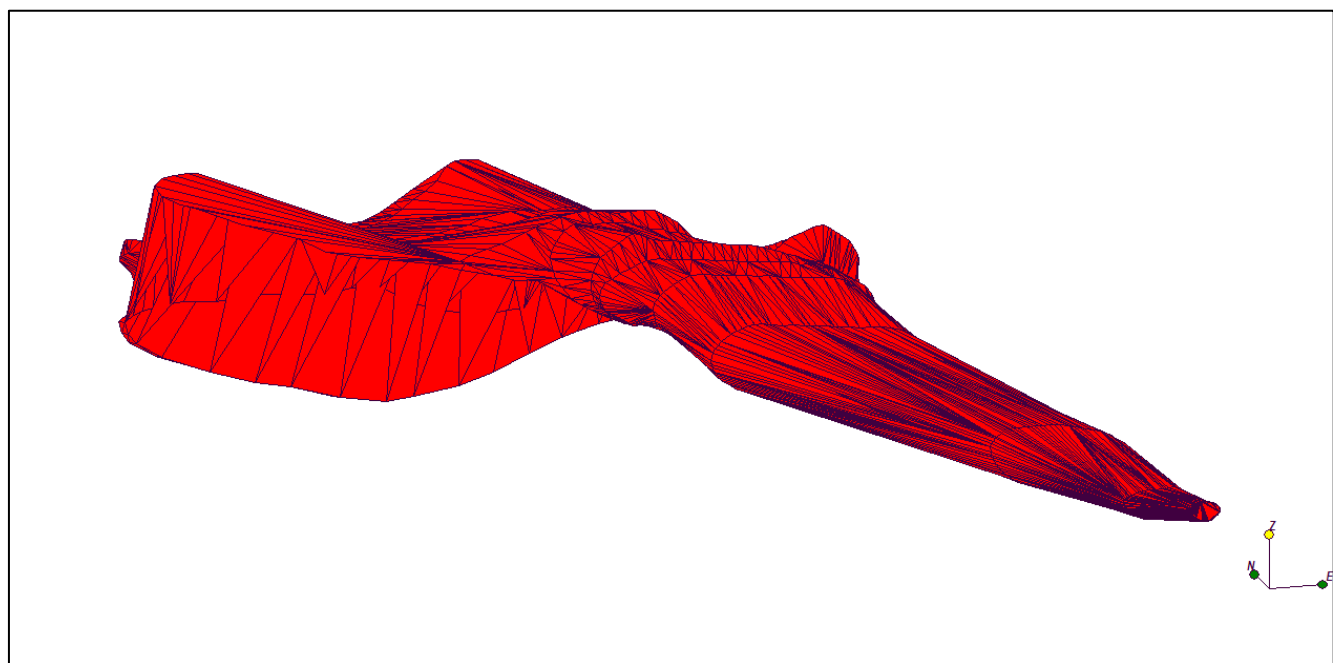
Ilustración 7: Sección transversal ZE, Norte: 2026100; a través de RMdraw.



*Ilustración 8: vista en planta (NE) del sólido y los barrenos (en amarillo) que lo conforman, a través de RMdraw.*



*Ilustración 9: vista longitudinal (ZN) del sólido, a través de RMdraw.*



*Ilustración 10: vista tridimensional del sólido, a través de RMdraw.*

## 5.4 ESTIMACIONES DE VOLUMEN

El volumen fue estimado mediante los dos métodos básicos ofrecidos por el software:

Mediante el uso de secciones: El software establece los límites del sólido y divide al sólido en secciones, pueden ser en cualquiera de los tres planos (ZE, ZN y NE), se calcula el área de las secciones mediante triangulación, estas áreas son multiplicadas por la mitad del paso entre secciones (distancia que separa a las secciones) para obtener un volumen, la sumatoria de todos los volúmenes corresponderá al volumen total del sólido.

Relleno con bloques: Se establecen los límites del sólido en las tres direcciones del sólido, se estipula un tamaño de bloque y se procede a discretizar el sólido en función del tamaño de bloque definido, a mayor número de bloques mayor es la aproximación al volumen del sólido, el volumen del sólido corresponde al volumen del bloque por el número total de bloques. Para la realización del cálculo el Recmin ofrece una hoja de cálculo auxiliar llamada *Calculo Volumen T3 Cerrado RecMin.xlsm*, que es alimentada con la información generada por los bloques y facilita el cálculo de volúmenes, otorgando también el volumen acumulado cota por cota.

## 5.5 GENERACIÓN DE BLOQUES Y ASIGNACIÓN DE VARIABLES

A pesar de haberse generado una serie de bloques con anterioridad, no es posible asignar valores e información a los bloques empleados para el cálculo de volumen. Por lo cual es necesario crear una nueva red que envuelva a la zona de estudio y definir los límites de ésta.

Las coordenadas de los límites se establecieron a fin de abarcar el área explorada de norte a sur, de este a oeste y en de la cota más alta a la más baja; se definieron, con ayuda del módulo de dibujo, los siguientes:

- Límites mínimos: 512,130 (X), 2,025,945 (Y) y 900 (Z).
- Límites máximos: 512,345 (X), 2,026,200 (Y) y 965 (Z).

Todas las operaciones fueron llevadas a cabo en el módulo de yacimientos, en la sección de *Bloques*, fue necesario crear una base de datos de bloques en formato *.mdb* con el nombre de *BLKAR5x5x5*, en donde serían almacenadas las variables asignadas a los bloques, permitiendo así realizar operaciones posteriores con ellas.

El software permite asignar variables a cada bloque en particular, ya sea por asignación directa o por medio de cálculos en función de otras variables. Se asignaron las siguientes variables:

- IDX: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje X respecto al total de bloques.
- IDY: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje Y respecto al total de bloques.
- IDZ: Entero corto. Posición que ocupa el bloque en el eje Z respecto al total de bloques.
- TOPO: Entero corto. Valor que ocupa el bloque con respecto a la topografía de la zona: 1 para bloques debajo de topografía; 0 para bloques en el aire (encima de la topografía).
- DENSIDAD: Variable numérica. Densidad del bloque, establecida como 3.9 ton/m<sup>3</sup> para Óxidos, y 2.5 Ton/m<sup>3</sup> para el resto de los materiales.
- PESO: Variable numérica. Peso del bloque obtenido mediante la multiplicación del volumen por la densidad del bloque.
- LITOLOGÍA: Texto. Descripción textual de la litología.
- LITO\_CODE: Variable numérica. Código numérico para la litología.
- NIVEL: Entero corto. Nivel (cota) en la cual se encuentra el bloque, asignado por la ecuación:  $\text{Nivel} = Z_{\text{min}} - \text{Altura Bloque} + \text{IDZ} * \text{Altura Bloque}$ .
- FEOIDW: Variable numérica. Ley de hematita calculada por el método del inverso a la distancia.
- CONF\_RECUR: Entero corto. Asignación numérica a la clasificación de recursos: Medidos, Indicados e Inferidos
- FEOPLY: Variable numérica. Ley de hematita por el método poligonal.

Una vez más el tamaño de bloque fue de 5 m<sup>3</sup>, se generaron 43 bloques en el eje X, 51 bloques en el eje Y, y 13 bloques en el eje Z, para un total de 28,509 bloques.

Todas las variables fueron generadas en una base de datos, el software Recmin permite su posterior modificación, por lo cual no es necesario ingresar los valores de todas, simplemente se declaran las variables para ser trabajadas. No es necesario declarar una variable para el volumen, ya que el software asigna dicha variable por defecto y su valor depende de las dimensiones del bloque.

## 5.6 ASIGNACIÓN DE VALORES

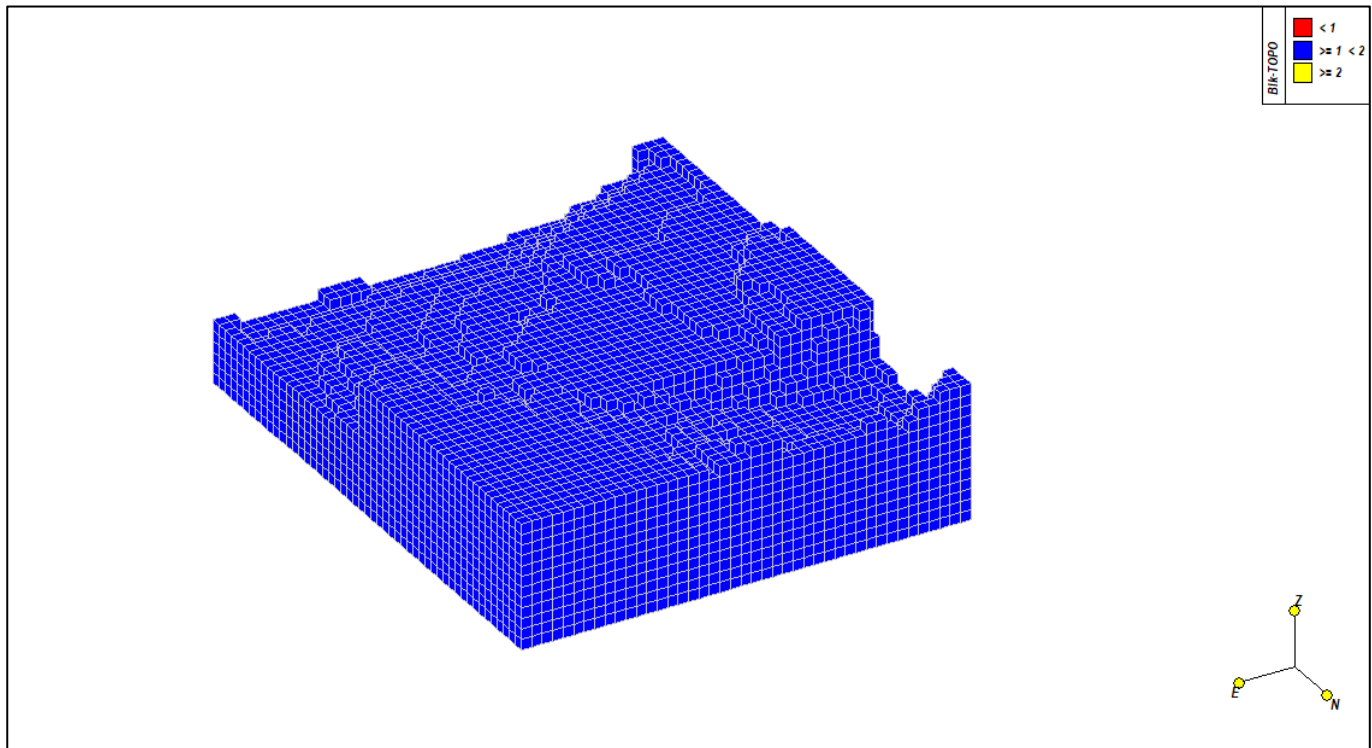
Los valores numéricos y textuales fueron asignados en orden progresivo, tal y como se describen a continuación, todos recibieron tratamiento particular, la variable de NIVEL fue asignada desde el comienzo con la ecuación descrita anteriormente. Las variables relacionadas con el inverso a la distancia y el método poligonal son descritas con detalle en el siguiente capítulo.

Variables de identidad de bloque (IDX, IDY, IDZ). Son asignadas por el software, en función de las coordenadas de cada bloque con respecto al origen asignado, es decir, con respecto a los límites mínimos de la red de bloques.

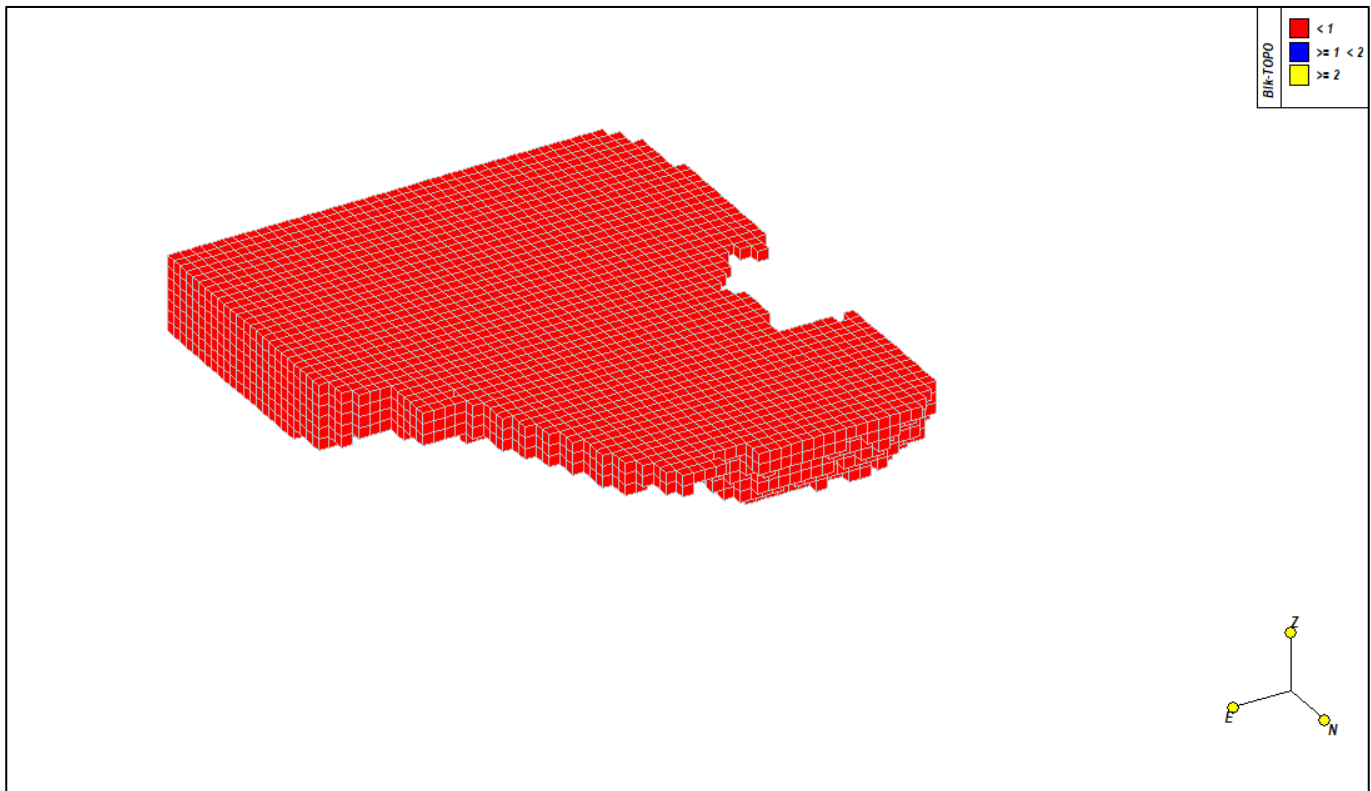
*Topografía (TOPO).* Es necesario triangular el mapa de curvas de nivel para crear el T3 (nombre que el software le da a los sólidos creados por triangulación) de las curvas de nivel. Recmin puede identificar la intersección del T3 con la red de bloques y en función de ello asignar un valor numérico a los bloques que se encuentren arriba o debajo del T3 de topografía.

La asignación del valor numérico depende del operario del software, en este caso se asignó el valor de “0” para los bloques que se encontraban sobre el T3, y “1” para los que se encontraban debajo.

Se obtuvieron un total de 20,527 bloques (**Ilustración 9**) cuyo valor topográfico es igual a 1. El resto, 7,982 bloques (**Ilustración 10**), lo constituyen bloques de “aire”.



*Ilustración 11: vista 3D de los bloques de valor topográfico 1, a través de RMdraw.*



*Ilustración 12: vista 3D de los bloques de valor topográfico 0, a través de RMdraw.*

*Litología (variables LITOLOGIA y LITO\_CODE).* Usando comandos similares a los empleados en la topografía, se asignó el valor de “1” a los bloques que se encontraban dentro del sólido *Oxido*, este valor fue asignado en la variable LITO\_CODE, finalmente se asignó también el nombre de “Oxido” a estos bloques dentro de la variable LITOLOGIA.

Fueron obtenidos 1,787 bloques con valor litológico de 1 (**Ilustración 11**), el resto se encuentra repartido entre las litologías de caliza y “arcilla”.

*Densidad (DENSIDAD).* Aquellos bloques cuya litología corresponde a la de los óxidos les fue introducido el valor de “3.9”, según un informe recibido del laboratorio, a los bloques de “aire” se les dio el valor de “0”, los bloques que rodean al sólido recibieron unánimemente el valor de “2.5”, aunque su densidad, según se informó, fue calculada como un todo, sin embargo, no se recibió algún documento que la avale. Se obtuvieron 1,787 bloques con densidad de 3.9 y 18,740 con densidad de 2.5.

*Peso (PESO).* El peso fue asignado mediante una ecuación:  $5 \times 5 \times 5 \times \text{DENSIDAD}$ . Pues, aunque la variable volumen existe, no es posible llamarla como variable en una ecuación.

El peso calculado es de 871,162.5 toneladas para el yacimiento en su litología de óxidos.



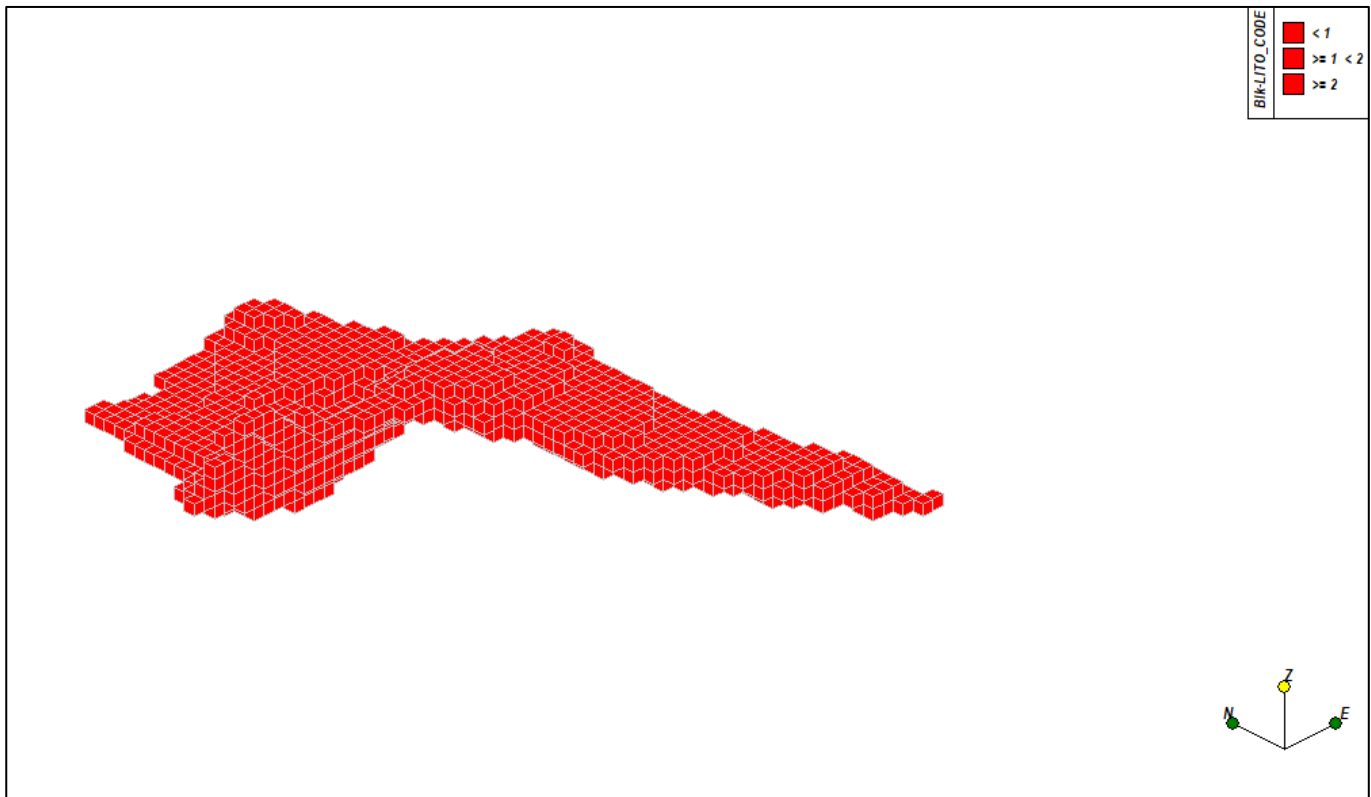


Ilustración 13: vista 3D de los bloques de valor litológico 1, a través de RMdraw.

## 5.7 ASIGNACIÓN DE LEYES MEDIANTE EL CALCULO DEL INVERSO A LA DISTANCIA

Para la asignación de leyes por el método del inverso a la distancia es necesario definir los rangos de influencia que tendrán los valores calculados, los rangos de influencia son representados por los círculos o elipses (según sea isotrópico o anisotrópico) inscritos en los planos XY, ZX y ZY.

