



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo

**Título: Modelo geométrico del yacimiento de cromita
podiforme "Victoria II".**

Diplomante:

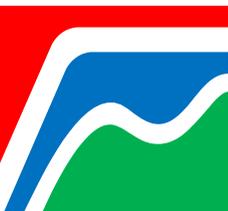
Ismerai Matos Cala

Tutor (es):

MSc. Iván Barea Pérez

Ing. Gleurides Rodríguez Martínez

Moa, 2016



Agradecimientos

- ✚ A Dios porque todo lo que soy y lo que he logrado es porque él lo ha querido, le agradezco infinitamente el haber sido mi guía y guardador en todos estos años.
- ✚ A mi madre Rafaela Cala por ser mi ejemplo a seguir y uno de los motivos por los que estoy en pie, a mi padre Daniel Matos por haberme dado la vida y a mi hermana Melisa por ser mi alegría.
- ✚ A mi tía Maritza Cala por haberme aportado todo lo necesario para yo cursar mis estudios satisfactoriamente y a toda mi familia materna por estar presente en los momentos que he tenido de dificultad.
- ✚ A mi esposo Yonni Bartelemi por permanecer a mi lado en estos cinco de años de esfuerzo y sacrificio, y a toda su familia, en especial a sus padres por estar pendiente siempre de mí.
- ✚ A Alfredo Johnson Santiago y a su familia por haberme brindado su atención, dedicación y enseñarme todo lo que sé de Modelación Geológica.
- ✚ A mis compañeros de aula por soportarme y hacerme disfrutar de 5 años de alegría.
- ✚ A todos los profesores que desde la primaria me vieron crecer y me formaron, en especial a los profesores de la universidad que fueron comprensivos y me enseñaron el arte de la geología, en especial al profesor Nicolás Muñoz y a mi tutor Iván Barea Pérez.
- ✚ A los compañeros de la división Geología-Minas de la Empresa CEPRONIQUEL, en especial a Yoennis Romero, Idermis Téllez, Eliasí Guilarte y a mi tutor Gleurides Rodríguez por haber puesto en mis manos este tema de tesis y por haber dedicado parte de su preciado tiempo a atenderme.
- ✚ A todos aquellos estudiantes o profesores que quisieron pararme o hacerme tropezar porque gracias a ellos me he hecho fuerte en medio de la dificultad.
- ✚ A todos los que han sabido ser mis mejores amigos, en especial a Daimara Jiménez y Daylen Reyes Almira y a todos los que han hecho posible que esta tesis se haya realizado satisfactoriamente.

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada con mucho amor y cariño:

- ✚ A mi madre Rafaela Cala Guilarte, pues gracias a su amor y empeño hoy soy una mujer apasionada y dedicada a todo lo que me propongo hacer.
- ✚ A mi tía Maritza Cala que ha dedicado su vida a apoyarme.
- ✚ A mi abuelo P. Roberto Cala Guilarte que desde el cielo disfruta conmigo cada momento feliz.
- ✚ A mis abuelas Idelsa Martín y Blanca Luz Guilarte, porque aún están a mi lado.
- ✚ A mis tías Aurora Cala y Ulía Nova Cala, por ser pilares de oración en mi camino.
- ✚ A mis profesores.
- ✚ A mis compañeros de estudio.
- ✚ A todas aquellas personas que de una manera u otra me han apoyado y aportado en todos estos años de estudio.

Pensamientos

"Mejor es adquirir sabiduría que oro preciado; y adquirir inteligencia vale más que la plata."

Proverbios 16: 16

"El corazón del entendido adquiere sabiduría, y el oído de los sabios busca la ciencia".

Proverbios 18: 15

"Con Dios está la sabiduría y el poder; suyo es el consejo y la inteligencia".

Job 28: 28

"Cuando la sabiduría entrare en tu corazón, y la ciencia fuere grata a tu alma, la discreción te guardará; te preservará la inteligencia".