Para ello se utilizaron dos herramientas: el software *gnuplot*, el cual nos genera un mapa de isolíneas que nos ayudan a visualizar el rango de influencia de una muestra en el espacio y definir si posee una relación anisotrópica o isotrópica; y la hoja de cálculo *Geo\_Utils Recmin*, proporcionada por *Recmin*, con la que pueden iterarse los valores del rango de influencia para cada muestra y, a base de prueba y error, seleccionar los valores adecuados para definir el rango de influencia.

### 5.7.1 RANGO DE INFLUENCIA CON GNUPLOT

Se alimenta la información de los barrenos contenidos en el sólido *Oxido* y se definen, *gnuplot* crea una cuadrícula cuyas dimensiones dependen de los datos dispersos, la cuadrícula esta espaciada en filas (X) y columnas (Y), los valores Z se calculan como promedios ponderados de las muestras en función de su posición Z en el espacio.

El software asigna la ponderación a cada punto de los datos en función del inverso de su distancia. Cuanto más cerca este un conjunto de datos de la cuadrícula mayor efecto tendrá ese conjunto en la misma cuadrícula

Para este caso se realizaron dos pruebas con *gnuplot*, la primera se realizó utilizando como rangos en Z al origen y final de los bloques dentro del sólido *Oxido* y una segunda prueba se realizó utilizando como rangos a las cotas mínima y máxima en las cuales se aprecian barrenos los barrenos con valores de hematita.

Se emplearon los siguientes rangos: 938 a 988 para la primera prueba, y 910 a 960 para la segunda. Los mapas de isolíneas fueron creados a cada 5 metros, para corresponder con el tamaño de bloque propuesto.

### 5.7.2 RANGO DE INFLUENCIA CON GEO\_UTILS RECMIN

Esta hoja de cálculo, en su apartado *Punto de validación*, nos permite iterar los valores del inverso a la distancia de nuestras muestras, variando los parámetros que influyen en la ecuación y calculando la estadística descriptiva de los mismos. Una vez alimentados los valores se procede a variar los parámetros, generalmente se conoce uno o más valores de inicio (los rangos de influencia), específicamente 6: eje principal, secundario y terciario de las distancias de interpolación (rango de influencia) y los ángulos de buzamiento, cabeceo (pitch) y el ángulo entre la dirección de buzamiento y el norte. La hoja de cálculo lleva a cabo las múltiples iteraciones para los datos suministrados.

Se realizaron múltiples iteraciones para encontrar los parámetros adecuados, decidiendo que serían aquellos que generaran un menor error. Se basó en los datos obtenidos con *gnuplot* sin embargo, los resultados obtenidos fueron diferentes.

### 5.7.3 ASIGNACIÓN DE VALORES DE INVERSO A LA DISTANCIA

Una vez calculados los rangos de influencia se procede a calcular la ley de cada bloque mediante el método del inverso a la distancia. El programa itera los valores de inverso a la distancia empleando la siguiente formula:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^n}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^n}}$$

Ecuación 1. Ecuación del inverso a la distancia. En donde:

- $Z_j$  es un valor desconocido.
- $Z_i$  corresponde al valor de un punto conocido.
- $d_i$  es la distancia a un punto conocido.
- $n$  es el valor exponencial propuesto.

En la pestaña de *cálculo con bloques*, en el módulo de yacimientos, *Recmin* permite llevar a cabo los cálculos, la pestaña cálculo con bloques nos permite acceder a el módulo del mismo nombre, el cual se encuentra dividido a su vez en más pestañas.

*Inicio*. Permite generar una nueva base de datos de muestras o acceder a una base de datos existente. Los parámetros solicitados para crear una nueva base de datos son la distancia máxima de influencia (previamente calculada) y el valor al cual se elevará el inverso a la distancia.

*Sondeos*. Permite introducir los barrenos que interactuaran en los cálculos, así como agruparlos por compositos e imponer restricciones según la ley de las muestras. se definieron compositos de 5 m, debido al tamaño de bloque asignado.

*Muestras*. Genera una tabla con todas las muestras contenidas en barrenos anteriores, se pueden filtrar los datos en función de su litología o zona. En este caso se descartaron los valores cuya litología no era la de óxidos.

*Bloques*. Se selecciona la tabla de bloques con la cual se va a trabajar. También permite definir el grupo de bloques con el que se va a trabajar, en este caso se escogieron los bloques con LITO\_CODE igual a "1" y la base de datos de bloques fue *BLKAR5x5x5*.

*Datos*. Permite alimentar los valores de los factores para los radios de influencia (factor con el eje primario, secundario y terciario) y los ángulos de buzamiento, cabeceo y el ángulo entre la dirección de buzamiento y el norte. Los factores se introducen dividiendo los valores de los ejes entre el eje primario, es decir que el

primer valor siempre será 1, ya que corresponde al valor del eje primario entre sí mismo.

En este apartado también se define el elemento con el cual se realizarán los cálculos y la variable en la cual se destinarán los resultados obtenidos. El elemento seleccionado es FeO (%) y la variable es FEOIDW.

*Método.* Permite seleccionar entre los métodos disponibles: inverso a la distancia ( $1/(\text{distancia})^{\text{potencia}}$ ) y KRIGING ordinario. En el método de inverso a la distancia el software emplea la ecuación número 1.

*Categoría.* Permite categorizar las muestras en función de su distancia y número de muestras. Para este caso no fue necesario utilizar esta función.

*Cálculos.* Se inicia el cálculo y se define el fichero en el cual se guardarán los resultados.

#### 5.7.4 REAJUSTE DE RESULTADOS

Dado que es posible que, al realizar los cálculos de inverso a la distancia, las leyes de los bloques cercanos a los barrenos realizados difieran unas de otras, es necesario realizar un reajuste de estos valores. Para ello se emplea el método de los polígonos.

El método de los polígonos empleado por *Recmin* es el patentado por el Dr. Cesar Castañón Fernández, conocido como “Método Pentaédrico”. Los resultados de las leyes mediante inverso a la distancia son ponderados de acuerdo a su peso y son sumados al valor ponderado del método de los polígonos, para así obtener una ley ajustada o ponderada.

#### 5.8 CLASIFICACIÓN DE RESERVAS

Con los datos obtenidos del inverso a la distancia, las distancias mínimas de interpolación fueron graficadas en un histograma para obtener sus percentiles; ya que el valor de la distancia mínima de interpolación para el percentil 50, 90 y aquellas distancias a partir del percentil noventa, fueron definidas como reservas *medidas, indicadas e inferidas*.

Para estos cálculos se emplea una vez más la hoja de cálculo *GEO\_UTILS RECMIN*, en su apartado *Univar\_Estad calcbk*, donde permite alimentar los valores de las distancias mínimas de interpolación, que son obtenidas después de que *Recmin* realiza el cálculo del inverso a la distancia en su modulo *cálculo con bloques*.

Una vez calculados los percentiles, los valores de *Bloque ID* (número de identificación que el programa asigna a cada bloque), *Distancia Mín* (distancia de interpolación mínima) y *Nro. compuestos* (numero de muestras que se utilizaron para calcular el valor de ese bloque en particular), son alimentados en la pestaña *Clasif RecursosxDist*, de la hoja de cálculo *GEO\_UTILS RECMIN*, en donde se encuentran las distancias en función de los percentiles y se asignara un valor numérico a cada bloque según la distancia mínima de interpolación que posea. Los valores asignados son: 1, para reservas medidas; 2 para reservas indicadas y 3, para reservas inferidas.

## 6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Para la exclusión de datos fuera de rango se calcularon el primer y tercer cuartil del total de las muestras, a fin de calcular el rango intercuartil correspondiente y, mediante las funciones de valores atípicos, descartar valores anormales. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cuartil 1 (Q1) = 11.4
- Cuartil 3 (Q3) = 55.4
- Rango intercuartil (IQR) = 44
- Valor atípico superior = 121.4
- Valor atípico inferior = -54.6

Los valores máximos y mínimos en las leyes de hematita (85.3% y 0%) se encuentran demasiado alejados de los valores atípicos superiores e inferiores, por lo cual no fue necesario descartar algún valor en este análisis. Sin embargo, como se mencionó en el capítulo anterior, fue necesario excluir aquellos barrenos que no pudieran estar contenidos dentro del yacimiento, y de la litología de los óxidos.

No se encontraron datos fuera de rango, y aquellos barrenos cuya ubicación no pudiera coincidir con la del yacimiento fueron retirados, restaron sólo las muestras presentadas en la siguiente **Tabla 1**.

| Barreno | Ley (%) | Barreno | Ley (%) | Barreno | Ley (%) |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| JP-01   | 38      | JP-17   | 54      | JP-38   | 60.5    |
| JP-01   | 63      | JP-17   | 42      | JP-38   | 44.4    |
| JP-01   | 43      | JP-18   | 55      | JP-38   | 65      |
| JP-01   | 74      | JP-18   | 70      | JP-39   | 58.9    |
| JP-02   | 53      | JP-19   | 34      | JP-39   | 67.2    |
| JP-02   | 45      | JP-20   | 52      | JP-47   | 55.7    |
| JP-02   | 38      | JP-20   | 70      | JP-47   | 63.5    |
| JP-02   | 57      | JP-21   | 74      | JP-48   | 55.1    |
| JP-05   | 56      | JP-22   | 53      | JP-49   | 58.4    |
| JP-07   | 58      | JP-23   | 54      | JP-50   | 49      |
| JP-09   | 54      | JP-24   | 58      | JP-50   | 68      |
| JP-10   | 81      | JP-25   | 51      | JP-35   | 85.3    |
| JP-11   | 57      | JP-25   | 48      | JP-35   | 59.8    |
| JP-12   | 57      | JP-32   | 70.8    | JP-35   | 78.9    |
| JP-15   | 55      | JP-35   | 57.6    | JP-36   | 45.8    |

*Tabla 1: Resultados de la exclusión de datos fuera de rango.*

Un total de 45 muestras, con las que se realizó el análisis estadístico, obteniendo los siguientes plasmados en la **Tabla 2**.

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| <b>Media</b>                    | 57.51  |
| <b>Error típico</b>             | 1.70   |
| <b>Mediana</b>                  | 57     |
| <b>Moda</b>                     | 57     |
| <b>Desviación estándar</b>      | 11.41  |
| <b>Varianza de la muestra</b>   | 130.14 |
| <b>Curtosis</b>                 | 0.09   |
| <b>Coeficiente de asimetría</b> | 0.31   |
| <b>Rango</b>                    | 51.3   |
| <b>Mínimo</b>                   | 34     |
| <b>Máximo</b>                   | 85.3   |
| <b>Cuenta</b>                   | 45     |

*Tabla 2: Resultados del análisis estadístico.*

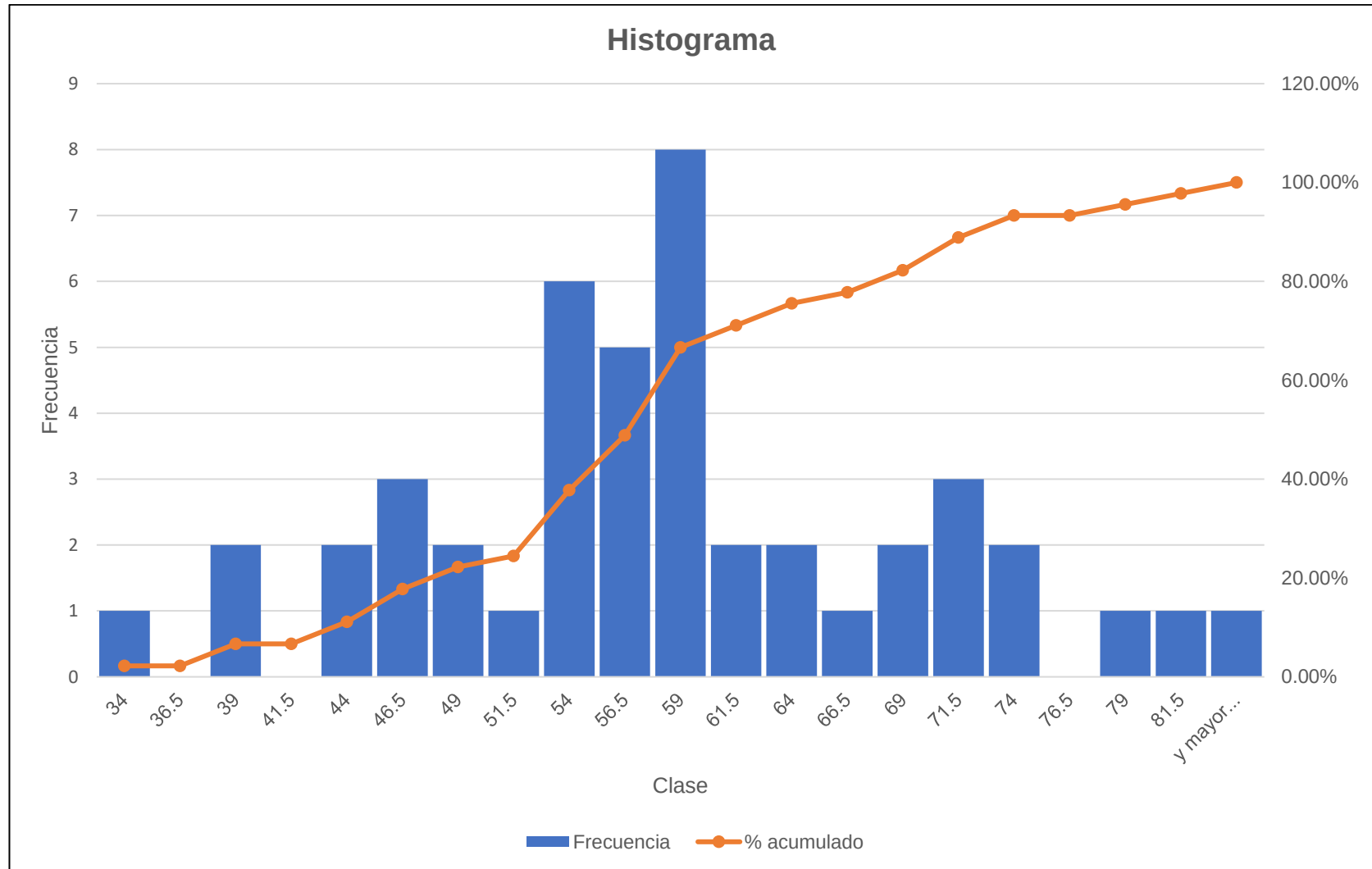
Se puede apreciar en la **Tabla 2** que la media, mediana y moda presentan valores similares, lo cual indica una tendencia normal, la curtosis es positiva, aunque pequeña, indicando que los datos están muy concentrados en la media

El coeficiente de asimetría es positivo, indicando asimetría positiva (hacia la derecha), sin embargo, la asimetría no es tan alejada de cero, por lo cual se puede considerar que presentan una forma normal.

Para la construcción del histograma se propusieron 20 clases, el intervalo de clase calculado fue de 2.565, redondeado a 2.5, las clases y frecuencias obtenidas se observan en la **Tabla 3**, y en la **Ilustración 12**.

| <b>Clase</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>% acumulado</b> | <b>Clase</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>% acumulado</b> |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| 34           | 1                 | 2.22%              | 61.5         | 2                 | 71.11%             |
| 36.5         | 0                 | 2.22%              | 64           | 2                 | 75.56%             |
| 39           | 2                 | 6.67%              | 66.5         | 1                 | 77.78%             |
| 41.5         | 0                 | 6.67%              | 69           | 2                 | 82.22%             |
| 44           | 2                 | 11.11%             | 71.5         | 3                 | 88.89%             |
| 46.5         | 3                 | 17.78%             | 74           | 2                 | 93.33%             |
| 49           | 2                 | 22.22%             | 76.5         | 0                 | 93.33%             |
| 51.5         | 1                 | 24.44%             | 79           | 1                 | 95.56%             |
| 54           | 6                 | 37.78%             | 81.5         | 1                 | 97.78%             |
| 56.5         | 5                 | 48.89%             | y mayor...   | 1                 | 100.00%            |
| 59           | 8                 | 66.67%             |              |                   |                    |

*Tabla 3: Clases, frecuencias y porcentaje acumulado.*



*Ilustración 14: Histograma.*



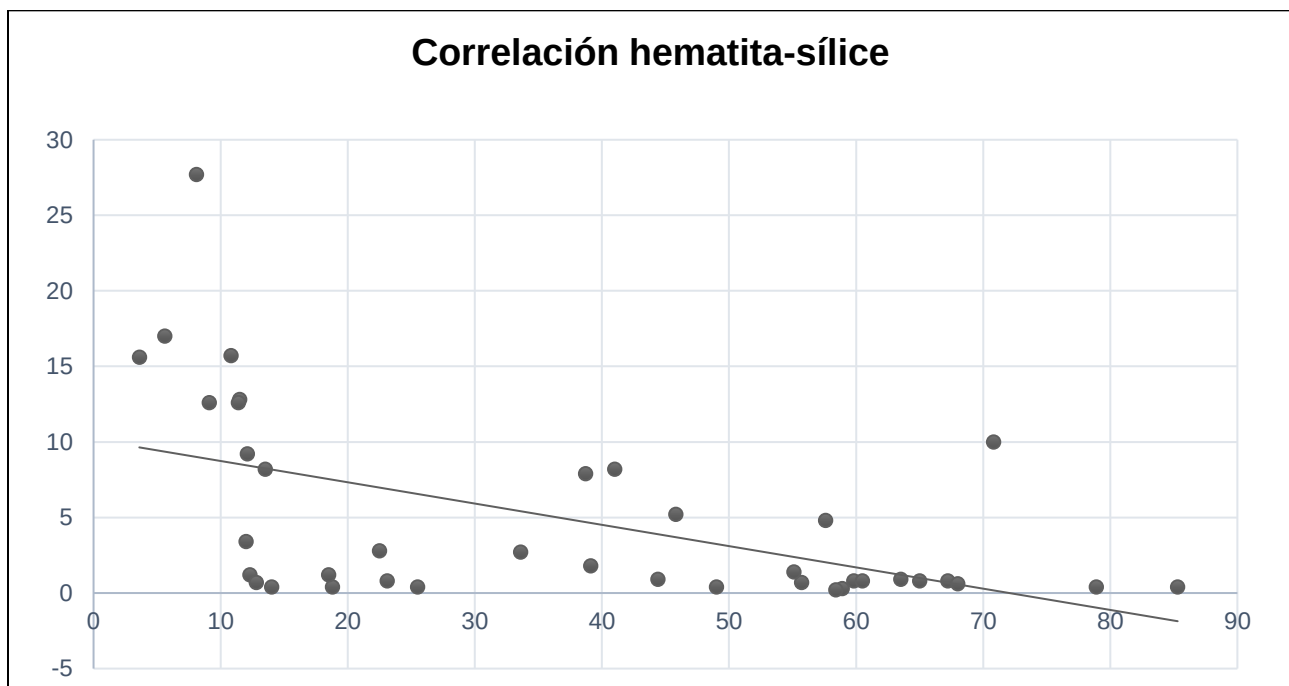
Donde también podemos apreciar que los datos tienden a la distribución normal, por lo cual no es necesario aplicarles transformación alguna.

Para el cálculo de la correlación hematita-sílice se obtuvo una correlación de 0.2875, lo cual indica que, de existir una vinculación entre estos minerales, esta es muy baja. Sin embargo, esta baja correlación pudiera deberse a la baja cantidad de datos de sílice.

La pendiente calculada fue de -0.1408, es decir que la correlación es negativa. Intuyéndose que, a medida que la ley de óxido incrementa, la ley de sílice baja, aunque al no tener una alta correlación esta aseveración no es del todo cierta. Sin embargo, los resultados con el cliente pudieran confirmar esa teoría, al no tener problemas con sílice en leyes altas de hematita, por el contrario, las leyes bajas han activado la alerta de presencia de sílice. A continuación, se muestran los resultados obtenidos (**Ilustración 13**).

Ecuación de la recta y coeficiente de correlación:

- $y = -0.1408x + 10.146$ .
- $R^2 = 0.2875$ .



*Ilustración 15: Correlación hematita-sílice. El eje X corresponde a los valores de hematita, el eje Y a los de sílice.*

## 6.2 ESTIMACIONES DE VOLUMEN

### 6.2.1 CÁLCULO DE VOLUMEN CON SECCIONES

Una ventaja ofrecida por el módulo de dibujo es la capacidad de calcular los límites del sólido al ejecutarse el cálculo de volumen mediante el uso de secciones, aunque el programa suele reducir el valor de las coordenadas cuando estas son mayores al orden de los miles, como se aprecia en el nombre de cada sección, sin embargo, los valores de las áreas permanecen iguales, así como las ubicaciones reales de las secciones. Estos límites fueron el punto de partida para la generación de secciones en los tres planos (ZE, ZN y NE).

- Límites mínimos: 512,130 (X), 2,025,945 (Y) y 900 (Z).
- Límites máximos: 512,345 (X), 2,026,200 (Y) y 965 (Z).

*Secciones en el plano ZE:* se generaron un total de 50 secciones, con un paso de 5 metros entre sección y sección estimando un volumen de **220,734.08 m<sup>3</sup>**. La **Tabla 4** contiene una lista con las áreas calculadas y el volumen acumulado de las mismas al ser multiplicadas por el paso correspondiente (espacio intersecciones), las **Ilustraciones 14, 15 y 16** muestran representaciones gráficas de las secciones calculadas, la primera contiene una vista de las secciones ZE en tres dimensiones, la segunda muestra a las mismas secciones vistas desde el plano NE, y la última contiene un ejemplo de las secciones creadas, la sección 6090.64.

Las secciones con áreas negativas representan a aquellas secciones que *Recmin*, por algún motivo, no pudo cerrar, lo cual ocasiona errores en la estimación del volumen total del sólido.

| Sección  | Área     | Paso | Volumen parcial | Volumen acumulado |
|----------|----------|------|-----------------|-------------------|
| 5,950.64 | -99.00   | 5.00 |                 |                   |
| 5,955.64 | 57.14    | 5.00 | -104.65         | -104.65           |
| 5,960.64 | 104.38   | 5.00 | 403.80          | 299.15            |
| 5,965.64 | 159.10   | 5.00 | 658.70          | 957.85            |
| 5,970.64 | 235.86   | 5.00 | 987.40          | 1,945.25          |
| 5,975.64 | 333.99   | 5.00 | 1,424.63        | 3,369.88          |
| 5,980.64 | 371.63   | 5.00 | 1,764.05        | 5,133.93          |
| 5,985.64 | 392.48   | 5.00 | 1,910.28        | 7,044.20          |
| 5,990.64 | 415.70   | 5.00 | 2,020.45        | 9,064.65          |
| 5,995.64 | 440.64   | 5.00 | 2,140.85        | 11,205.50         |
| 6,000.64 | 467.81   | 5.00 | 2,271.13        | 13,476.63         |
| 6,005.64 | 497.08   | 5.00 | 2,412.23        | 15,888.85         |
| 6,010.64 | 528.31   | 5.00 | 2,563.48        | 18,452.33         |
| 6,015.64 | 561.55   | 5.00 | 2,724.65        | 21,176.98         |
| 6,020.64 | 597.09   | 5.00 | 2,896.60        | 24,073.58         |
| 6,025.64 | 634.63   | 5.00 | 3,079.30        | 27,152.88         |
| 6,030.64 | 674.40   | 5.00 | 3,272.58        | 30,425.45         |
| 6,035.64 | 701.45   | 5.00 | 3,439.63        | 33,865.08         |
| 6,040.64 | 701.67   | 5.00 | 3,507.80        | 37,372.88         |
| 6,045.64 | 703.41   | 5.00 | 3,512.70        | 40,885.58         |
| 6,050.64 | 706.30   | 5.00 | 3,524.28        | 44,409.85         |
| 6,055.64 | 710.33   | 5.00 | 3,541.58        | 47,951.43         |
| 6,060.64 | 715.45   | 5.00 | 3,564.45        | 51,515.88         |
| 6,065.64 | 721.89   | 5.00 | 3,593.35        | 55,109.23         |
| 6,070.64 | 840.70   | 5.00 | 3,906.48        | 59,015.70         |
| 6,075.64 | 949.96   | 5.00 | 4,476.65        | 63,492.35         |
| 6,080.64 | 1,004.11 | 5.00 | 4,885.18        | 68,377.53         |
| 6,085.64 | 1,088.84 | 5.00 | 5,232.38        | 73,609.90         |
| 6,090.64 | 1,042.86 | 5.00 | 5,329.25        | 78,939.15         |
| 6,095.64 | 1,134.89 | 5.00 | 5,444.38        | 84,383.53         |
| 6,100.64 | 1,223.60 | 5.00 | 5,896.23        | 90,279.75         |
| 6,105.64 | 1,438.45 | 5.00 | 6,655.13        | 96,934.88         |
| 6,110.64 | 1,893.21 | 5.00 | 8,329.15        | 105,264.03        |
| 6,115.64 | 2,284.24 | 5.00 | 10,443.63       | 115,707.65        |
| 6,120.64 | 2,287.92 | 5.00 | 11,430.40       | 127,138.05        |
| 6,125.64 | 2,131.55 | 5.00 | 11,048.68       | 138,186.73        |
| 6,130.64 | 1,939.87 | 5.00 | 10,178.55       | 148,365.28        |
| 6,135.64 | 1,781.73 | 5.00 | 9,304.00        | 157,669.28        |

*Tabla 4: Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZE.*

| Sección  | Área     | Paso | Volumen parcial | Volumen acumulado |
|----------|----------|------|-----------------|-------------------|
| 6,140.64 | 1,645.19 | 5.00 | 8,567.30        | 166,236.58        |
| 6,145.64 | 1,496.14 | 5.00 | 7,853.33        | 174,089.90        |
| 6,150.64 | 1,357.70 | 5.00 | 7,134.60        | 181,224.50        |
| 6,155.64 | 1,237.83 | 5.00 | 6,488.83        | 187,713.33        |
| 6,160.64 | 1,139.92 | 5.00 | 5,944.38        | 193,657.70        |
| 6,165.64 | 1,049.80 | 5.00 | 5,474.30        | 199,132.00        |
| 6,170.64 | 967.44   | 5.00 | 5,043.10        | 204,175.10        |
| 6,175.64 | 892.57   | 5.00 | 4,650.03        | 208,825.13        |
| 6,180.64 | 810.56   | 5.00 | 4,257.83        | 213,082.95        |
| 6,185.64 | 688.70   | 5.00 | 3,748.15        | 216,831.10        |
| 6,190.64 | 476.25   | 5.00 | 2,912.38        | 219,743.48        |
| 6,194.80 | 0.00     | 4.16 | 990.60          | <b>220,734.08</b> |

Tabla 4. Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZE. Continuación.

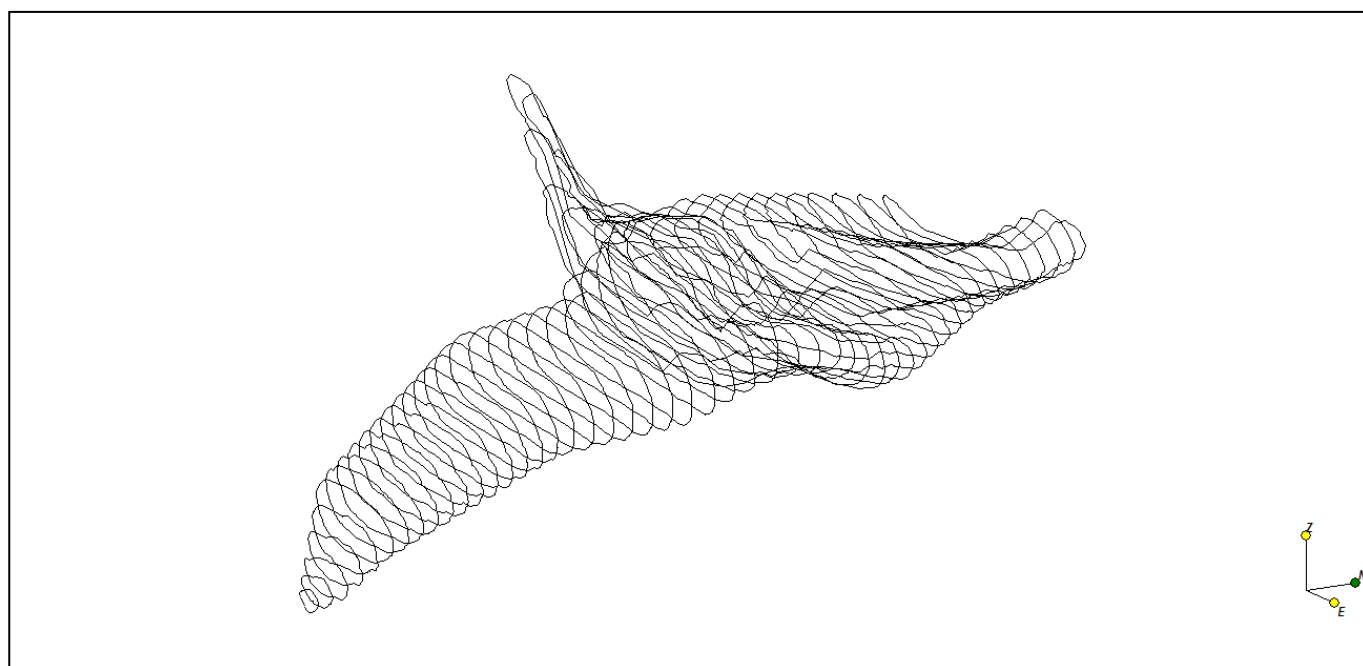
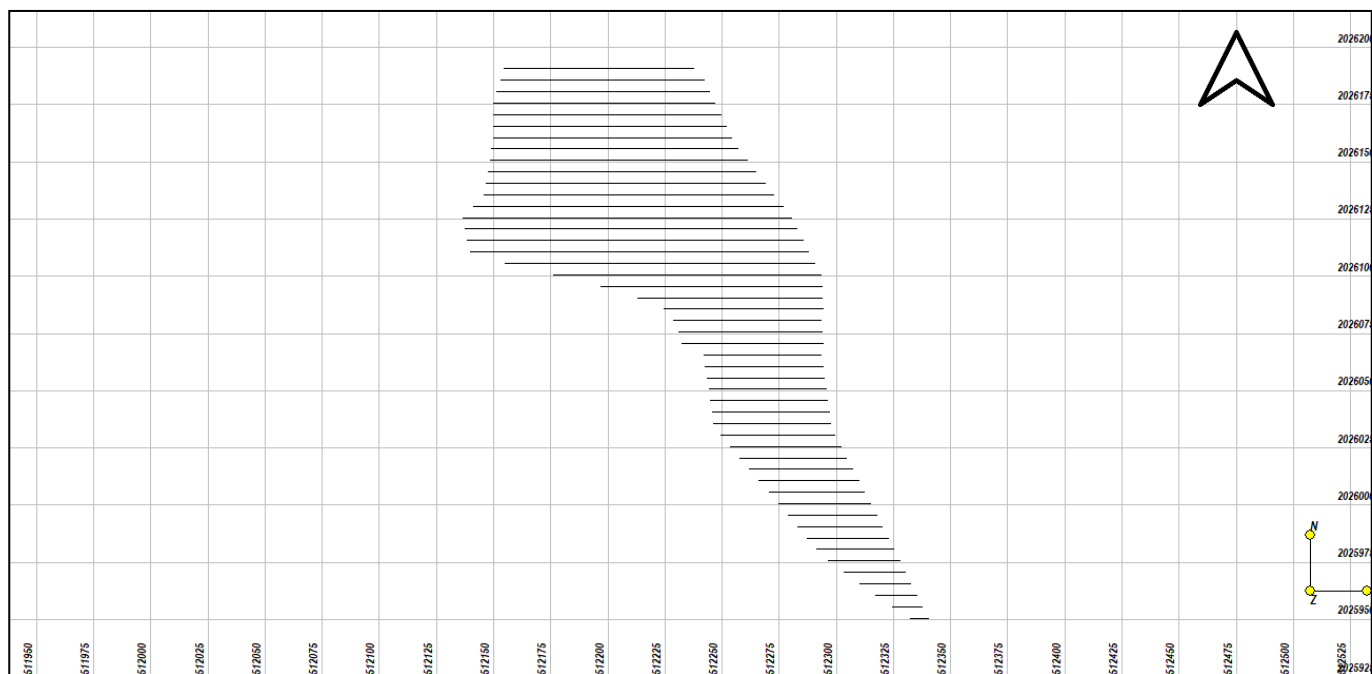
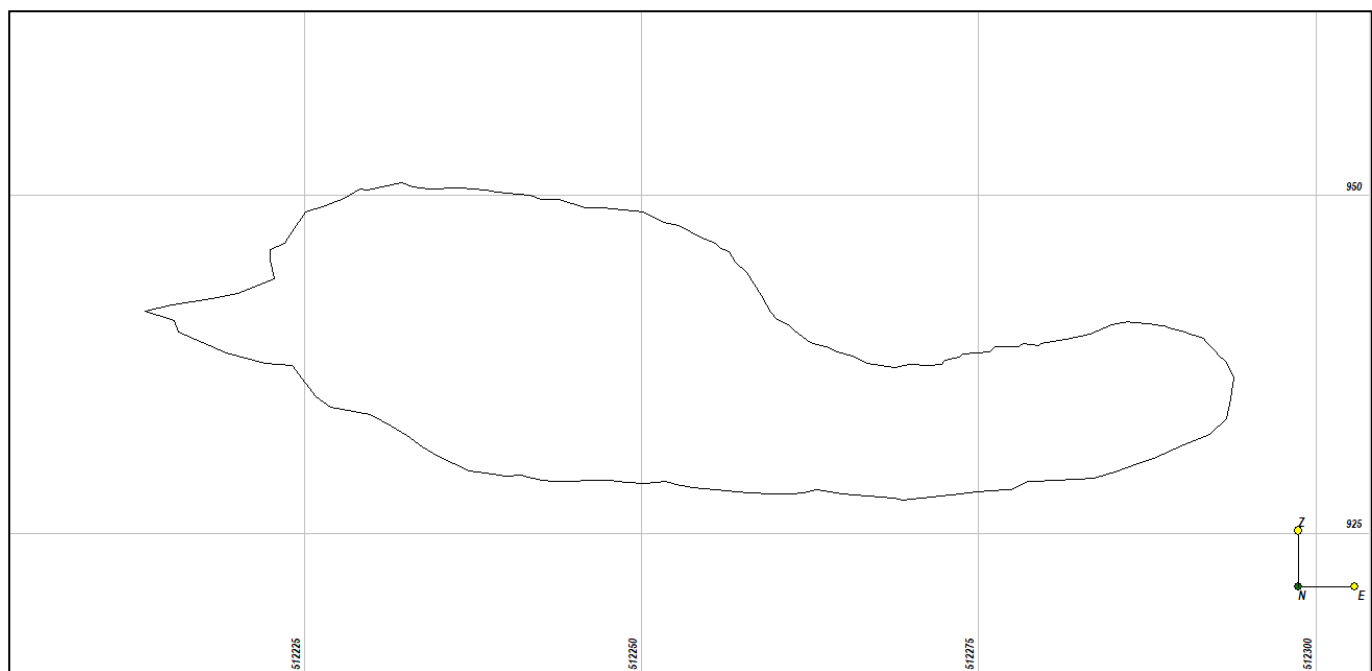


Ilustración 16: Vista 3D de las secciones ZE, a través de RMdraw.



*Ilustración 17: Vista en planta de las secciones ZE, a través de RMdraw.*



*Ilustración 18: Sección 6090.64.*

*Secciones en el plano ZN:* se generaron 42 secciones con un paso de 5 metros, el volumen obtenido fue de **221,580.79 m<sup>3</sup>**. La **Tabla 5** contiene una lista con las áreas y volúmenes acumulados, las **Ilustraciones 17, 18 y 19** muestran representaciones gráficas de las secciones calculadas, la primera contiene una vista de las secciones ZN en tres dimensiones, la segunda muestra a las mismas secciones vistas desde el plano NE, y la última contiene un ejemplo de las secciones creadas, la sección 2250.99.

| Sección  | Área     | Paso | Volumen parcial | Volumen acumulado |
|----------|----------|------|-----------------|-------------------|
| 2,135.99 | 0.00     | 5.00 |                 |                   |
| 2,140.99 | 127.47   | 5.00 | 318.68          | 318.68            |
| 2,145.99 | 269.88   | 5.00 | 993.38          | 1,312.06          |
| 2,150.99 | 551.79   | 5.00 | 2,054.18        | 3,366.23          |
| 2,155.99 | 885.23   | 5.00 | 3,592.55        | 6,958.78          |
| 2,160.99 | 1,065.63 | 5.00 | 4,877.15        | 11,835.93         |
| 2,165.99 | 1,169.76 | 5.00 | 5,588.48        | 17,424.41         |
| 2,170.99 | 1,194.23 | 5.00 | 5,909.98        | 23,334.38         |
| 2,175.99 | 1,204.75 | 5.00 | 5,997.45        | 29,331.83         |
| 2,180.99 | 1,235.42 | 5.00 | 6,100.43        | 35,432.26         |
| 2,185.99 | 1,286.94 | 5.00 | 6,305.90        | 41,738.16         |
| 2,190.99 | 1,296.20 | 5.00 | 6,457.85        | 48,196.01         |
| 2,195.99 | 1,295.16 | 5.00 | 6,478.40        | 54,674.41         |
| 2,200.99 | 1,221.39 | 5.00 | 6,291.38        | 60,965.78         |
| 2,205.99 | 1,200.51 | 5.00 | 6,054.75        | 67,020.53         |
| 2,210.99 | 1,224.75 | 5.00 | 6,063.15        | 73,083.68         |
| 2,215.99 | 1,275.54 | 5.00 | 6,250.73        | 79,334.41         |
| 2,220.99 | 1,300.47 | 5.00 | 6,440.03        | 85,774.43         |
| 2,225.99 | 1,384.44 | 5.00 | 6,712.28        | 92,486.71         |
| 2,230.99 | 1,554.43 | 5.00 | 7,347.18        | 99,833.88         |
| 2,235.99 | 1,777.14 | 5.00 | 8,328.93        | 108,162.81        |
| 2,240.99 | 1,720.32 | 5.00 | 8,743.65        | 116,906.46        |
| 2,245.99 | 1,723.29 | 5.00 | 8,609.03        | 125,515.48        |
| 2,250.99 | 1,828.85 | 5.00 | 8,880.35        | 134,395.83        |
| 2,255.99 | 1,791.02 | 5.00 | 9,049.68        | 143,445.51        |
| 2,260.99 | 1,686.12 | 5.00 | 8,692.85        | 152,138.36        |
| 2,265.99 | 1,636.64 | 5.00 | 8,306.90        | 160,445.26        |
| 2,270.99 | 1,643.44 | 5.00 | 8,200.20        | 168,645.46        |
| 2,275.99 | 1,665.94 | 5.00 | 8,273.45        | 176,918.91        |

*Tabla 5: Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZN.*

| Sección  | Área     | Paso | Volumen parcial | Volumen acumulado |
|----------|----------|------|-----------------|-------------------|
| 2,280.99 | 1,701.78 | 5.00 | 8,419.30        | 185,338.21        |
| 2,285.99 | 1,643.39 | 5.00 | 8,362.93        | 193,701.13        |
| 2,290.99 | 1,424.57 | 5.00 | 7,669.90        | 201,371.03        |
| 2,295.99 | 817.50   | 5.00 | 5,605.18        | 206,976.21        |
| 2,300.99 | 658.39   | 5.00 | 3,689.73        | 210,665.93        |
| 2,305.99 | 549.41   | 5.00 | 3,019.50        | 213,685.43        |
| 2,310.99 | 442.08   | 5.00 | 2,478.73        | 216,164.16        |
| 2,315.99 | 340.53   | 5.00 | 1,956.53        | 218,120.68        |
| 2,320.99 | 249.41   | 5.00 | 1,474.85        | 219,595.53        |
| 2,325.99 | 158.91   | 5.00 | 1,020.80        | 220,616.33        |
| 2,330.99 | 86.84    | 5.00 | 614.38          | 221,230.71        |
| 2,335.99 | 28.63    | 5.00 | 288.68          | 221,519.38        |
| 2,340.28 | 0.00     | 4.29 | 61.41           | <b>221,580.79</b> |

Tabla 5. Áreas y volúmenes calculados. Secciones ZN. Continuación.