Proverbios 2: 10-11

"Aquel que se basa en el conocimiento de lo pasado, gobierna la existencia presente y es capaz de comprender los orígenes de todo. Este es el eterno comienzo del principio".

Chuang-Tse

"Se conoce el corazón del hombre por lo que hace, y su sabiduría, por lo que dice".

Taleb

"Los labios de la sabiduría permanecen cerrados, excepto para el oído capaz de comprender".

El Kybalio

Resumen

La presente investigación titulada: "Modelación geométrica del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II", se realizó con el objetivo de modelar los diferentes tipos de rocas que conforman el yacimiento. Para ello se ajustó primeramente el modelo descriptivo-teórico donde se tuvieron en cuenta aspectos esenciales que permitieron realizar la modelación geométrica.

Se correlacionaron los diferentes tipos de rocas en dos dimensiones (2D) y se crearon los sólidos de representación de las litologías en tres dimensiones (3D). La modelación geométrica del yacimiento permitió detallar aspectos como la forma, continuidad, grado de acuñamiento y la relación geólogo-estructural de los diferentes tipos de rocas.

El modelo geométrico que se presenta en esta investigación permitirá optimizar la explotación racional de los recursos. La forma en que yacen y se comportan las rocas determinará el método de extracción minera a desarrollar en el yacimiento.

Summary

The present titled investigation: "Geometric Model of deposit chromite podiform Victoria II", it was carried out with the objective of modeling the different types of rocks that conforms the geology deposit. Firstly it was adjusted the descriptive-theoretical that was permitted the geometric model.

The different types of rocks were correlated in two dimensions (2D) and the solids of representation were created in three dimensions (3D). The geometric model of geology deposit allowed to gives aspects like the form, continuity, and the geologist-structural relations of the different types of rocks. The model allows to optimize the exploitation of the resources. The form in that lie and the rocks comport it determines the method of mining extraction to develop in the geology deposit.

Índice:

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 1 |
| Fundamento teórico conceptual de la modelación geológica | 3 |
| Antecedentes sobre la modelación geológica..... | 5 |
| Capítulo I: Características físico-geográficas y geológicas de la región y área de estudio. | 7 |
| 1.1 Introducción | 7 |
| 1.2 Rasgos físico-geográficos de la región y área de estudio..... | 7 |
| Ubicación geográfica..... | 7 |
| Principales rasgos económicos y recursos minerales | 8 |
| Condiciones climatológicas | 9 |
| Red hidrográfica..... | 9 |
| Relieve del territorio | 9 |
| 1.3 Situación Tectónico – Estructural Regional | 10 |
| 1.4 Características geológicas regionales | 11 |
| Complejo Ofiolítico de Camagüey..... | 13 |
| 1.5 Caracterización de los yacimientos y manifestaciones de cromitas en la región..... | 16 |
| 1.6 Investigaciones geológicas precedentes en la región de estudio de la Asociación ofiolítica. | 17 |
| 1.7 Conclusiones | 20 |
| Capítulo II: Metodología de la investigación | 21 |
| 2.1 Introducción | 21 |
| 2.2 Metodología de la investigación..... | 21 |
| 2.3 Etapa Preliminar | 22 |
| 2.4 Etapa de Procesamiento..... | 23 |
| 2.4.1 Procesamiento de la Base de Datos en Gemcom..... | 24 |
| 2.4.2 Modelación Digital del Terreno..... | 28 |
| 2.4.3 Correlación litológica entre pozos de perforación | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.4 Modelación de los sólidos de los cuerpos geológicos | 32 |
| 2.5 Etapa Final..... | 33 |
| 2.6 Conclusiones | 34 |
| Capítulo III: Modelación geométrica del yacimiento de cromita podiforme | |
| "Victoria II" | 35 |
| 3.1 Introducción | 35 |
| 3.2 Presentación del Modelo Descriptivo Teórico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II". | 35 |
| 3.3 Interpretación de los perfiles geológicos..... | 44 |
| Interpretación del perfil geológico II-vertical | 44 |
| Interpretación del perfil geológico III-vertical | 47 |
| Interpretación del perfil geológico IV-vertical..... | 50 |
| Interpretación del perfil geológico II-inclinado | 53 |
| 3.4 Presentación del modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II". | 55 |
| 3.5 Morfología y estructura de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita..... | 56 |
| Morfología y estructura del cuerpo de cromita | 56 |
| Morfología y estructura de la dunita | 58 |
| Morfología y estructura de la peridotita | 60 |
| Morfología y estructura de la serpentinita | 61 |
| Morfología y estructura de los gabros | 63 |
| Conclusiones | 65 |
| Recomendaciones | 66 |
| Bibliografía | 67 |
| Anexos de figura | 72 |
| Anexos de tabla | 85 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura No 1: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (encerrado en el recuadro: Límites del yacimiento "Victoria II"). Escala 1:5 000. ----- | 8 |
| Figura No 2: Mapa geológico(a) y perfil simplificado (b) de Cuba Central donde se ilustran las relaciones entre las rocas de Arco de Islas Volcánicas, el Margen Continental y los Complejos máfico-ultramáfico según (Iturralde-Vinent, 2012). - | 12 |
| Figura No 3: Representación de la columna litológica del Complejo Ofiolítico de Camagüey, Cuba según (Iturralde –Vinent 1989) ;(Iturralde-Vinent, 1990). ----- | 14 |
| Figura No 4: Mapa geológico de la región de estudio, escala 1: 50 000, encerrado en recuadro rojo límites del yacimiento "Victoria II", tomado de (Ramírez-Durán; et. al., 2014). ----- | 15 |
| Figura No 5: Esquema de representación de la metodología de la investigación. ----- | 21 |
| Figura No 6: Tabla que presenta los campos a utilizar para cada fichero en la base de datos. ----- | 25 |
| Figura No 7: Tabla que presenta los ficheros que conforman la base de datos en el Gemcom.----- | 26 |
| Figura No 8: Representación de los pozos de perforación desplegados en el espacio tridimensional. ----- | 27 |
| Figura No 9: Superficie del modelo digital del terreno en 3D.----- | 28 |
| Figura No 10: Perfil-I de pozos inclinados que presenta la creación de los límites del cuerpo de cromita. ----- | 29 |
| Figura No 11: Perfil II-vertical que presenta la digitalización de los polígonos geológicos de representación de la roca peridotítica. ----- | 30 |
| Figura No 12: Perfil II-vertical que presenta las polyline de representación de las fallas geológicas y los diferentes tipos de rocas. ----- | 31 |
| Figura No 13: Representación de las polylines de representación de los diferentes tipos de rocas desplegadas en el espacio tridimensional. ----- | 32 |
| Figura No 14: Representación del Perfil II-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000. ----- | 45 |
| Figura No 15: Representación del Perfil III-vertical en 2D en dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000. ----- | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura No 16: Representación del Perfil IV-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000. | 51 |
| Figura No 17: Representación del Perfil II-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala del modelo 1: 1000. | 53 |
| Figura No 18: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 55 |
| Figura No 19: Modelo geométrico del cuerpo de cromita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 57 |
| Figura No 20: Modelo geométrico del cuerpo de dunita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 59 |
| Figura No 21: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 60 |
| Figura No 22: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 62 |
| Figura No 23: Modelo geométrico de los cuerpos de gabro del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000. | 63 |

Índice de anexos de figuras

| | |
|---|----|
| Anexo de figura 1: Representación de los perfiles verticales y transversales con direcciones SW-NE y SW-NE respectivamente. | 72 |
| Anexo de figura 2: Representación del Perfil I-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala 1:1.000. | 72 |
| Anexo de figura 3: Representación del Perfil V-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala 1:1.000. | 73 |
| Anexo de figura 4: Representación del Perfil I-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000. | 73 |
| Anexo de figura 5: Representación del Perfil III-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000. | 74 |
| Anexo de figura 6: Representación del Perfil IV-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000. | 74 |
| Anexo de figura 7: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1: 1000. | 75 |