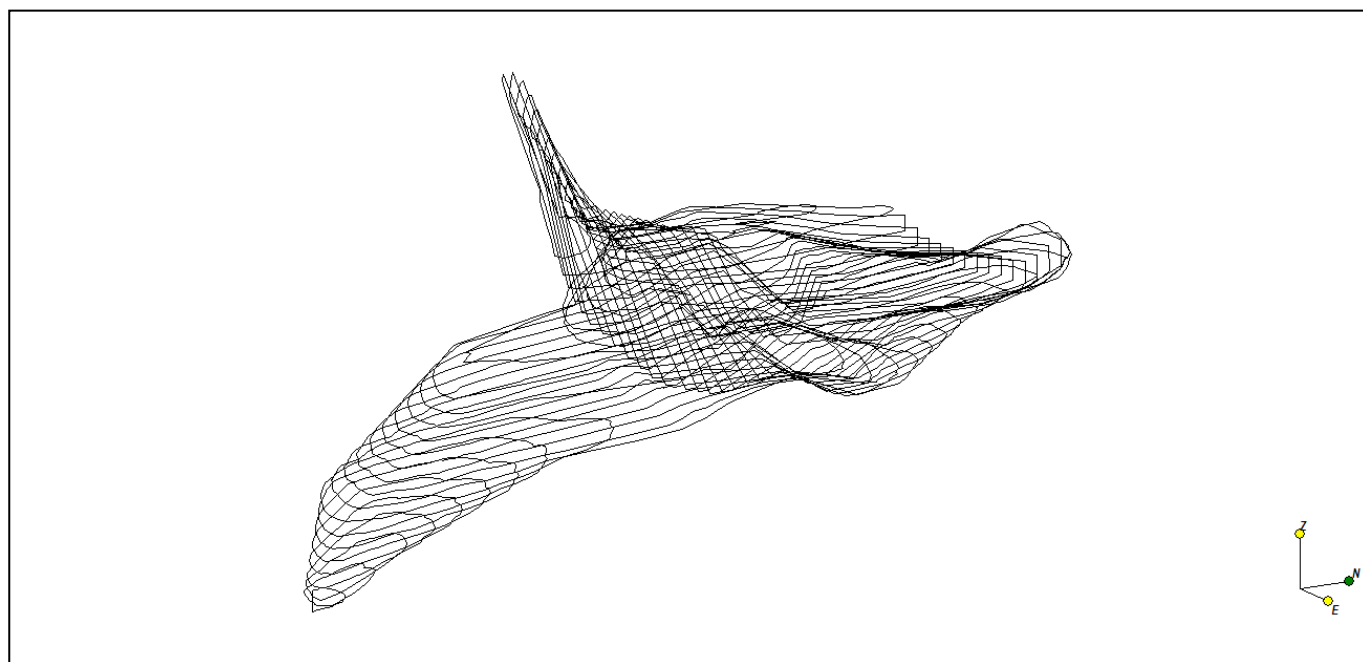
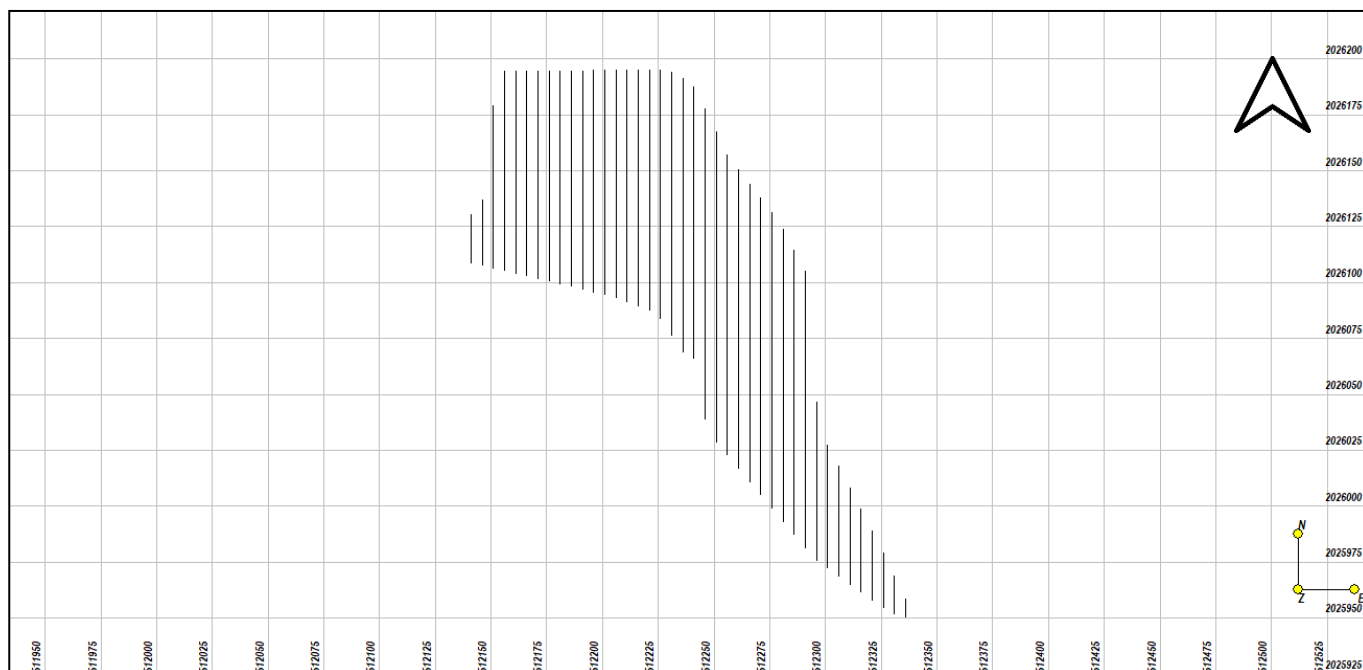
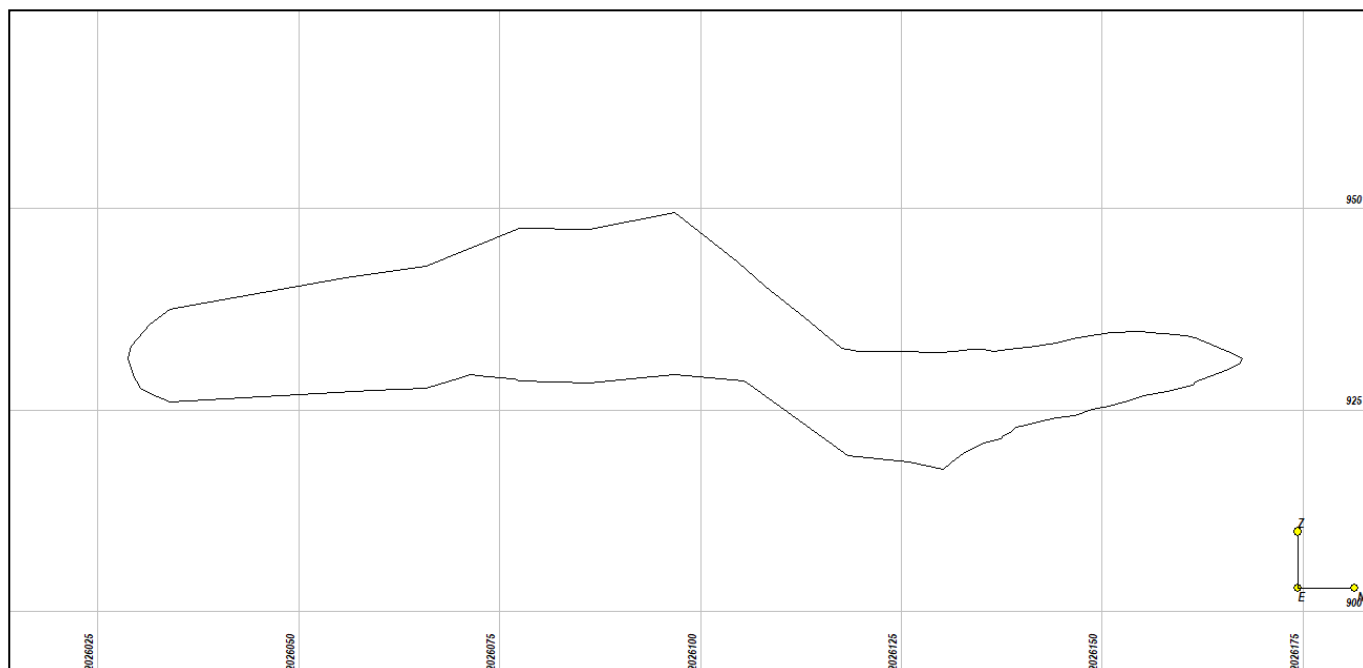


Ilustración 19: Vista 3D de las secciones ZN, a través de RMdraw.



*Ilustración 20: Vista en planta de las secciones ZN, a través de RMdraw.*



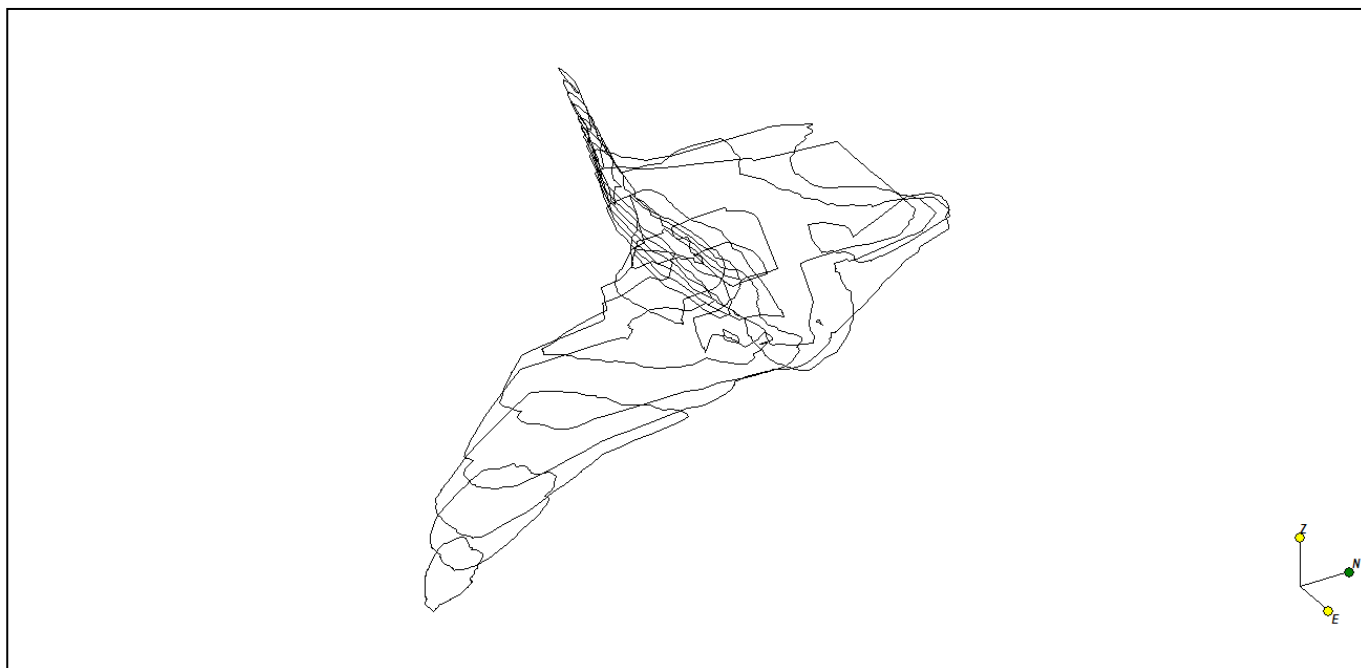
*Ilustración 21: Sección 2250.99.*



*Secciones en el plano NE:* se generaron solo 13 secciones con un paso de 5 metros, obteniendo un volumen de **65,785.07 m<sup>3</sup>**. La **Tabla 6** contiene una lista con las áreas y los volúmenes acumulados, las **Ilustraciones 20, 21 y 22** muestran representaciones gráficas de las secciones calculadas, la primera contiene una vista de las secciones NE en tres dimensiones, la segunda muestra a las mismas secciones vistas desde el plano NE, y la última contiene un ejemplo de las secciones creadas, la sección 934.73. Los signos de interrogación a la izquierda del nombre de las secciones indican que hubo errores en el cálculo, lo cual ocurre cuando el software no puede cerrar completamente la sección alrededor del sólido, existen T3 abiertos o la sección se divide en dos o más áreas, entregando solo el resultado del área mayor en la sección.

| Sección  | Área     | Paso | Volumen parcial | Volumen acumulado |
|----------|----------|------|-----------------|-------------------|
| 904.73   | 0.00     | 5.00 |                 |                   |
| 909.73   | 535.56   | 5.00 | 1,338.90        | 1,338.90          |
| ? 914.73 | 535.56   | 5.00 | 2,677.80        | 4,016.70          |
| ? 919.73 | 535.56   | 5.00 | 2,677.80        | 6,694.50          |
| ? 924.73 | 535.56   | 5.00 | 2,677.80        | 9,372.30          |
| ? 929.73 | 535.56   | 5.00 | 2,677.80        | 12,050.10         |
| ? 934.73 | 1,945.90 | 5.00 | 6,203.65        | 18,253.75         |
| 939.73   | 3,356.24 | 5.00 | 13,255.35       | 31,509.10         |
| ? 944.73 | 3,356.24 | 5.00 | 16,781.20       | 48,290.30         |
| ? 949.73 | 1,720.53 | 5.00 | 12,691.93       | 60,982.23         |
| 954.73   | 84.82    | 5.00 | 4,513.38        | 65,495.60         |
| 959.73   | 20.59    | 5.00 | 263.53          | 65,759.13         |
| 962.25   | 0.00     | 2.52 | 25.94           | <b>65,785.07</b>  |

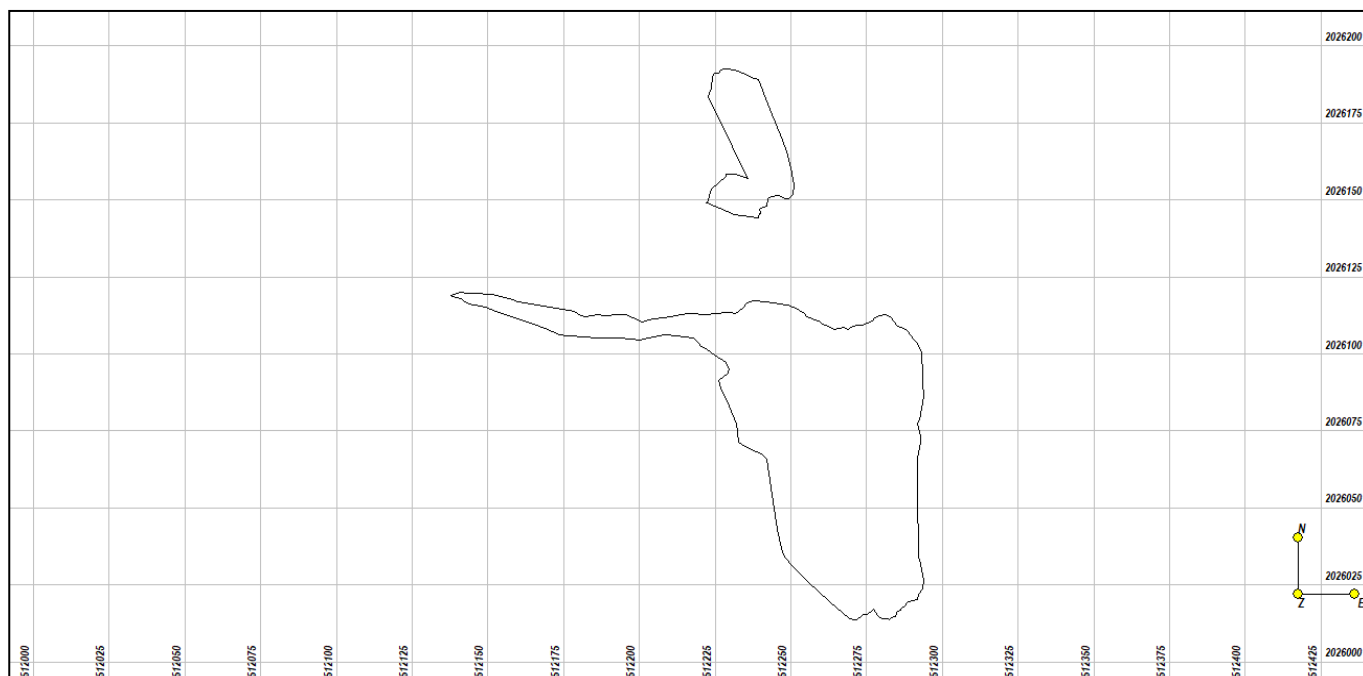
*Tabla 6: Áreas y volúmenes calculados. Secciones NE.*



*Ilustración 22: Vista 3D de las secciones NE, a través de RMdraw.*



*Ilustración 23: Vista en planta de las secciones NE, a través de RMdraw.*



*Ilustración 24: Sección 934.73.*

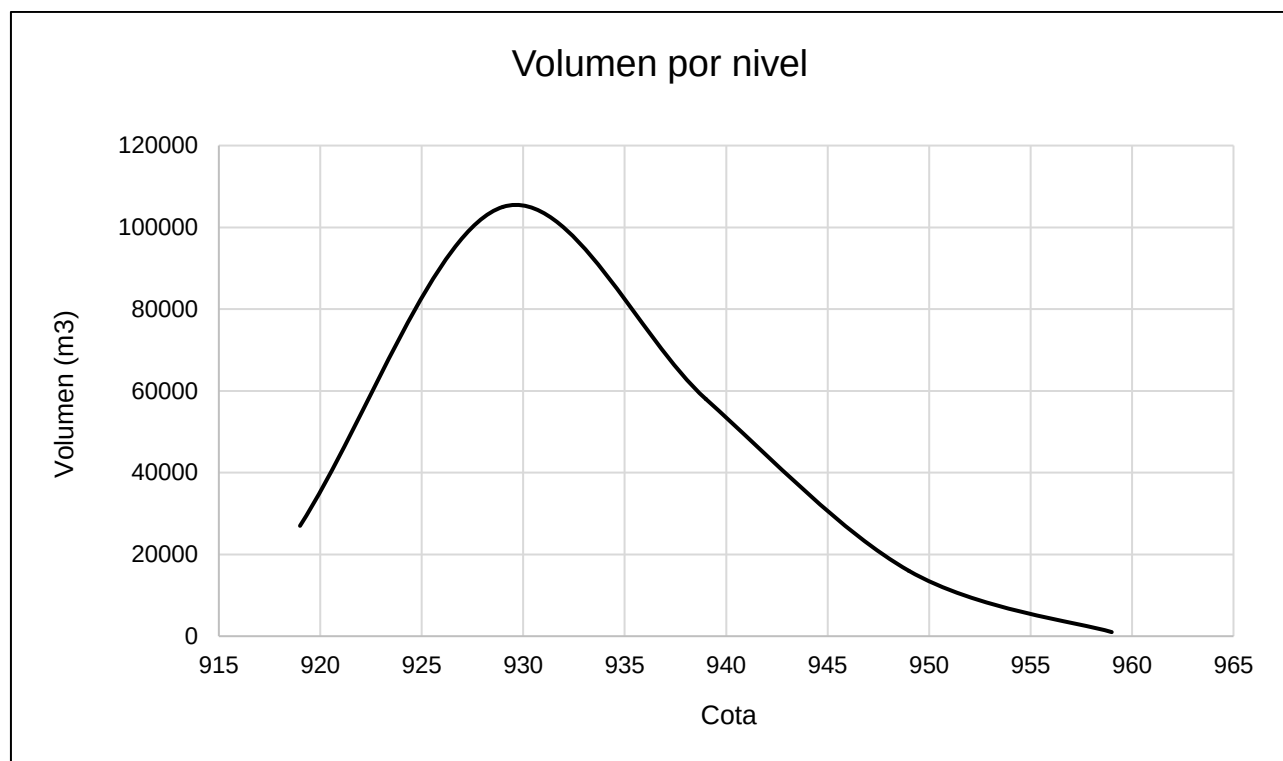
## 6.2.2 CÁLCULO DE VOLUMEN CON BLOQUES

Se iteraron dos dimensiones de bloques diferentes, de 10x10x10 y 5x5x5 metros, ya que por cuestiones técnicas se ha establecido que la altura de banco no rebase los 10 metros.

**Bloques 10x10x10:** Cubos de 1,000 m<sup>3</sup> de volumen, se generaron un total de 207 bloques, obteniendo un volumen de 207,000 m<sup>3</sup>. La **Tabla 7** muestra el volumen existente del sólido Oxido en cada cota, también muestra el volumen acumulado, mientras que en la **Ilustración 23** se aprecia una representación gráfica del volumen en cada cota.

| Cota | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------|-------------------------------------|
| 919  | 27,000                    | 27,000                              |
| 929  | 105,000                   | 132,000                             |
| 939  | 58,000                    | 190,000                             |
| 949  | 16,000                    | 206,000                             |
| 959  | 1,000                     | 207,000                             |

*Tabla 7: Volumen por cotas y volumen acumulado para bloques de 10x10x10.*

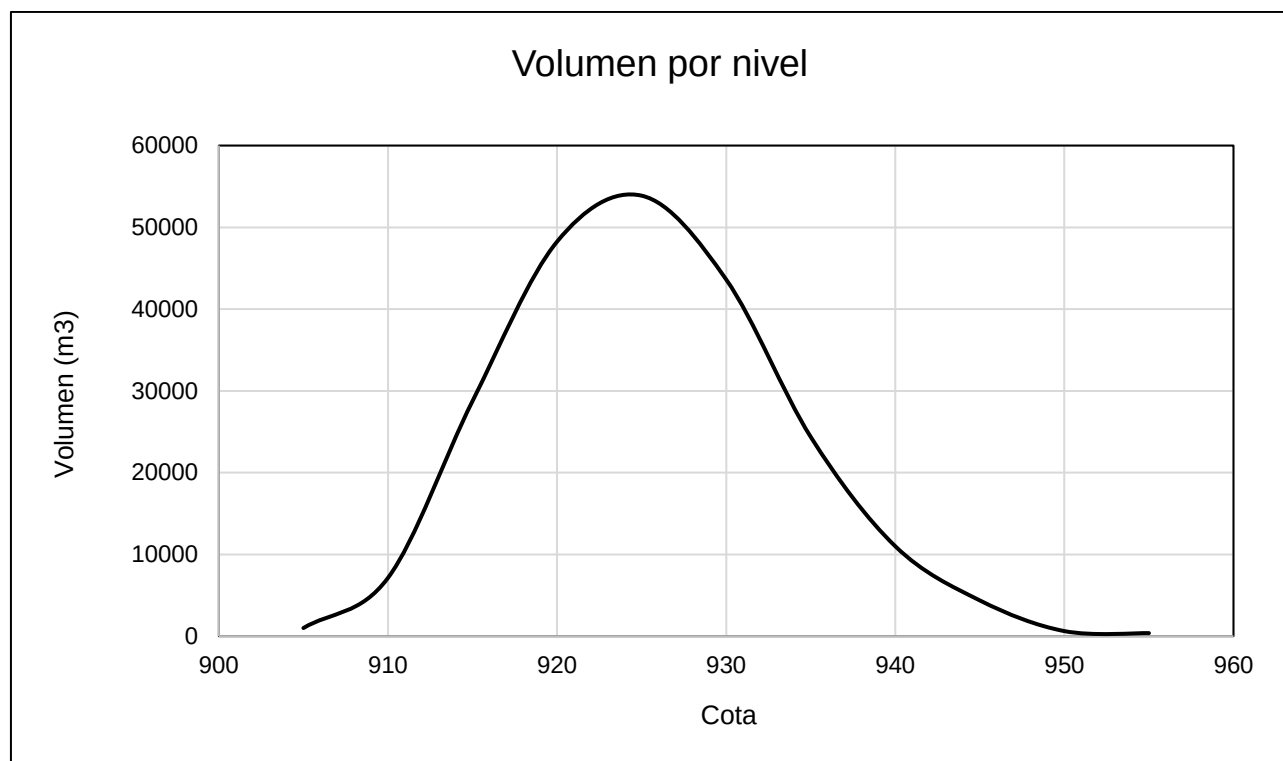


*Ilustración 25: Distribución de volúmenes para bloques de 10x10x10.*

**Bloques 5x5x5:** Cubos de 125 m<sup>3</sup> de volumen, se generaron 1,787 bloques para un total de 223,375 m<sup>3</sup>. La **Tabla 8** muestra el volumen existente del sólido Oxido en cada cota, también muestra el volumen acumulado, mientras que en la **Ilustración 24** se aprecia una representación gráfica del volumen en cada cota.

| Cota | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> ) |
|------|---------------------------|-------------------------------------|
| 905  | 1,000                     | 1,000                               |
| 910  | 7,125                     | 8,125                               |
| 915  | 28,750                    | 36,875                              |
| 920  | 48,250                    | 85,125                              |
| 925  | 53,875                    | 139,000                             |
| 930  | 43,625                    | 182,625                             |
| 935  | 24,375                    | 207,000                             |
| 940  | 11,000                    | 218,000                             |
| 945  | 4,375                     | 222,375                             |
| 950  | 625                       | 223,000                             |
| 955  | 375                       | 223,375                             |

*Tabla 8: Volumen por cotas y volumen acumulado para bloques de 5x5x5.*



*Ilustración 26: Distribución de volúmenes para bloques de 5x5x5.*

### 6.2.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE BLOQUE ÓPTIMO

En resumen, los resultados obtenidos son los siguientes:

| <b>Secciones<br/>ZE</b> | <b>Secciones<br/>ZN</b> | <b>Secciones<br/>NE</b> | <b>Bloques<br/>5*5*5</b> | <b>Bloques<br/>10*10*10</b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 220,734.00              | 221,580.80              | 65,785.06               | 223,375.00               | 207,000.00                  |

*Tabla 9: Volúmenes totales.*

Se estableció que, por practicidad, se emplearían los resultados de volumen obtenidos de los bloques, y los volúmenes calculados con las secciones ayudarían a definir cuál de los dos tamaños de bloques era el apropiado para continuar con los cálculos de la estimación de reservas.

Fueron descartadas las secciones NE, ya que su volumen difiere en gran cantidad del resto de los volúmenes calculados, 70.55% de diferencia con los bloques de 5x5x5 metros y 68.22% de diferencia respecto a los bloques de 10x10x10 metros, además de ser las únicas secciones que presentan errores en los cálculos.

Las secciones ZE presentan una diferencia de 1.18% respecto a los bloques de 5x5x5 metros, mientras que, respecto a los bloques de 10x10x10 metros, la diferencia es de -6.63%.

Para las secciones ZN nuevamente la diferencia entre los bloques de 5x5x5 metros es menor respecto a la de 10x10x10 metros, siendo de 0.80% y -7.04% respectivamente. Con estos resultados se optó por seleccionar a los bloques de 5x5x5 metros como el cálculo más acertado y el adecuado para llevar a cabo los cálculos restantes.

Se puede apreciar que existe una mayor densidad de bloques entre las cotas 920 y 930, lo cual es proporcional a la densidad de información de muestras de óxido **(Ilustraciones 25 y 26)**.

Debe aclararse que, debido a que el sólido generado es una interpretación, el volumen obtenido hasta el momento no corresponde al volumen total de reservas, ya que hasta este punto no ha sido definido el radio de influencia de las muestras.

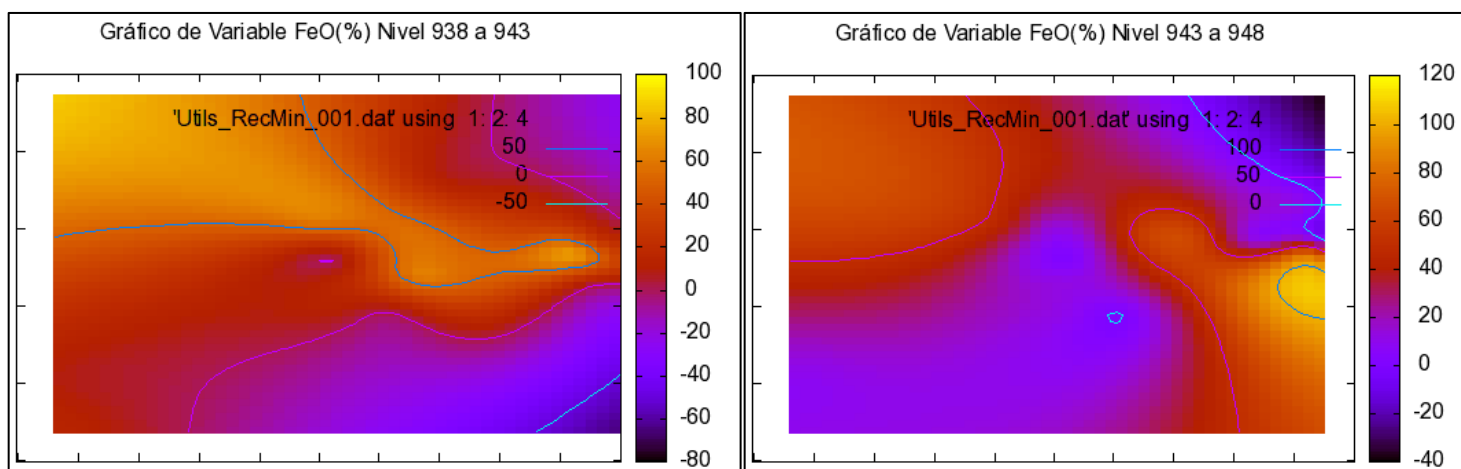
## 6.3 ASIGNACIÓN DE LEYES MEDIANTE EL CALCULO DEL INVERSO A LA DISTANCIA

### 6.3.1 RANGOS DE INFLUENCIA

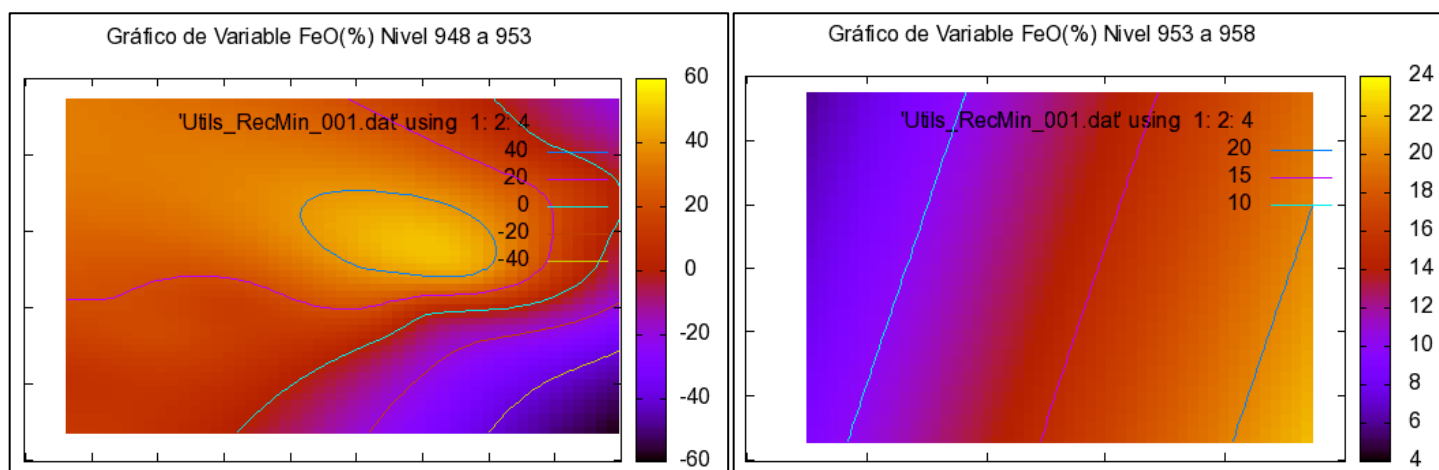
Para definir los rangos de influencia se trabajó con *gnuplot* y *GEO\_UTILS RECMIN*; para el primero se obtuvieron un total de 7 mapas de isolíneas en la primera prueba, rango desde la cota 938 a la 973 **(Ilustraciones de la 25 a la 28)** y 8 para la segunda rango desde la cota 915 a la 955 **(Ilustraciones de la 29 a la 32)**.

En su mayoría la información generada no sirvió de mucho, ya que muchos mapas no presentan valores de isolíneas, los mapas desde la cota 973 a la 988 en la primera prueba y los mapas de la cota 910 a 915, y 955 a 960 para la segunda prueba aparecen en blanco, debido a que en estos rangos no se encuentran valores de óxido. El resto de los mapas se presentan incompletos, debido a la dispersión de la información.

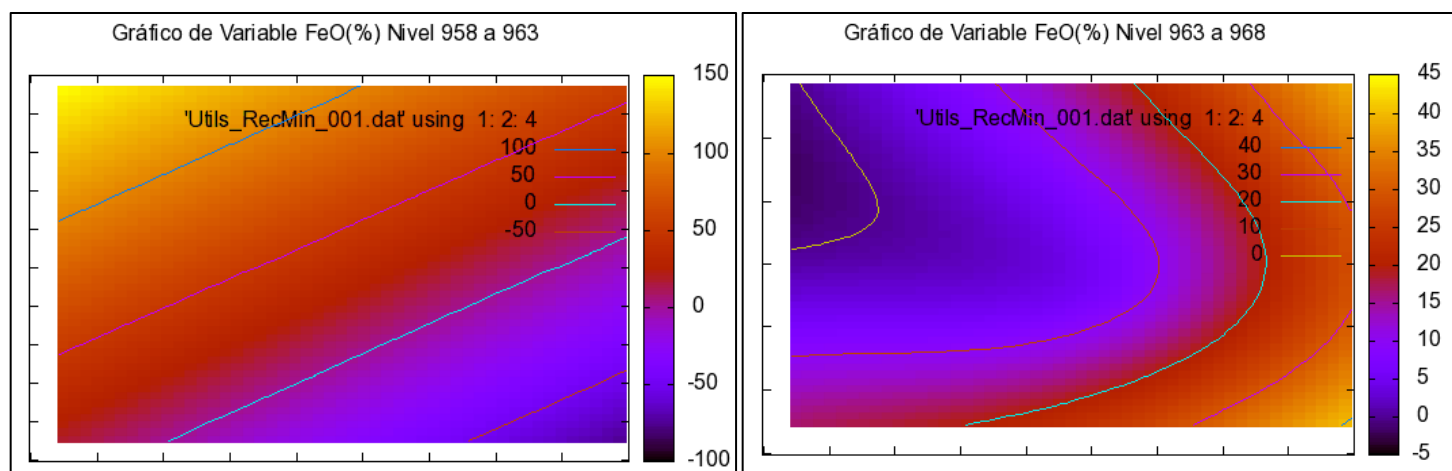
Se pueden resumir dos cosas de las pruebas realizadas: las muestras presentan una relación anisotrópica (baja), ya que en su mayoría se aprecian elipses en los mapas y, aunque no son del todo apreciables, uno de los rangos de influencia, mapa de isolíneas 930 a 935 **(Ilustración 30)**, es aproximadamente 60 metros, sin embargo, esta última información no es fiable, ya que los mapas parecen estar incompletos, pero sirve de como punto de partida para las iteraciones que se realizaron con *GEO\_UTILS RECMIN*.



*Ilustración 27: Mapas de Isolíneas 938 a 948.*



*Ilustración 28: Mapas de Isolíneas 948 a 958.*



*Ilustración 29: Mapas de Isolíneas 958 a 968.*

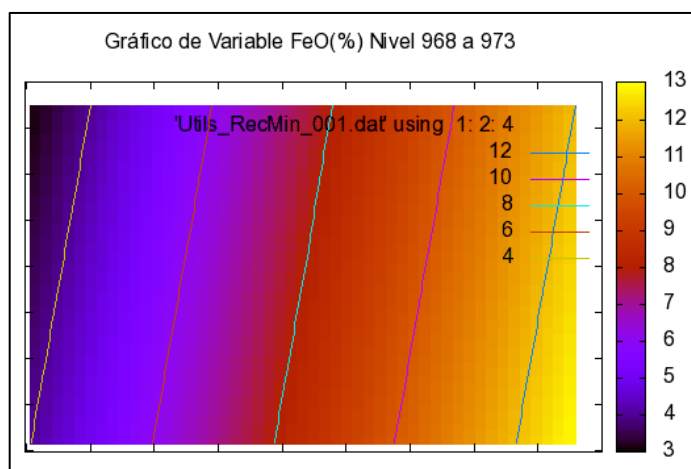


Ilustración 30: Mapa de Isolíneas para niveles 968 a 973, a través de gnuplot.

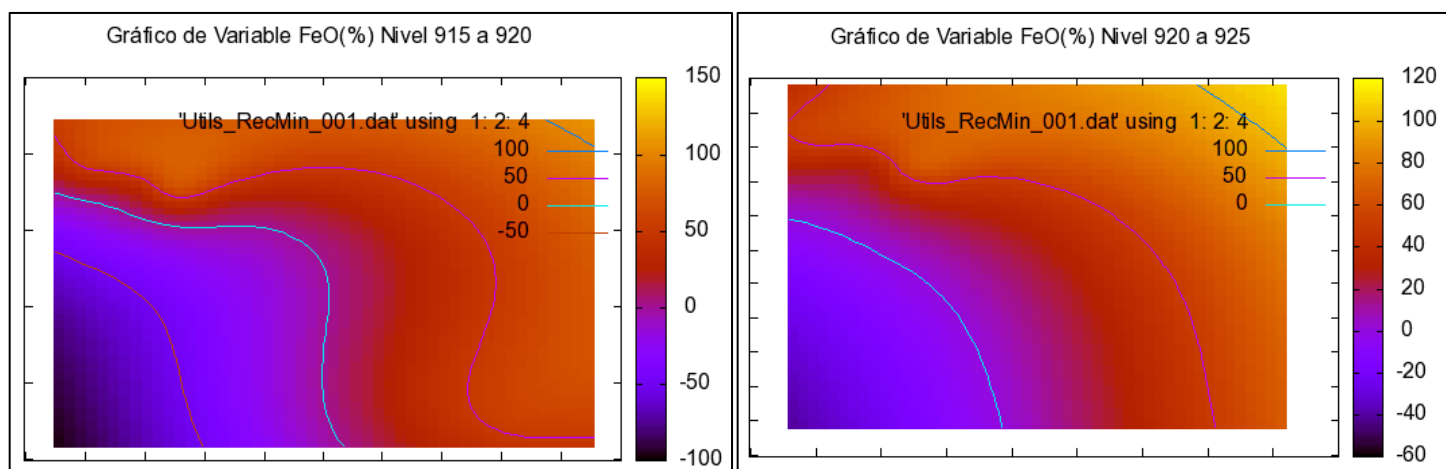


Ilustración 31: Mapas de Isolíneas para niveles 915 a 925, a través de gnuplot.

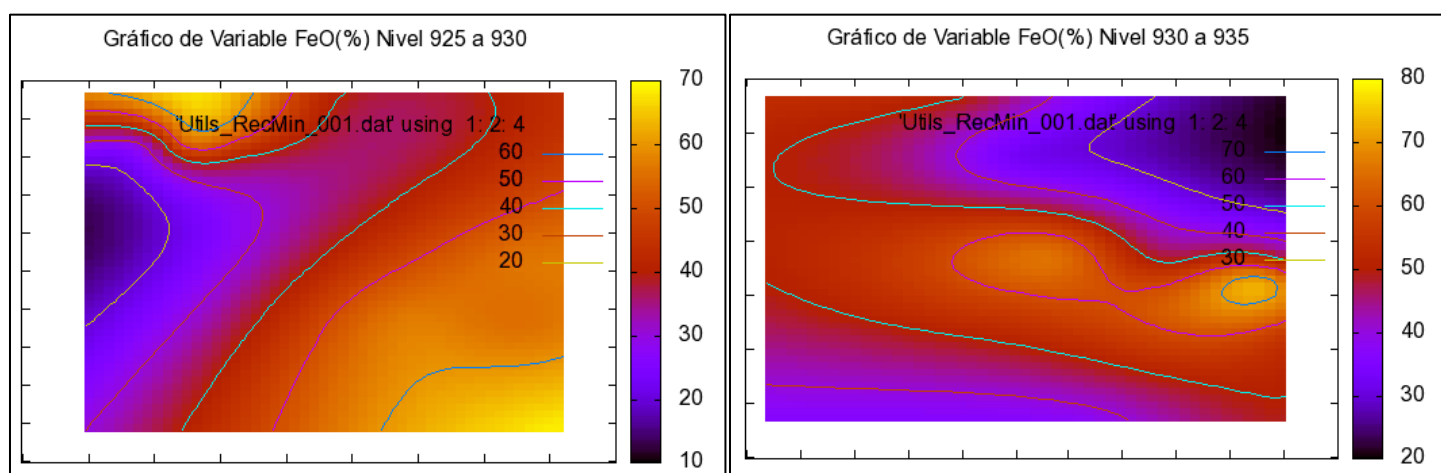
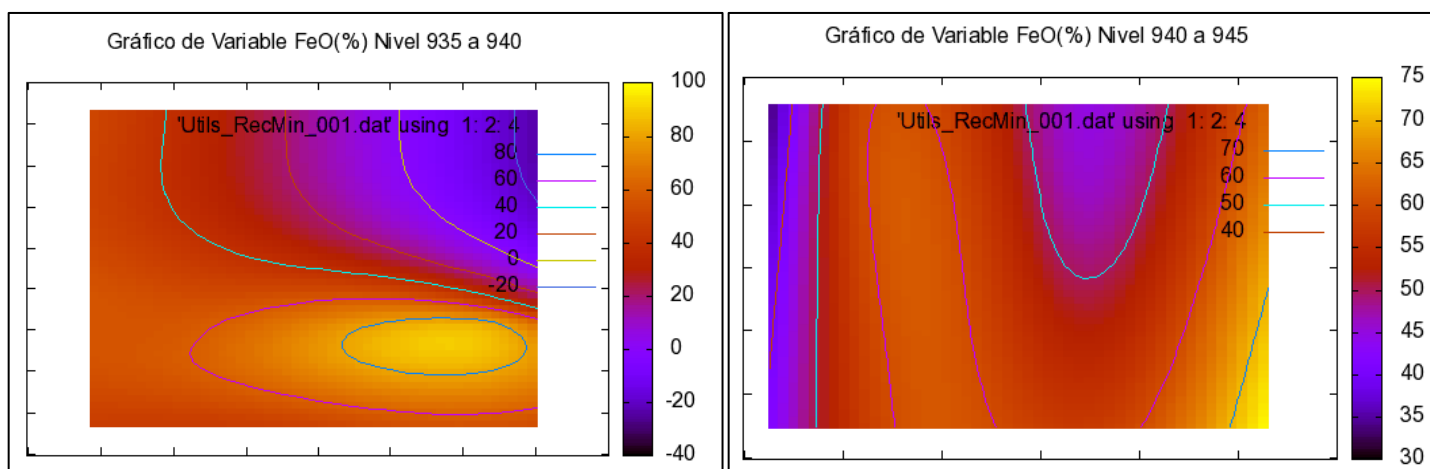
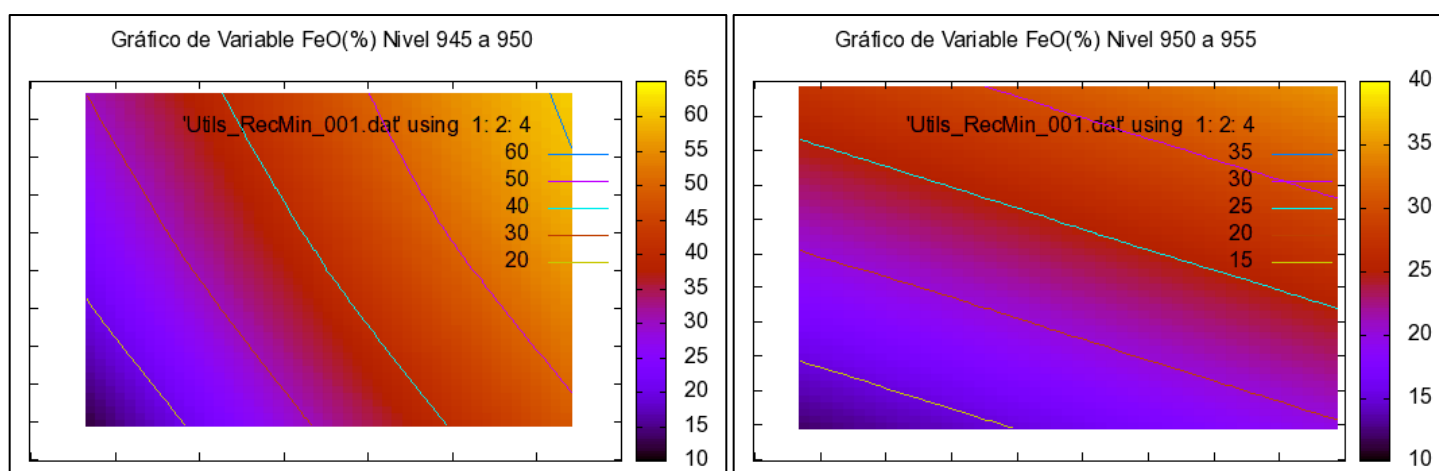


Ilustración 32: Mapas de Isolíneas para niveles 925 a 935, a través de gnuplot.