| | |
|--|----|
| Anexo de figura 8: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 75 |
| Anexo de figura 9: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 76 |
| Anexo de figura 10: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000..... | 76 |
| Anexo de figura 11: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000..... | 77 |
| Anexo de figura 12: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 77 |
| Anexo de figura 13: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000..... | 78 |
| Anexo de figura 14: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000..... | 78 |
| Anexo de figura 15: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000..... | 79 |
| Anexo de figura 16: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 79 |
| Anexo de figura 17: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000..... | 80 |
| Anexo de figura 18: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 80 |
| Anexo de figura 19: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW. Escala del modelo 1.1000. | 81 |
| Anexo de figura 20: Modelo geométrico de los cuerpos de gabros del yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 81 |
| Anexo de figura 21: Modelo geométrico de los cuerpos de gabros en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000. | 82 |
| Anexo de figura 22: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000..... | 82 |

| | |
|--|----|
| Anexo de figura 23: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000. | 83 |
| Anexo de figura 24: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000. | 83 |
| Anexo de figura 25: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000. | 84 |
| Anexo de figura 26: Mapa geológico del área que ocupa el yacimiento de cromita podiforme "Victoria II". Escala del mapa 1.1000..... | 84 |

Índice de anexo de tabla

| | |
|---|----|
| Anexo de tabla 1: Direcciones de buzamientos preferenciales de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil I-vertical. | 85 |
| Anexo de tabla 2: Direcciones de buzamientos preferenciales de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil II-vertical. | 86 |
| Anexo de tabla 3: Direcciones preferenciales de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil III-vertical. | 88 |
| Anexo de tabla 4: Direcciones preferenciales de buzamiento de las fallas geológicas por orden de formación en la zona del perfil III-vertical..... | 89 |
| Anexo de tabla 5: Dirección preferencial de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil IV-vertical..... | 90 |
| Anexo de tabla 6: Dirección preferencial de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil V-vertical..... | 92 |

Introducción

La modelación de yacimientos minerales es una concepción nueva, desde el punto de vista del desarrollo que ha tenido, aparejado al florecimiento de las técnicas informáticas. La cual enfoca todo lo relacionado con el desarrollo de un proyecto minero de forma integral, su alcance va desde el reconocimiento geológico hasta el cierre de la mina, aunque su máximo desarrollo se alcanza durante la exploración detallada y la explotación del yacimiento.

La exploración se basa en el análisis de la información geológica disponible, permitiendo generar nueva información a partir del análisis integral de un mínimo de información existente, empleando para ello las técnicas de análisis más eficientes. Durante la explotación de yacimientos minerales, la modelación geológica permite realizar una minería más económica, eficiente y sostenible basada en el amplio conocimiento geológico del yacimiento, integrado al conocimiento técnico. De forma indirecta la modelación brinda una herramienta para disminuir los costos y aumentar la calidad de la minería a través de decisiones óptimas en función del conocimiento geológico, estas decisiones pueden ser a corto, mediano y largo plazo (Pérez-Cisnero, 2014).

En la etapa neocolonial en Cuba, gran parte de nuestro patrimonio geológico fue investigado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey), con el objetivo de explotar las riquezas minerales. Dentro del marco de sus investigaciones se realizaron dos campañas de búsquedas concretas de cuerpos cromíticos en los años 1942-1943 y 1954-1956 en la región central del país, actualmente provincia Camagüey. Gran parte de los yacimientos fueron explotados en superficie pero, por falta de tecnología y poco conocimiento de la geología regional quedaron sin explotar cuerpos cromíferos en profundidad. Después del triunfo de la revolución nuevas campañas geológicas empezaron a realizarse en todo el país.