*Ilustración 33: Mapas de Isolíneas para niveles 935 a 945, a través de gnuplot.*



*Ilustración 34: Mapas de Isolíneas para niveles 945 a 955, a través de gnuplot.*

Las escalas y coordenadas de los mapas de isolíneas fueron recortadas, debido a que su apreciación es meramente visual y no aportan mucha información, excepto la mencionada anteriormente. De igual manera se encuentran disponibles mediante mi contacto.

Los mapas en blanco no aparecen en este trabajo ya que al carecer de información son innecesarios. Sin embargo, toda la información está disponible mediante mi contacto.

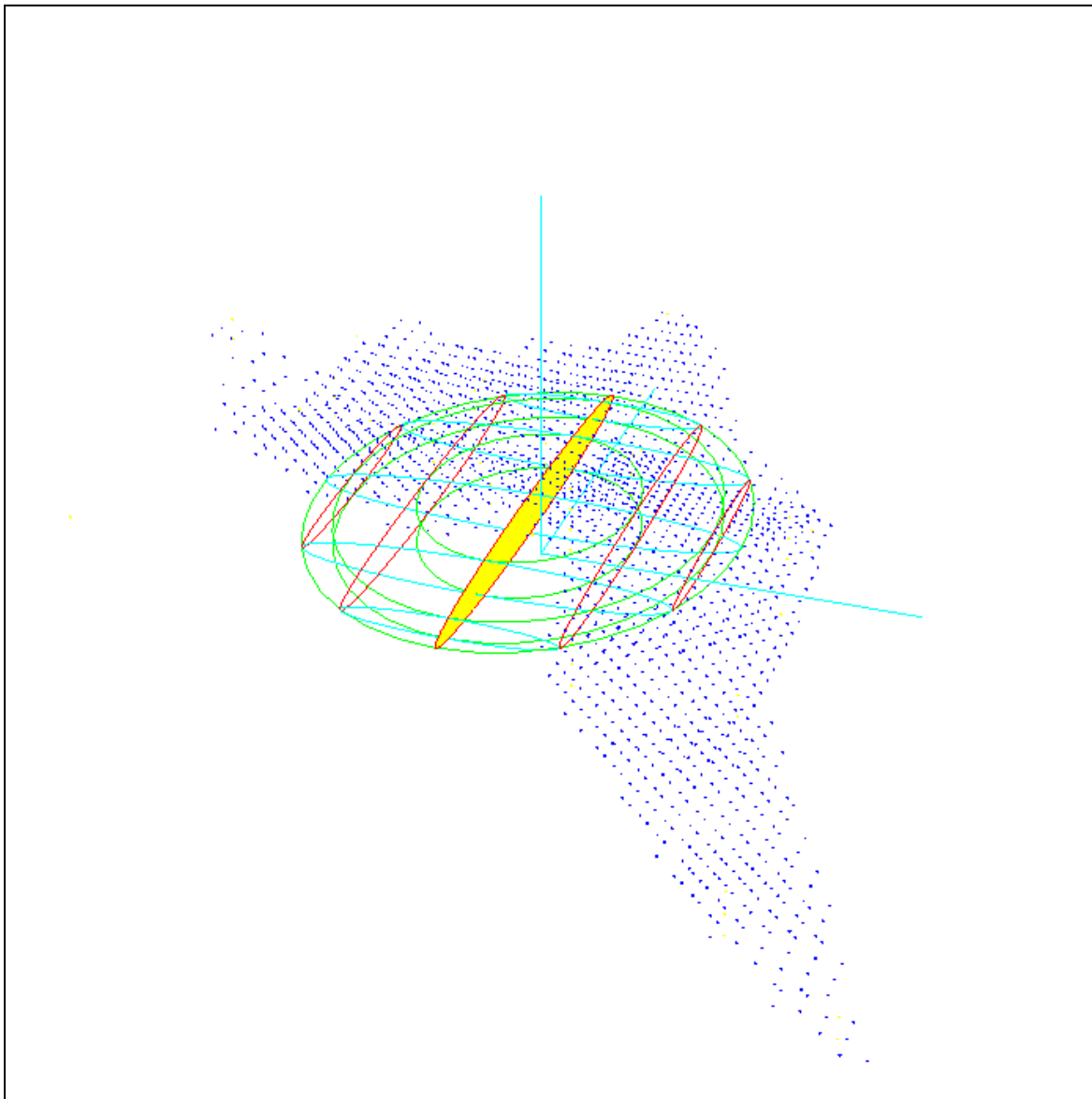
Continuando con *GEO\_UTILS RECMIN*, utilizando como punto de partida el único rango obtenido de las pruebas anteriores, 60 metros, se procedió a iterar valores cercanos al rango obtenido en busca de los resultados que generarán el menor error promedio posible. Obteniendo, finalmente, los siguientes resultados:

- Distancia de interpolación en el eje principal: 60.
- Distancia de interpolación en el eje secundario: 48.
- Distancia de interpolación en el eje terciario: 5.
- Angulo entre dirección del buzamiento y el norte: 0.

- Angulo de buzamiento ( $\geq 0$  y  $\leq 90$ ): 0.
- Angulo de cabeceo ( $\geq -90$  y  $\leq 90$ ): 0.
- Coeficiente de correlación: 0.43280.
- Error promedio: -0.0067.

Como puede apreciarse, la correlación entre los datos no es muy alta, sin embargo, estos resultados son los que arrojan menor error entre las muestras reales y las estimadas. El resto de los parámetros iterados, así como sus coeficientes de correlación y error promedio, pueden apreciarse en el **Anexo VIII**.

El sistema de elipsoides producido por los rangos se muestra, de manera gráfica, en la **Ilustración 33**.



*Ilustración 35: Vista 3D del sistema de elipsoides que definen el rango de influencia, a través del visor 3D.*

### 6.3.2 LEYES OBTENIDAS MEDIANTE EL INVERSO A LA DISTANCIA

Una vez que el módulo *cálculo con bloques* ha realizado los cálculos correspondientes, los valores obtenidos fueron asignados a los bloques, pudiendo ser visualizados a través del módulo de dibujo.

Se observó que, como se había previsto, los valores cercanos a los barrenos realizados no coincidían con los de estos barrenos, por lo cual se llevó a cabo un reajuste, empleando el método de los polígonos. Los valores obtenidos del método de los polígonos sustituyeron a los de los bloques calculados mediante inverso a la distancia, las leyes también fueron reajustada. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

| NIVEL | FeO PLY                   |            |            | FeO IDW                   |            |         | FeO Ponderado |
|-------|---------------------------|------------|------------|---------------------------|------------|---------|---------------|
|       | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso (ton) | Ley (%)    | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Peso (ton) | Ley (%) | Ley (%)       |
| 910   | 625                       | 2,438      | 33.50      | 6,000                     | 23,400     | 30.91   | 31.15         |
| 915   | 1,750                     | 6,825      | 50.13      | 27,000                    | 105,300    | 51.70   | 51.60         |
| 920   | 2,625                     | 10,238     | 55.10      | 42,500                    | 165,750    | 56.97   | 56.86         |
| 925   | 3,750                     | 14,625     | 52.08      | 50,125                    | 195,488    | 49.39   | 49.58         |
| 930   | 4,125                     | 16,088     | 51.51      | 39,500                    | 154,050    | 51.37   | 51.38         |
| 935   | 3,000                     | 11,700     | 53.33      | 20,375                    | 79,463     | 54.71   | 54.53         |
| 940   | 1,875                     | 7,313      | 53.58      | 9,125                     | 35,588     | 52.89   | 53.00         |
| 945   | 1,125                     | 4,388      | 58.39      | 2,625                     | 10,238     | 58.43   | 58.42         |
| 950   | 125                       | 488        | 34.51      | 500                       | 1,950      | 34.51   | 34.51         |
| 955   | 250                       | 975        | 55.70      | 125                       | 488        | 49.02   | 53.47         |
|       |                           |            |            |                           |            |         |               |
| Total | Volumen (m <sup>3</sup> ) |            | Peso (Ton) |                           | Ley (%)    |         |               |
|       | 217,125.00                |            | 846,787.50 |                           | 52.00      |         |               |

Tabla 10: Resultados del cálculo de leyes por inverso a la distancia, método de los polígonos y la ley ajustada o ponderada.

Como puede apreciarse en la **Tabla 10**, la ley media estimada del yacimiento es de 52.00%, quedando aun dentro del rango de leyes permitidas por el cliente (entre 50 y 60%), aunque abajo del valor optimo requerido (55%), es decir, nuestra ley se encuentra ligeramente arriba de la ley de corte. Cabe aclarar que los valores de la tabla se encuentran redondeados, sin embargo, los valores totales no lo están.

También puede apreciarse que el volumen de reservas difiere del volumen total del sólido Óxido, 223,375.00 m<sup>3</sup>, una diferencia de 6,250 m<sup>3</sup>. Esto se debe a que el sólido es una interpretación, no es un modelado exacto, y puede diferir de los rangos de influencia, como es el caso, en el que los 50 bloques restantes se encuentran muy alejados de las muestras reales, fuera de los rangos de influencia propuestos.

## 6.4 CLASIFICACIÓN DE RESERVAS

Mediante el uso de *GEO UTILS RECMIN* para la clasificación de reservas, se calcularon los percentiles 50 y 90, obteniendo que, las distancias de interpolación menores o iguales a 10.9 metros correspondían al percentil 50, por lo tanto, les correspondía la asignación de reservas medidas (categoría 1), mientras que los bloques cuya distancia de interpolación fuera menor o igual a 22.1 recibieron la categoría de reservas indicadas (categoría 2), finalmente, aquellos valores con distancia de interpolación menor o igual a 52.2 poseen la categoría de reservas inferidas (categoría 3).

La cantidad de bloques por categoría se expresa en la siguiente tabla:

|                  | Distancia (m) <= | Categoría | Cantidad Bloques |
|------------------|------------------|-----------|------------------|
| <b>Medidas</b>   | 10.9             | 1         | 579              |
| <b>Indicadas</b> | 22.1             | 2         | 810              |
| <b>Inferidas</b> | 52.2             | 3         | 348              |
| <b>Totales</b>   |                  |           | 1,737            |

*Tabla 11: Clasificación de reservas.*

Una vez asignadas las categorías, *GEO UTILS RECMIN* permite introducir los valores de las leyes calculadas bloque por bloque, esta información debe ir acompañada de la distancia mínima de interpolación, obtenida también con *Recmin*, la hoja de calculo asigna a cada bloque su categoría, para ser importada en el módulo de yacimientos y así poder desplegar de manera grafica los bloques con sus respectivas clasificaciones (**Ilustración 34**).

En las **Ilustración 34** se puede apreciar que los bloques cercanos a los barrenos de exploración poseen la clasificación de reservas medidas (color azul), le siguen las reservas indicadas (color amarillo), y finalmente, los bloques mas alejados de los barrenos de exploración reciben la clasificación de reservas inferidas (color rojo).

Finalmente, en la **Tabla 12**, se clasifican las reservas según el nivel en el cual se encuentran, se aprecia que, la mayor concentración de reservas medidas se encuentra en los niveles medios del yacimiento.

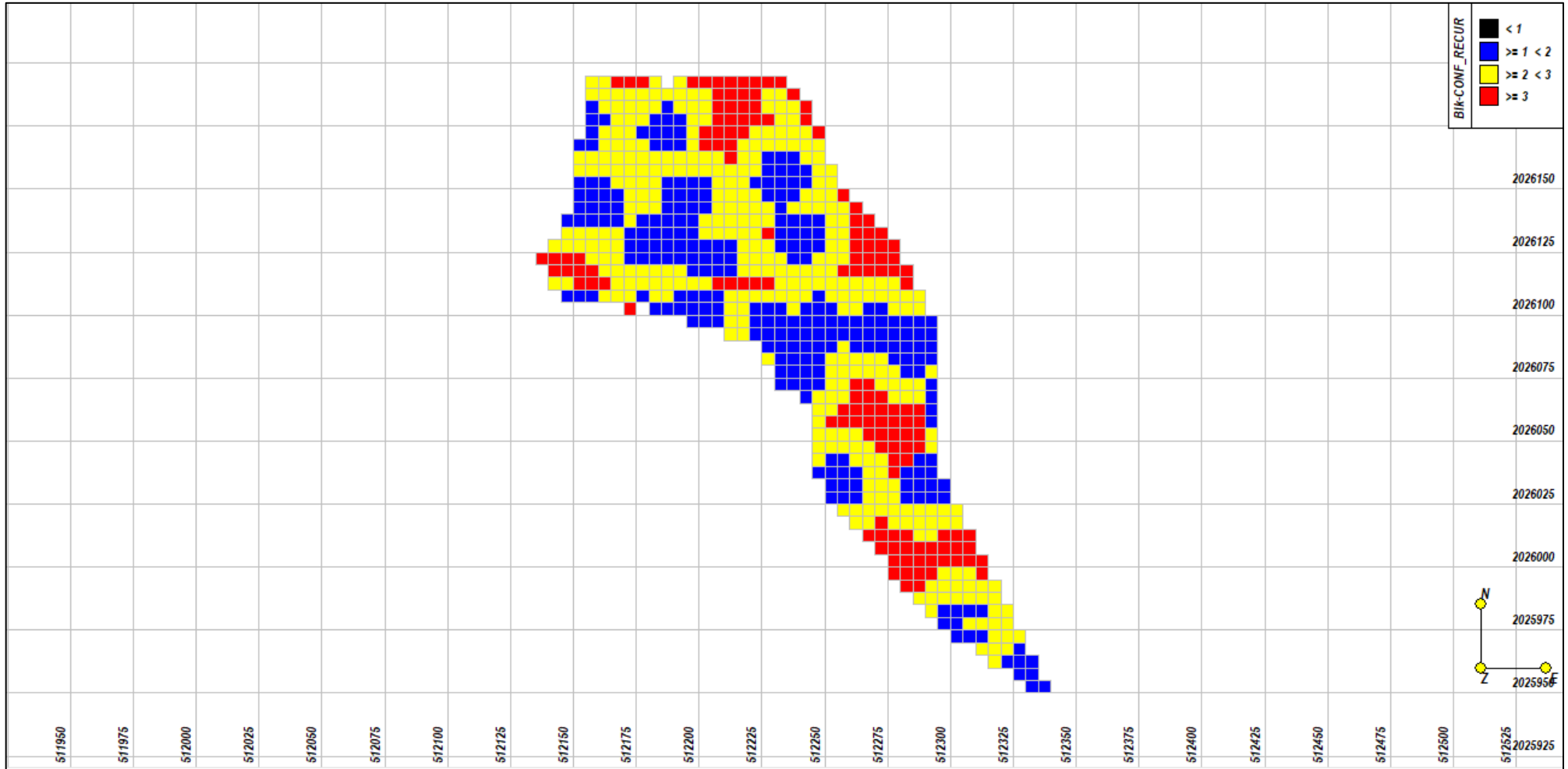


Ilustración 36: Vista en planta de la clasificación de reservas, a través de RMdraw.

| NIVEL | Clasificación | Volumen | Peso   | FEODW |
|-------|---------------|---------|--------|-------|
| 910   | Medidas       | 875     | 3,413  | 38.10 |
|       | Indicadas     | 3,875   | 15,113 | 29.98 |
|       | Inferidas     | 1,875   | 7,313  | 28.80 |
| 915   | Medidas       | 9,500   | 37,050 | 50.52 |
|       | Indicadas     | 16,000  | 62,400 | 53.04 |
|       | Inferidas     | 3,250   | 12,675 | 48.25 |
| 920   | Medidas       | 11,750  | 45,825 | 54.39 |
|       | Indicadas     | 21,875  | 85,313 | 56.72 |
|       | Inferidas     | 11,500  | 44,850 | 60.25 |
| 925   | Medidas       | 15,000  | 58,500 | 49.56 |
|       | Indicadas     | 24,625  | 96,038 | 49.74 |
|       | Inferidas     | 14,250  | 55,575 | 49.42 |
| 930   | Medidas       | 14,750  | 57,525 | 52.38 |
|       | Indicadas     | 21,000  | 81,900 | 51.03 |
|       | Inferidas     | 7,875   | 30,713 | 49.74 |
| 935   | Medidas       | 10,125  | 39,488 | 54.69 |
|       | Indicadas     | 9,250   | 36,075 | 54.09 |
|       | Inferidas     | 4,000   | 15,600 | 54.98 |
| 940   | Medidas       | 6,500   | 25,350 | 52.94 |
|       | Indicadas     | 3,875   | 15,113 | 53.88 |
|       | Inferidas     | 625     | 2,438  | 48.84 |
| 945   | Medidas       | 3,500   | 13,650 | 58.44 |
|       | Indicadas     | 250     | 975    | 58.00 |
| 950   | Indicadas     | 500     | 1,950  | 34.51 |
|       | Inferidas     | 125     | 488    | 34.51 |
| 955   | Medidas       | 375     | 1,463  | 53.47 |

*Tabla 12: Clasificación de reservas por nivel.*

Un total de 282,262.5 toneladas de reservas medidas, con una ley de 52.4% de hematita; 394,875 toneladas de reservas indicadas, con ley de 51.8% de hematita, y 169,650.0 toneladas de reservas inferidas con ley de 51.824% de hematita.

## 6.5 CONCLUSIONES

En orden de conclusiones, comenzando por el análisis estadístico de las muestras, si observamos nuevamente que algunos barrenos fueron descartados por encontrarse en zonas de tepetateras (barrenos 26 al 30, y 42) y sus valores nada aportaban a este estudio, también se reconoce que existen también barrenos descartados con contenidos de hierro (barrenos del 43 al 46), sin embargo, como se mencionó en este trabajo, estos barrenos se encuentran muy alejados del sólido *Oxido*, por lo cual se considera que dichos barrenos pertenecen a otro manto, pensando que el cuerpo analizado en este trabajo, que también presenta una ilustración similar a un manto, y el cuerpo al cual pertenecen los últimos barrenos descartados, forman parte de un gran yacimiento ubicado en esa zona de Jolalpan, que aun no está explorado del todo.