En el año 1983 se realizó el proyecto Técnico-Económico-Organizativo para la Búsqueda Detallada de Cromitas en algunos sectores de la región de Camagüey, que sirvió de base para continuos trabajos geólogo-geofísicos a escala 1:50 000/1:10 000 en un área total de 20 km² realizados en 1987. En estos trabajos se dividió la región en varias zonas mineralizadas incluyendo la zona Victoria confirmándose la existencia de dos nuevos yacimientos, minerales "Victoria I" y

"Victoria II". El cuerpo mineral "Victoria II" presenta condiciones que lo hacen atractivo para la explotación, debido a sus características geológicas, su acceso y cercanía a la planta de procesamiento y al cuerpo mineral "Victoria I" (350 m). En los años 2012-2013 se realizó la exploración detallada del yacimiento (Torres-Viamontes; et. al., 2011) con el fin de caracterizar la materia prima y asegurar reservas para que una vez concluida la explotación en los yacimientos "Mamina" y "Victoria I" incorporar dicha materia prima a la planta de beneficio.

Aun así después del desarrollo de estas investigaciones persisten interrogantes dentro del marco geológico del yacimiento como: la forma, contorneo del cuerpo de cromita en los flancos hacia el noroeste (NW) y sureste (SE), situación tectónica-estructural del yacimiento, la causa del cambio de rumbo y comportamiento de las rocas de caja con el cuerpo cromífero.

Los resultados obtenidos por los trabajos de exploración en el yacimiento sugieren la proyección de nuevos trabajos para la profundización de las características geológicas. Teniendo en cuenta las interrogantes antes formuladas, las cuales dieron lugar a la presente investigación, por lo que se plantea el siguiente problema.

Problema: necesidad de modelar geoméricamente el yacimiento de cromita podiforme "Victoria II".

Objetivo: modelar geoméricamente el yacimiento de cromita podiforme "Victoria II".

Objeto de estudio: El yacimiento de cromita podiforme "Victoria II".

Objetivos Específicos:

1. Ajustar el modelo descriptivo del yacimiento
2. Correlacionar las litologías entre pozos
3. Crear los sólidos que representan las diferentes litologías

Hipótesis: si se ajusta el modelo descriptivo del yacimiento, analizan y procesan las bases de datos, entonces se podrá modelar geoméricamente los diferentes tipos de rocas y el cuerpo de cromita del yacimiento "Victoria II".

Fundamento teórico conceptual de la modelación geológica

Existen muchas concepciones diferentes de modelo geológico, cada una con fines de exploración, cálculo de reserva u optimización minera (Chica, 1989; David, 1984); (Grunsky, 1995); (Barton, 1986); (Ariosa-Iznaga, 2002a); (Díaz-Martínez; Njila y Proenza-Fernández, 2007) pero a pesar de la amplitud de criterios todos coinciden en muchos aspectos.

Según (Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001; Barton, 1986; Cox y Singer, 1986) el término de “**modelo**” consiste en una duplicación física de la forma de un objeto, que explica o describe un fenómeno complejo. Para (David; Dagbert y Valléc, 1991) la modelación consisten en establecer las continuidades, la distribución y los límites, estableciendo una zona discreta o cuerpo para ello. Los modelos tridimensionales cumplen estas tareas y se realizan con el objetivo de definir los rasgos geométricos que caracterizan a un depósito mineral.

Para el conocimiento y profundización en la conceptualización de los modelos geológicos se toma como punto de partida en esta investigación la clasificación planteada por (Martínez-Vargas y Perez-Martínez, 2000). Ellos dividen el modelo geológico en tres partes fundamentales: modelo geólogo-descriptivo-genético, modelo geométrico y modelo matemático.

Estos tipos de modelos funcionan como un todo, están estrechamente relacionados. En su conjunto explican las particularidades del yacimiento lográndose la estimación y optimización de los recursos analizado de forma eficaz. Para la prospección de yacimientos minerales es necesaria la aplicación de todos, según los objetivos que se persigan y la etapa de estudio en que se encuentra el yacimiento (Ariosa-Iznaga, 2002b).

Esta investigación pretende la presentación de un modelo geométrico que permita la optimización de los recursos a minar, para una mejor planificación de la minería en el yacimiento, permitiendo detallar la situación geólogo-estructural en que se enmarca. Para ello es necesario ajustar el modelo descriptivo del yacimiento que aporte aspectos esenciales sobre la geología, que permita una mejor preparación del modelo geométrico.

Los modelos geológicos se elaboran a partir de la recopilación de datos ya existentes y/o de adquisición de nuevos datos provenientes de los trabajos de

campo, sondeos y análisis de muestras, etc. Los datos recopilados se homogeneizan y se ordenan en sistemas de información o bases de datos (Martínez-Vargas y Perez-Martinez, 2000). El análisis de esta información permite generar modelos geológicos utilizando para ello softwares informáticos, que son simplemente una herramienta que permite modelar de forma integral y eficiente.

El modelo geométrico tiene como objetivo separar el yacimiento de las rocas de caja y a su vez subdividir el yacimiento por subzona según límites espaciales, adaptados a las necesidades que se persiguen (Martínez-Vargas y Perez-Martinez, 2000). Según (David; Dagbert y Valléc, 1991) los límites de un yacimiento pueden ser de dos tipos, en dependencia de su naturaleza:

Límites Primarios: son límites explícitos, que se corresponden con la litología, los rasgos estructurales tridimensionales o cambios bruscos en la mineralización observada, estos son considerados como límites físicos.

Límites Secundarios: son aquellos que se determinan a través del comportamiento de los elementos químicos.

Para la subdivisión de los límites físicos juega un papel esencial el mapeo geológico y la perforación, así como la utilización de herramientas geofísicas. Esta investigación refleja un modelo geométrico de representación del yacimiento según límites físicos, que abarca la delimitación de los rasgos estructurales tridimensionales que se corresponden con los diferentes tipos de rocas.

El modelo geométrico es una figura que reúne todas las características tipológicas de un yacimiento, una representación idealizada y simplificada de la realidad (Pérez-Cisnero, 2014).

Para el autor de esta investigación aplicando los conceptos de modelación a los objetivos trazados en ella se puede decir que el modelo geométrico del yacimiento mineral *"es un modelo geológico donde se representa la realidad en 2D y 3D con bajo por ciento de incertidumbre de cada tipo de roca"*.

Antecedentes sobre la modelación geológica

La modelación geológica es para muchos una concepción nueva, porque ha florecido mayoritariamente a partir de la década de los setenta, con el desarrollo de los métodos geoestadísticos y la aparición de nuevas técnicas informáticas. Pero la modelación geológica viene de mucho más atrás, cuando el geólogo no contaba con métodos computacionales y usaba solo pluma y papel para representar el objeto en cuestión. Usando para su creación la información de pozos de perforación o las técnicas geofísicas.

La modelación de yacimientos minerales surge en los años de la década de 1970 hasta su definitiva implantación con los trabajos básicos del Servicio Geológico de los Estados Unidos a partir del 1983 y posteriormente su continuidad por el Servicio Geológico de Columbia Británica en Canadá. Les siguieron otros países hasta el surgimiento del Programa de Modelación de Yacimientos auspiciado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas -IUGS en el año 1984.

La modelación tiene como cuna las principales potencias mineras y económicas del mundo, países como, Francia y Canadá acogieron en sus centros de investigación a los así nombrados “padres de la geoestadística”, entre los que se destacan, (David, 1977; Matheron, 1963; Matheron, 1971) y otros.

Para la evaluación y estimación de los recursos se han desarrollado varios métodos de modelación: el descrito por (Kilby, 1995) y (Grunsky, 1995) quienes se basaron en la Metodología de Evaluación de las Tres Partes y el Modelo Clásico de Bloques planteado por Lerchs Grossmann en 1964, llevado a cabo en 1982 por Peter Stokes que fue el primero en presentar el primer modelo computarizado.

Los modelos de ley-tonelaje fueron desarrollados por (Singer; Mosier y Menzie, 1993) basados en los modelos de ley-tonelaje elaborados por (Cox y Singer, 1986), (Bliss, 1992; Mosier y Page, 1988). Estos tipos de modelos son útiles en la evaluación cuantitativa de los recursos y en el planeamiento de la exploración. Actualmente los países ya mencionados precursores de la modelación y dueños de la tecnología necesaria para ejecutarla son los que llevan la cabecera en su aplicación.