También es bueno señalar que existe una mina vecina al “Águila Real”, la mina de “Águila II”, ubicada al noreste del “Águila Real”, que presenta problemas geotécnicos debido a una mala explotación, pero se puede intuir claramente que el cuerpo mineralizado se extiende hacia esa dirección, sin embargo, no es información que se presente en la exploración. Esta información es de gran ayuda en las siguientes exploraciones, ya que se recomienda que a futuro estas se realcen en la dirección este de la mina, así como al noroeste (dirección de los barrenos descartados).

También se recomienda considerar estas zonas para la generación de contratos nuevos con otros locatarios.

En cuanto a la correlación de sílice con hematita parece no haber problema con ello, ya que las leyes de sílice parecen disminuir a medida que las de hematita aumentan, sin embargo, no existe suficiente información para asegurar este hecho. Por lo cual se recomienda seguir analizando las muestras para ambos elementos.

La distribución de las leyes parece ser normal, aun así la baja correlación entre estas leyes puede deberse a la toma de muestras, se observó que el muestreo no se realizó de manera sistemática, aunque se siguió un plan para ello, no se generó una red ordenada tal y como lo recomiendan las bibliografías, además, la diferencia de alturas a las cuales fueron tomadas las muestras y la poca profundidad de los barrenos también influye de manera negativa en la correlación de las mismas, lo mismo ocurre con las isolíneas. Se recomienda que en un futuro el muestreo siga un método sistemático, además de completar las muestras, aunque se halla encontrado el material deseado, ya que los barrenos no deberían ser tan cortos, debido a que el equipo de perforación utilizado alcanza hasta los 30 metros, por lo cual se espera que todos los barrenos posean esa profundidad o al menos logren una profundidad cercana.

La baja correlación entre las muestras se vio reflejada en una baja correlación para la estimación de las reservas, por lo cual el cálculo final no es muy fiable, pero da una idea en sí de las posibles distribuciones de los valores de hematita en el yacimiento. Para mejorar la fiabilidad de estos valores se recomienda una nueva campaña de exploración, o una retroalimentación al modelo propuesto con las muestras tomadas en campo.

Considerando que en promedio la producción de hematita mensual es de 10,000 toneladas, y considerando que las reservas medidas arrojan un valor de 282,262.5 toneladas, se puede tener certeza de que la explotación continuará, con valores dentro del rango permisible por el cliente, por poco más de dos años (2.35 años), y si consideramos el valor total de las reservas, 846,787.5 toneladas, la vida aproximada de la mina es de 7 años. Sin embargo, la correlación es baja y la confiabilidad de estos resultados no es suficiente para asegurar la renovación de contratos sea una buena opción, además de que la planeación de la explotación a partir de estos resultados tampoco sería fiable, por lo cual se recomienda una nueva campaña de exploración más disciplinada y ordenada, mejorando así la fiabilidad de la estimación de reservas.

Finalmente, se espera que la información generada en este trabajo, el mapa de curvas de nivel, la estimación y clasificación de reservas por nivel y el sólido propuesto sirva como punto de partida para el desarrollo de un nuevo plan de exploración en el cual la colecta de muestras se realice correctamente.



## 7. REFERENCIAS

American institute of mining, metallurgical, and petroleum engineers, Inc. (1982). Application of computers and operations research in the mineral industry. New York, New York: American institute of mining, metallurgical, and petroleum engineers, Inc.

Howard L. Hartman. (2002). Introduction mining engineering. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Jesús Puy Huarte. (1977). Procedimientos de sondeos. Madrid, España: Publicaciones Científicas de la J.E.N.

Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. (1990). Surface mining. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

L.F. VASSALLO, Ph.D. (2008). Yacimientos Minerales Metálicos. Querétaro, MEXICO: Centro de Geociencias, UNAM.

### **Referencias electrónicas:**

Carta geológica Huehuetlán E14-B71. Servicio Geológico Mexicano. URL: [http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/1743\\_E14-B71\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/1743_E14-B71_GM.pdf).

## 8. ANEXOS



## ANEXO II: BITACORA DE BARRENACION

**Descripción:** la bitácora esta ordenada según el día que se realizaron los barrenos, cada barreno posee un número de identificación (**Id**) correspondiente a su ubicación en el plano; los tramos de material encontrados (**Mat.**), en metros, según apreciación visual; la longitud total del barreno (**Long.**), en metros, y sus coordenadas en sistema UTM (**X, Y, Z**), cuadrante 14 Q.

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Barrenos realizados       | 64     |
| Barrenos útiles           | 49     |
| Metros barrenados totales | 878.4  |
| Metros barrenados útiles  | 755    |
| Horas de barrenación      | 168.48 |
| m/h Totales               | 5.21   |
| m/h útiles                | 4.48   |
| Eficiencia de operación   | 86%    |

| Día       | 2                |        | 2               |           | 2            |   | 3                |          | 3                         |             | 3            |    | 4            |    | 4                         |         |
|-----------|------------------|--------|-----------------|-----------|--------------|---|------------------|----------|---------------------------|-------------|--------------|----|--------------|----|---------------------------|---------|
| Id        | JP-26            |        | JP-27           |           | JP-28        |   | JP-29            |          | JP-30                     |             | JP-31        |    | JP-32        |    | JP-33                     |         |
| Mat. (m)  | Arcilla<br>Oxido | 6<br>6 | Caliza<br>Oxido | 0.3<br>10 | Caliza       | 7 | Arcilla<br>Oxido | 7<br>1.5 | Caliza<br>Arcilla<br>Nada | 1.5<br>11.5 | Arcilla      | 15 | Oxido        | 17 | Caliza<br>Arcilla<br>Nada | 12<br>8 |
| Long. (m) | 12.00            |        | 10.30           |           | 7.00         |   | 8.50             |          | 13.00                     |             | 15.00        |    | 17.00        |    | 20.00                     |         |
| X         | 512,144.49       |        | 512,133.41      |           | 512,162.23   |   | 512,142.37       |          | 512,133.61                |             | 512,282.44   |    | 512,286.05   |    | 512,299.90                |         |
| Y         | 2,026,033.97     |        | 2,026,009.18    |           | 2,026,053.68 |   | 2,026,054.55     |          | 2,026,033.74              |             | 2,026,113.83 |    | 2,026,086.28 |    | 2,026,073.90              |         |
| Z         | 954.00           |        | 954.00          |           | 954.00       |   | 968.00           |          | 957.00                    |             | 949.00       |    | 946.60       |    | 944.40                    |         |

## ANEXO II: BITACORA DE BARRENACION

| Dia   | 4            |    | 5            |    | 8                |        | 8            |   | 8                       |                   | 9                |            | 10           |    | 12               |         |
|-------|--------------|----|--------------|----|------------------|--------|--------------|---|-------------------------|-------------------|------------------|------------|--------------|----|------------------|---------|
| Id    | JP-34        |    | JP-35        |    | JP-36            |        | JP-37        |   | JP-38                   |                   | JP-39            |            | JP-40        |    | JP-41            |         |
| Mat.  | Caliza       | 20 | Oxido        | 14 | Arcilla<br>Oxido | 7<br>7 | Caliza       | 8 | Oxido<br>Oxido<br>Oxido | 5.5<br>7.5<br>7.5 | Arcilla<br>Oxido | 9.2<br>5.3 | Caliza       | 12 | Caliza<br>Caliza | 3<br>16 |
| Long. | 20.00        |    | 14.00        |    | 14.00            |        | 8.00         |   | 20.50                   |                   | 14.50            |            | 12.00        |    | 19.00            |         |
| X     | 512,304.90   |    | 512,304.09   |    | 512,330.62       |        | 512,345.11   |   | 512,248.01              |                   | 512,233.97       |            | 512,203.64   |    | 512,126.46       |         |
| Y     | 2,026,021.13 |    | 2,025,976.65 |    | 2,025,958.41     |        | 2,025,931.54 |   | 2,026,096.77            |                   | 2,026,071.31     |            | 2,026,069.19 |    | 2,025,968.35     |         |
| Z     | 937.80       |    | 927.90       |    | 923.80           |        | 922.50       |   | 950.00                  |                   | 951.00           |            | 950.00       |    | 952.50           |         |

| Dia   | 12           |      | 13                |             | 15                |           | 15           |      | 15                |             | 16                        |                 | 16               |            | 17               |            |
|-------|--------------|------|-------------------|-------------|-------------------|-----------|--------------|------|-------------------|-------------|---------------------------|-----------------|------------------|------------|------------------|------------|
| Id    | JP-42        |      | JP-43             |             | JP-44             |           | JP-45        |      | JP-46             |             | JP-47                     |                 | JP-48            |            | JP-49            |            |
| Mat.  | Caliza       | 20.5 | Caliza<br>Arcilla | 1.8<br>10.2 | Caliza<br>Arcilla | 12<br>5.5 | Caliza       | 12.2 | Caliza<br>Arcilla | 1.8<br>10.2 | Arcilla<br>Oxido<br>Oxido | 5<br>7.3<br>0.7 | Arcilla<br>Oxido | 4.8<br>3.2 | Arcilla<br>Oxido | 6.8<br>4.2 |
| Long. | 20.50        |      | 12.00             |             | 17.50             |           | 12.20        |      | 12.00             |             | 13.00                     |                 | 8.00             |            | 11.00            |            |
| X     | 512,112.60   |      | 512,130.31        |             | 512,107.17        |           | 512,090.16   |      | 512,098.81        |             | 512,149.73                |                 | 512,185.13       |            | 512,204.25       |            |
| Y     | 2,026,006.51 |      | 2,026,076.12      |             | 2,026,062.49      |           | 2,026,055.18 |      | 2,026,088.82      |             | 2,026,108.55              |                 | 2,026,102.37     |            | 2,026,121.34     |            |
| Z     | 958.00       |      | 969.00            |             | 974.00            |           | 979.80       |      | 987.90            |             | 967.00                    |                 | 950.00           |            | 932.90           |            |

## ANEXO II: BITACORA DE BARRENACION

| <b>Dia</b>   | 18           |   | 18           |    | 19           |    | 19           |    | 19           |    | 20           |    | 20           |    | 21           |    |
|--------------|--------------|---|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|
| <b>Id</b>    | <b>JP-50</b> |   | <b>JP-01</b> |    | <b>JP-02</b> |    | <b>JP-03</b> |    | <b>JP-04</b> |    | <b>JP-05</b> |    | <b>JP-07</b> |    | <b>JP-08</b> |    |
| <b>Mat.</b>  | Oxido        | 9 | Caliza       | 3  | Caliza       | 5  | Caliza       | 15 | Arcilla      | 3  | Caliza       | 6  | Caliza       | 21 | Caliza       | 20 |
|              | Oxido        | 5 | Oxido        | 14 | Oxido        | 15 |              |    | Caliza       | 16 | Arcilla      | 3  |              |    |              |    |
|              |              |   |              |    |              |    |              |    |              |    | Oxido        | 12 |              |    |              |    |
| <b>Long.</b> | 14.00        |   | 17.00        |    | 20.00        |    | 15.00        |    | 19.00        |    | 21.00        |    | 21.00        |    | 20.00        |    |
| <b>X</b>     | 512,159.32   |   | 512,290.05   |    | 512,255.03   |    | 512,223.15   |    | 512,207.16   |    | 512,290.29   |    | 512,240.49   |    | 512,205.10   |    |
| <b>Y</b>     | 2,026,143.52 |   | 2,026,034.05 |    | 2,026,033.98 |    | 2,026,046.03 |    | 2,026,044.50 |    | 2,026,065.92 |    | 2,026,077.40 |    | 2,026,081.38 |    |
| <b>Z</b>     | 932.00       |   | 939.00       |    | 944.40       |    | 951.17       |    | 952.66       |    | 945.00       |    | 950.21       |    | 950.41       |    |

| <b>Dia</b>   | 21           |   | 22           |   | 23           |    | 23           |   | 23           |    | 24           |    | 24           |    | 25           |    |
|--------------|--------------|---|--------------|---|--------------|----|--------------|---|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|
| <b>Id</b>    | <b>JP-09</b> |   | <b>JP-10</b> |   | <b>JP-11</b> |    | <b>JP-12</b> |   | <b>JP-13</b> |    | <b>JP-14</b> |    | <b>JP-15</b> |    | <b>JP-16</b> |    |
| <b>Mat.</b>  | Arcilla      | 7 | Caliza       | 9 | Caliza       | 15 | Arcilla      | 5 | Caliza       | 20 | Arcilla      | 20 | Arcilla      | 10 | Caliza       | 20 |
|              | Oxido        | 8 | Arcilla      | 4 |              |    | Oxido        | 5 |              |    |              |    | Oxido        | 3  |              |    |
|              |              |   | Oxido        | 5 |              |    |              |   |              |    |              |    |              |    |              |    |
| <b>Long.</b> | 15.00        |   | 18.00        |   | 15.00        |    | 10.00        |   | 20.00        |    | 20.00        |    | 13.00        |    | 20.00        |    |
| <b>X</b>     | 512,290.12   |   | 512,269.18   |   | 512,228.85   |    | 512,201.13   |   | 512,279.21   |    | 512,266.37   |    | 512,239.92   |    | 512,257.00   |    |
| <b>Y</b>     | 2,026,091.10 |   | 2,026,093.24 |   | 2,026,095.19 |    | 2,026,102.83 |   | 2,026,131.23 |    | 2,026,126.99 |    | 2,026,131.05 |    | 2,026,158.49 |    |
| <b>Z</b>     | 946.62       |   | 950.54       |   | 950.20       |    | 949.28       |   | 950.68       |    | 950.93       |    | 942.76       |    | 951.02       |    |

## ANEXO II: BITACORA DE BARRENACION

| Dia   | 25           |    | 25           |    | 25           |    | 26           |    | 26           |   | 27           |   | 27           |   | 28           |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
|-------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|-------|---|-------|---|---------|---|---------|---|---------|---|-------|---|-------|---|
| Id    | JP-17        |    | JP-18        |    | JP-19        |    | JP-20        |    | JP-21        |   | JP-22        |   | JP-23        |   | JP-24        |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
| Mat.  | Caliza       | 4  | Oxido        | 15 | Oxido        | 15 | Oxido        | 15 | Arcilla      | 8 | Arcilla      | 6 | Caliza       | 5 | Caliza       | 8 |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
|       | Arcilla      | 5  |              |    |              |    |              |    |              |   |              |   |              |   |              |   | Oxido | 9 | Oxido | 3 | Arcilla | 3 | Arcilla | 8 |         |   |       |   |       |   |
|       | Oxido        | 11 |              |    |              |    |              |    |              |   |              |   |              |   |              |   |       |   |       |   |         |   |         |   | Arcilla | 4 | Oxido | 5 | Oxido | 4 |
|       |              |    |              |    |              |    |              |    |              |   |              |   |              |   |              |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
| Long. | 20.00        |    | 15.00        |    | 15.00        |    | 15.00        |    | 17.00        |   | 13.00        |   | 13.00        |   | 20.00        |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
| X     | 512,232.96   |    | 512,190.09   |    | 512,178.88   |    | 512,193.78   |    | 512,186.89   |   | 512,151.97   |   | 512,150.02   |   | 512,229.05   |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
| Y     | 2,026,153.35 |    | 2,026,128.43 |    | 2,026,128.43 |    | 2,026,146.53 |    | 2,026,172.43 |   | 2,026,176.33 |   | 2,026,143.52 |   | 2,026,186.39 |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |
| Z     | 945.18       |    | 932.25       |    | 930.55       |    | 932.98       |    | 932.18       |   | 932.18       |   | 932.24       |   | 955.30       |   |       |   |       |   |         |   |         |   |         |   |       |   |       |   |

|              |                            |
|--------------|----------------------------|
| <b>Dia</b>   | 28                         |
| <b>Id</b>    | JP-25                      |
| <b>Mat.</b>  | Arcilla<br>Oxido<br>9<br>9 |
| <b>Long.</b> | 18.00                      |
| <b>X</b>     | 512,206.67                 |
| <b>Y</b>     | 2,026,121.34               |
| <b>Z</b>     | 932.74                     |

# ANEXO III: REPORTES DE LABORATORIO

## ANALISIS QUIMICO DE MINERALES

### REPORTE DE RESULTADOS

Material: **HEMATITA** Fecha: 28/Dic./2017

Yacimiento: ÁGUILA REAL Lote/Almacén: BARRENACIÓN EXPLORACIÓN

Origen: JOLALPAN, PUE. Pedido: VALIDACIÓN DE CALIDAD

| RESULTADOS                       |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|
| Análisis                         | Especificaciones del Cliente | Muestra No.1      | Muestra No. 2     | Muestra No. 3     | Muestra No.4  | Muestra No.5 | Muestra No. 6 |
| Identificación                   |                              | Barreno JP-39 (1) | Barreno JP-39 (2) | Barreno JP-39 (3) | Barreno JP-40 |              |               |
| Nom. De Operador                 |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| Unidad                           |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| Destino                          |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| Tamaño Max.                      |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| Tamaño Min.                      |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| % Agua Combinada                 |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| % Humedad                        | 8 % MAX                      | 5.7               | 8.1               | 3.2               | 6.8           |              |               |
| % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 55 % MIN                     | 41.0              | 58.9              | 67.2              | 11.4          |              |               |
| % SO <sub>3</sub>                |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                              |                   |                   |                   |               |              |               |
| % Si O <sub>2</sub>              | 10 % MÁX                     | 8.2               | 0.3               | 0.8               | 12.6          |              |               |

#### OBSERVACIONES

Muestras enviadas a Laboratorio para Validación de Calidad.

Se libera para:



Voladura



Venta al cliente



No se Libera



### **ANEXO III: REPORTES DE LABORATORIO**

Se presenta solo uno de los reportes de análisis de laboratorio como ejemplificación ya que, por razones de espacio, se han omitido los demás (en total son 21 reportes) sin embargo, estos se encuentran disponibles, si alguien así lo requiriera, a través de mi contacto.

Por razones de seguridad algunos datos han sido omitidos en este reporte.

## ANEXO IV: Collar

| SONDEO | ESTE       | NORTE      | ELEVAC   | PROF |       |           |            |       |      |
|--------|------------|------------|----------|------|-------|-----------|------------|-------|------|
| JP-01  | 512290.052 | 2026034.05 | 939      | 17   | JP-44 | 512107.17 | 2026062.49 | 974   | 17.5 |
| JP-02  | 512255.033 | 2026033.98 | 944.395  | 20   | JP-45 | 512090.16 | 2026055.18 | 979.8 | 12.2 |
| JP-03  | 512223.151 | 2026046.03 | 951.174  | 15   | JP-46 | 512098.81 | 2026088.82 | 987.9 | 12   |
| JP-04  | 512207.164 | 2026044.5  | 952.6577 | 19   | JP-47 | 512149.73 | 2026108.55 | 967   | 13   |
| JP-05  | 512290.29  | 2026065.92 | 945      | 21   | JP-48 | 512185.13 | 2026102.37 | 950   | 8    |
| JP-07  | 512240.486 | 2026077.4  | 950.21   | 21   | JP-49 | 512204.25 | 2026121.34 | 932.9 | 11   |
| JP-08  | 512205.096 | 2026081.38 | 950.4119 | 20   | JP-50 | 512159.32 | 2026143.52 | 932   | 14   |
| JP-09  | 512290.121 | 2026091.1  | 946.6227 | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-10  | 512269.179 | 2026093.24 | 950.5436 | 18   |       |           |            |       |      |
| JP-11  | 512228.851 | 2026095.19 | 950.2013 | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-12  | 512201.129 | 2026102.83 | 949.2789 | 10   |       |           |            |       |      |
| JP-13  | 512279.212 | 2026131.23 | 950.6765 | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-14  | 512266.373 | 2026126.99 | 950.9258 | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-15  | 512239.923 | 2026131.05 | 942.7626 | 13   |       |           |            |       |      |
| JP-16  | 512257     | 2026158.49 | 951.0201 | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-17  | 512232.957 | 2026153.35 | 945.1763 | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-18  | 512190.09  | 2026128.43 | 932.251  | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-19  | 512178.882 | 2026128.43 | 930.5485 | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-20  | 512193.78  | 2026146.53 | 932.977  | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-21  | 512186.892 | 2026172.43 | 932.184  | 17   |       |           |            |       |      |
| JP-22  | 512151.974 | 2026176.33 | 932.176  | 13   |       |           |            |       |      |
| JP-23  | 512150.022 | 2026143.52 | 932.241  | 13   |       |           |            |       |      |
| JP-24  | 512229.05  | 2026186.39 | 955.2979 | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-25  | 512206.67  | 2026121.34 | 932.7445 | 18   |       |           |            |       |      |
| JP-26  | 512144.49  | 2026033.97 | 954      | 12   |       |           |            |       |      |
| JP-27  | 512133.41  | 2026009.18 | 954      | 10.3 |       |           |            |       |      |
| JP-28  | 512162.23  | 2026053.68 | 954      | 7    |       |           |            |       |      |
| JP-29  | 512142.37  | 2026054.55 | 968      | 8.5  |       |           |            |       |      |
| JP-30  | 512133.61  | 2026033.74 | 957      | 13   |       |           |            |       |      |
| JP-31  | 512282.44  | 2026113.83 | 949      | 15   |       |           |            |       |      |
| JP-32  | 512286.05  | 2026086.28 | 946.6    | 17   |       |           |            |       |      |
| JP-33  | 512299.9   | 2026073.9  | 944.4    | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-34  | 512304.9   | 2026021.13 | 937.8    | 20   |       |           |            |       |      |
| JP-35  | 512304.09  | 2025976.65 | 927.9    | 14   |       |           |            |       |      |
| JP-36  | 512330.62  | 2025958.41 | 923.8    | 14   |       |           |            |       |      |
| JP-37  | 512345.11  | 2025931.54 | 922.5    | 8    |       |           |            |       |      |
| JP-38  | 512248.01  | 2026096.77 | 950      | 20.5 |       |           |            |       |      |
| JP-39  | 512233.97  | 2026071.31 | 951      | 14.5 |       |           |            |       |      |
| JP-40  | 512203.64  | 2026069.19 | 950      | 12   |       |           |            |       |      |
| JP-41  | 512126.46  | 2025968.35 | 952.5    | 19   |       |           |            |       |      |
| JP-42  | 512112.6   | 2026006.51 | 958      | 20.5 |       |           |            |       |      |
| JP-43  | 512130.31  | 2026076.12 | 969      | 12   |       |           |            |       |      |

## ANEXO V: Desviaciones

| SONDEO | DISTANCIA | AZIM | DIP |       |      |   |     |       |      |   |     |
|--------|-----------|------|-----|-------|------|---|-----|-------|------|---|-----|
| JP-01  | 0         | 0    | -90 | JP-23 | 0    | 0 | -90 | JP-44 | 0    | 0 | -90 |
| JP-01  | 17        | 0    | -90 | JP-23 | 13   | 0 | -90 | JP-44 | 17.5 | 0 | -90 |
| JP-02  | 0         | 0    | -90 | JP-24 | 0    | 0 | -90 | JP-45 | 0    | 0 | -90 |
| JP-02  | 20        | 0    | -90 | JP-24 | 20   | 0 | -90 | JP-45 | 12.2 | 0 | -90 |
| JP-03  | 0         | 0    | -90 | JP-25 | 0    | 0 | -90 | JP-46 | 0    | 0 | -90 |
| JP-03  | 15        | 0    | -90 | JP-25 | 18   | 0 | -90 | JP-46 | 12   | 0 | -90 |
| JP-04  | 0         | 0    | -90 | JP-26 | 0    | 0 | -90 | JP-47 | 0    | 0 | -90 |
| JP-04  | 19        | 0    | -90 | JP-26 | 12   | 0 | -90 | JP-47 | 13   | 0 | -90 |
| JP-05  | 0         | 0    | -90 | JP-27 | 0    | 0 | -90 | JP-48 | 0    | 0 | -90 |
| JP-05  | 21        | 0    | -90 | JP-27 | 10.3 | 0 | -90 | JP-48 | 8    | 0 | -90 |
| JP-07  | 0         | 0    | -90 | JP-28 | 0    | 0 | -90 | JP-49 | 0    | 0 | -90 |
| JP-07  | 21        | 0    | -90 | JP-28 | 7    | 0 | -90 | JP-49 | 11   | 0 | -90 |
| JP-08  | 0         | 0    | -90 | JP-29 | 0    | 0 | -90 | JP-50 | 0    | 0 | -90 |
| JP-08  | 20        | 0    | -90 | JP-29 | 8.5  | 0 | -90 | JP-50 | 14   | 0 | -90 |
| JP-09  | 0         | 0    | -90 | JP-30 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-09  | 15        | 0    | -90 | JP-30 | 13   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-10  | 0         | 0    | -90 | JP-31 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-10  | 18        | 0    | -90 | JP-31 | 15   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-11  | 0         | 0    | -90 | JP-32 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-11  | 15        | 0    | -90 | JP-32 | 17   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-12  | 0         | 0    | -90 | JP-33 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-12  | 10        | 0    | -90 | JP-33 | 20   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-13  | 0         | 0    | -90 | JP-34 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-13  | 20        | 0    | -90 | JP-34 | 20   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-14  | 0         | 0    | -90 | JP-35 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-14  | 20        | 0    | -90 | JP-35 | 14   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-15  | 0         | 0    | -90 | JP-36 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-15  | 13        | 0    | -90 | JP-36 | 14   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-16  | 0         | 0    | -90 | JP-37 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-16  | 20        | 0    | -90 | JP-37 | 8    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-17  | 0         | 0    | -90 | JP-38 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-17  | 20        | 0    | -90 | JP-38 | 20.5 | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-18  | 0         | 0    | -90 | JP-39 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-18  | 15        | 0    | -90 | JP-39 | 14.5 | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-19  | 0         | 0    | -90 | JP-40 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-19  | 15        | 0    | -90 | JP-40 | 12   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-20  | 0         | 0    | -90 | JP-41 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-20  | 15        | 0    | -90 | JP-41 | 19   | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-21  | 0         | 0    | -90 | JP-42 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-21  | 17        | 0    | -90 | JP-42 | 20.5 | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-22  | 0         | 0    | -90 | JP-43 | 0    | 0 | -90 |       |      |   |     |
| JP-22  | 13        | 0    | -90 | JP-43 | 12   | 0 | -90 |       |      |   |     |

## ANEXO VI: Litología

| SONDEOS | FROM | TO | ROCK    |       |      |      |         |
|---------|------|----|---------|-------|------|------|---------|
| JP-01   | 0    | 3  | CALIZA  | JP-25 | 0    | 9    | ARCILLA |
| JP-01   | 3    | 17 | OXIDO   | JP-25 | 9    | 18   | OXIDO   |
| JP-02   | 0    | 5  | CALIZA  | JP-26 | 0    | 6    | ARCILLA |
| JP-02   | 5    | 20 | OXIDO   | JP-26 | 6    | 12   | OXIDO   |
| JP-03   | 0    | 15 | CALIZA  | JP-27 | 0    | 0.3  | CALIZA  |
| JP-04   | 0    | 3  | ARCILLA | JP-27 | 0.3  | 10.3 | OXIDO   |
| JP-04   | 3    | 19 | CALIZA  | JP-28 | 0    | 7    | CALIZA  |
| JP-05   | 0    | 6  | CALIZA  | JP-29 | 0    | 8.5  | OXIDO   |
| JP-05   | 6    | 9  | ARCILLA | JP-30 | 0    | 1.5  | CALIZA  |
| JP-05   | 9    | 21 | OXIDO   | JP-30 | 1.5  | 13   | ARCILLA |
| JP-07   | 0    | 21 | OXIDO   | JP-31 | 0    | 15   | ARCILLA |
| JP-08   | 0    | 20 | CALIZA  | JP-32 | 0    | 17   | OXIDO   |
| JP-09   | 0    | 7  | ARCILLA | JP-33 | 0    | 12   | CALIZA  |
| JP-09   | 7    | 15 | OXIDO   | JP-33 | 12   | 20   | ARCILLA |
| JP-10   | 0    | 9  | CALIZA  | JP-34 | 0    | 20   | CALIZA  |
| JP-10   | 9    | 13 | ARCILLA | JP-35 | 0    | 14   | OXIDO   |
| JP-10   | 13   | 18 | OXIDO   | JP-36 | 0    | 14   | OXIDO   |
| JP-11   | 0    | 15 | OXIDO   | JP-37 | 0    | 8    | CALIZA  |
| JP-12   | 0    | 5  | ARCILLA | JP-38 | 0    | 5.5  | OXIDO   |
| JP-12   | 5    | 10 | OXIDO   | JP-38 | 5.5  | 13   | OXIDO   |
| JP-13   | 0    | 20 | CALIZA  | JP-38 | 13   | 20.5 | OXIDO   |
| JP-14   | 0    | 20 | ARCILLA | JP-39 | 0    | 9.2  | ARCILLA |
| JP-15   | 0    | 10 | ARCILLA | JP-39 | 9.2  | 14.5 | OXIDO   |
| JP-15   | 10   | 13 | OXIDO   | JP-40 | 0    | 12   | CALIZA  |
| JP-16   | 0    | 20 | CALIZA  | JP-41 | 0    | 3    | CALIZA  |
| JP-17   | 0    | 4  | CALIZA  | JP-41 | 3    | 19   | ARCILLA |
| JP-17   | 4    | 9  | ARCILLA | JP-42 | 0    | 20.5 | CALIZA  |
| JP-17   | 9    | 20 | OXIDO   | JP-43 | 0    | 1.8  | CALIZA  |
| JP-18   | 0    | 15 | OXIDO   | JP-43 | 1.8  | 12   | ARCILLA |
| JP-19   | 0    | 15 | OXIDO   | JP-44 | 0    | 12   | CALIZA  |
| JP-20   | 0    | 15 | OXIDO   | JP-44 | 12   | 17.5 | ARCILLA |
| JP-21   | 0    | 8  | ARCILLA | JP-45 | 0    | 12.2 | CALIZA  |
| JP-21   | 8    | 17 | OXIDO   | JP-46 | 0    | 1.8  | CALIZA  |
| JP-22   | 0    | 6  | ARCILLA | JP-46 | 1.8  | 12   | ARCILLA |
| JP-22   | 6    | 9  | OXIDO   | JP-47 | 0    | 5    | ARCILLA |
| JP-22   | 9    | 13 | ARCILLA | JP-47 | 5    | 12.3 | OXIDO   |
| JP-23   | 0    | 5  | CALIZA  | JP-47 | 12.3 | 13   | OXIDO   |
| JP-23   | 5    | 8  | ARCILLA | JP-48 | 0    | 4.8  | ARCILLA |
| JP-23   | 8    | 13 | OXIDO   | JP-48 | 4.8  | 8    | OXIDO   |
| JP-24   | 0    | 8  | CALIZA  | JP-49 | 0    | 6.8  | ARCILLA |
| JP-24   | 8    | 16 | ARCILLA | JP-49 | 6.8  | 11   | OXIDO   |
| JP-24   | 16   | 20 | OXIDO   | JP-50 | 0    | 9    | OXIDO   |

## ANEXO VII: Muestras

| SONDEOS | FROM | TO | -Al- | FEO | SIO2 | HUM |       |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|----|------|-----|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| JP-01   | 0    | 3  | 3    | 11  | 0    | 0   | JP-20 | 6    | 15   | 9    | 70   | 0    | 0    |
| JP-01   | 3    | 7  | 4    | 38  | 0    | 0   | JP-21 | 0    | 4    | 4    | 10   | 0    | 0    |
| JP-01   | 7    | 9  | 2    | 63  | 0    | 0   | JP-21 | 4    | 8    | 4    | 17   | 0    | 0    |
| JP-01   | 9    | 13 | 4    | 43  | 0    | 0   | JP-21 | 8    | 17   | 9    | 74   | 0    | 0    |
| JP-01   | 13   | 17 | 4    | 74  | 0    | 0   | JP-22 | 0    | 6    | 6    | 25   | 0    | 0    |
| JP-02   | 0    | 5  | 5    | 7   | 0    | 0   | JP-22 | 6    | 9    | 3    | 53   | 0    | 0    |
| JP-02   | 5    | 7  | 2    | 53  | 0    | 0   | JP-22 | 9    | 13   | 4    | 16   | 0    | 0    |
| JP-02   | 7    | 9  | 2    | 45  | 0    | 0   | JP-23 | 0    | 5    | 5    | 8    | 0    | 0    |
| JP-02   | 9    | 15 | 6    | 38  | 0    | 0   | JP-23 | 5    | 8    | 3    | 18   | 0    | 0    |
| JP-02   | 15   | 20 | 5    | 57  | 0    | 0   | JP-23 | 8    | 13   | 5    | 54   | 0    | 0    |
| JP-03   | 0    | 15 | 15   | 0   | 0    | 0   | JP-24 | 0    | 8    | 8    | 7    | 0    | 0    |
| JP-04   | 0    | 3  | 3    | 18  | 0    | 0   | JP-24 | 8    | 16   | 8    | 21   | 0    | 0    |
| JP-04   | 3    | 19 | 16   | 8   | 0    | 0   | JP-24 | 16   | 20   | 4    | 58   | 0    | 0    |
| JP-05   | 0    | 6  | 6    | 8   | 0    | 0   | JP-25 | 0    | 9    | 9    | 10   | 0    | 0    |
| JP-05   | 6    | 9  | 3    | 28  | 0    | 0   | JP-25 | 9    | 11   | 2    | 51   | 0    | 0    |
| JP-05   | 9    | 21 | 12   | 56  | 0    | 0   | JP-25 | 11   | 18   | 7    | 48   | 0    | 0    |
| JP-07   | 0    | 21 | 21   | 58  | 0    | 0   | JP-26 | 0    | 6    | 6    | 18.8 | 0.4  | 7.2  |
| JP-08   | 0    | 20 | 20   | 0   | 0    | 0   | JP-26 | 6    | 12   | 6    | 23.1 | 0.8  | 8.2  |
| JP-09   | 0    | 7  | 7    | 11  | 0    | 0   | JP-27 | 0    | 10.3 | 10.3 | 12.3 | 1.2  | 5.4  |
| JP-09   | 7    | 15 | 8    | 54  | 0    | 0   | JP-28 | 0    | 7    | 7    | 14   | 0.4  | 16.7 |
| JP-10   | 0    | 9  | 9    | 7   | 0    | 0   | JP-29 | 0    | 8.5  | 8.5  | 33.6 | 2.7  | 3.9  |
| JP-10   | 9    | 13 | 4    | 18  | 0    | 0   | JP-30 | 0    | 13   | 13   | 18.5 | 1.2  | 5.2  |
| JP-10   | 13   | 18 | 5    | 81  | 0    | 0   | JP-31 | 0    | 15   | 15   | 12.1 | 9.2  | 7.5  |
| JP-11   | 0    | 15 | 15   | 57  | 0    | 0   | JP-32 | 0    | 17   | 17   | 70.8 | 10   | 7.6  |
| JP-12   | 0    | 5  | 5    | 13  | 0    | 0   | JP-33 | 0    | 20   | 20   | 25.5 | 0.4  | 5.7  |
| JP-12   | 5    | 10 | 5    | 57  | 0    | 0   | JP-34 | 0    | 20   | 20   | 11.5 | 12.8 | 7.5  |
| JP-13   | 0    | 10 | 10   | 0   | 0    | 0   | JP-35 | 0    | 2.9  | 2.9  | 57.6 | 4.8  | 7.8  |
| JP-13   | 10   | 20 | 10   | 0   | 0    | 0   | JP-35 | 2.9  | 6.5  | 3.6  | 85.3 | 0.4  | 3.1  |
| JP-14   | 0    | 10 | 10   | 12  | 0    | 0   | JP-35 | 6.5  | 11.6 | 5.1  | 59.8 | 0.8  | 5.5  |
| JP-14   | 10   | 20 | 10   | 9   | 0    | 0   | JP-35 | 11.6 | 14   | 2.4  | 78.9 | 0.4  | 6.8  |
| JP-15   | 0    | 10 | 10   | 12  | 0    | 0   | JP-36 | 0    | 14   | 14   | 45.8 | 5.2  | 12.3 |
| JP-15   | 10   | 13 | 3    | 55  | 0    | 0   | JP-37 | 0    | 8    | 8    | 8.1  | 27.7 | 11.2 |
| JP-16   | 0    | 10 | 10   | 0   | 0    | 0   | JP-38 | 0    | 5.5  | 5.5  | 60.5 | 0.8  | 5.6  |
| JP-16   | 10   | 20 | 10   | 0   | 0    | 0   | JP-38 | 5.5  | 13   | 7.5  | 44.4 | 0.9  | 7.3  |
| JP-17   | 0    | 4  | 4    | 10  | 0    | 0   | JP-38 | 13   | 20.5 | 7.5  | 65   | 0.8  | 8.5  |
| JP-17   | 4    | 9  | 5    | 33  | 0    | 0   | JP-39 | 0    | 9.2  | 9.2  | 41   | 8.2  | 5.7  |
| JP-17   | 9    | 13 | 4    | 54  | 0    | 0   | JP-39 | 9.2  | 12   | 2.8  | 58.9 | 0.3  | 8.1  |
| JP-17   | 13   | 20 | 7    | 42  | 0    | 0   | JP-39 | 12   | 14.5 | 2.5  | 67.2 | 0.8  | 3.2  |
| JP-18   | 0    | 7  | 7    | 55  | 0    | 0   | JP-40 | 0    | 12   | 12   | 11.4 | 12.6 | 6.8  |
| JP-18   | 7    | 15 | 8    | 70  | 0    | 0   | JP-41 | 0    | 19   | 19   | 10.8 | 15.7 | 5.2  |
| JP-19   | 0    | 15 | 15   | 34  | 0    | 0   | JP-42 | 0    | 20.5 | 20.5 | 9.1  | 12.6 | 5.8  |
| JP-20   | 0    | 6  | 6    | 52  | 0    | 0   | JP-43 | 0    | 12   | 12   | 5.6  | 17   | 8.6  |

## ANEXO VII: Muestras

|       |      |      |      |      |      |     |
|-------|------|------|------|------|------|-----|
| JP-44 | 0    | 12   | 12   | 12   | 3.4  | 9   |
| JP-44 | 12   | 17.5 | 5.5  | 22.5 | 2.8  | 7.2 |
| JP-45 | 0    | 12.2 | 12.2 | 3.6  | 15.6 | 8.5 |
| JP-46 | 0    | 12   | 12   | 13.5 | 8.2  | 8.9 |
| JP-47 | 0    | 5    | 5    | 39.1 | 1.8  | 7.4 |
| JP-47 | 5    | 12.3 | 7.3  | 55.7 | 0.7  | 7.8 |
| JP-47 | 12.3 | 13   | 0.7  | 63.5 | 0.9  | 5.2 |
| JP-48 | 0    | 4.8  | 4.8  | 38.7 | 7.9  | 6.5 |
| JP-48 | 4.8  | 8    | 3.2  | 55.1 | 1.4  | 5.1 |
| JP-49 | 0    | 6.8  | 6.8  | 12.8 | 0.7  | 4.2 |
| JP-49 | 6.8  | 11   | 4.2  | 58.4 | 0.2  | 2.6 |
| JP-50 | 0    | 9    | 9    | 49   | 0.4  | 4.5 |
| JP-50 | 9    | 14   | 5    | 68   | 0.6  | 6.7 |

## ANEXO VIII: PUNTOS DE VALIDACIÓN

|    |                 |                 |                 |              |               |                |                   |                | Promedio       |              |              |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
|    | Distancia de in | Distancia de ir | Distancia de ir | Angulo entre | Angulo de buz | Potencia de In | Promedio Error    | Coeficiente Co | Nro. Datos Pro | Dist. Minima | Dist. Máxima |
| 1  | 60              | 48              | 5               | 0            | 0             | 2              | -0.00672074996749 | 0.432800       | 3.6522         | 13.4183      | 34.8315      |
| 2  | 70              | 48              | 5               | 0            | 0             | 2              | -0.03931162407035 | 0.430975       | 4.0000         | 13.4183      | 38.6896      |
| 3  | 50              | 48              | 5               | 0            | 0             | 2              | -0.16186144731284 | 0.427682       | 3.3043         | 13.6492      | 33.2154      |
| 4  | 60              | 50              | 5               | 0            | 0             | 2              | 0.05148194785217  | 0.432029       | 3.6957         | 13.4183      | 35.4463      |
| 5  | 60              | 46              | 5               | 0            | 0             | 2              | -0.18046652062367 | 0.422698       | 3.5217         | 13.6062      | 34.7396      |
| 6  | 60              | 48              | 4               | 0            | 0             | 2              | 2.75383766108361  | 0.367206       | 3.1739         | 11.6166      | 31.6344      |
| 7  | 60              | 48              | 6               | 0            | 0             | 2              | 1.04429250007685  | 0.432560       | 4.6087         | 11.5987      | 37.3230      |
| 8  | 60              | 48              | 5               | 45           | 0             | 2              | -0.00672074996749 | 0.432800       | 3.6522         | 13.4183      | 34.8315      |
| 9  | 60              | 48              | 5               | 0            | 45            | 2              | 8.13197654745092  | 0.307808       | 2.5217         | 7.1704       | 22.9649      |
| 10 | 60              | 48              | 5               | 0            | 0             | 3              | -0.06934261842407 | 0.417083       | 3.6522         | 13.4183      | 34.8315      |

Se realizaron mas iteraciones, estas son mostradas a manera de ejemplo. Puede apreciarse que, al variar la distancia del eje principal, el error aumenta ligeramente y la correlación baja. Lo mismo ocurre con el resto de los ejes, secundario y terciario. También se aprecia que la variación en los ángulos de buzamiento produce mayores errores, lo mismo que alterar la potencia del inverso a la distancia.

## ANEXO IX: FOTOGRAFIAS



Acarreo de material tumbado por el terremoto.



Construcción de rampa principal.



Pila de hematita en formación.