Con el fortalecimiento de las relaciones de inversiones mineras extranjeras se han multiplicado en el tercer mundo, transfiriendo de esta manera parte de las tecnologías y el conocimiento científico. Cuba tiene una situación similar a la del resto del tercer mundo. Solo con carácter muy localizado se realizan investigaciones en este campo, relacionadas con los trabajos de exploración y explotación de importantes materias primas.

En la actualidad se comienzan a dar los primeros pasos en la aplicación eficiente, y organizada a niveles empresariales, de estas técnicas que ya se ha implementado en la minería. Este es el caso de los trabajos de modelación de yacimientos lateríticos por parte de las Empresas "Pedro Sotto Alba", "Comandante Ernesto Che Guevara" y la "Empresa de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL)" en Moa.

Se destacan los trabajos de (Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001) que introducen la modelación descriptiva para los yacimientos ferroniquelíferos del nordeste de Cuba, otros trabajos (Ariosa-Iznaga, 2002a; Ariosa-Iznaga y Díaz-Martínez, 2001; Martínez-Cardoso, 2007; Martínez-Vargas y Pérez-Martínez, 2000; Yohnson-Santiago, 2009)

Como parte de la modelación de yacimientos de cromitas podiformes se conocen pocos trabajos. Es el caso de la modelación descriptiva del yacimiento Potosí del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa, realizada por (Muños-Gómez, 2002) pero más bien dirigidos a la modelación de tipo geólogo-descriptiva.

Se destaca el trabajo de (Díaz-Martínez; Njila y Proenza-Fernández, 2007) el cual propone un modelo descriptivo y de ley-tonelaje para pronosticar depósitos de cromitas no descubiertos mediante el análisis y comparación de 42 depósitos de cromitas pertenecientes a los distritos mineros del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa.

Actualmente se utilizan los modelos de yacimientos característicos para distintos ambientes geotectónicos y de distintas denominaciones. Se descubren nuevos modelos de expresión geofísica y los geoambientales que constituyen el aporte moderno de la modelación de yacimientos en su orientación de protección del medio ambiente (Ariosa-Iznaga, 2002b).

Capítulo I: Características físico-geográficas y geológicas de la región y área de estudio.

1.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo exponer los rasgos y características físicos –geográficas y geológicas de la región de estudio. Se plantean las características tectónicas y geológicas del complejo ofiolítico de Camagüey donde se enmarca el yacimiento en estudio. Además de una caracterización general de los yacimientos de cromitas en la región que sirven de base para conocer de manera regional la génesis y el ambiente de formación de estos tipos de yacimientos. Se dedica un epígrafe para mencionar algunos trabajos e investigaciones antecedentes relacionadas con los yacimientos de cromitas asociados al complejo ofiolítico en la región de Camagüey.

1.2 Rasgos físico-geográficos de la región y área de estudio

Ubicación geográfica

El yacimiento se ubica al noreste (NE) de la ciudad de Camagüey, se localiza a 350 metros al este-noreste del yacimiento "Victoria I" en la hoja topográfica "Minas", escala 1:50 000 No. 4680-II, queda enmarcado en el polígono cuyos vértices se muestran en la tabla 1.2 y representado en la foto No.1, abarcando un área de 2.0 ha, los límites pertenecen al sistema de coordenadas Cónicas Lambert Cuba norte.

Tabla 1.2. Límites del yacimiento "Victoria II".

| VERTICE | NORTE | ESTE |
|---------|--------|--------|
| 1 | 188300 | 839000 |
| 2 | 188300 | 839200 |
| 3 | 188200 | 839200 |
| 4 | 188200 | 839000 |

El yacimiento "Victoria II", se caracteriza por su accesibilidad a partir del km 22 de la carretera de Nuevitas por un terraplén que se dirige a la presa "Montecito". El municipio Minas se encuentra a 12 Km al este-noreste, por carretera y por ferrocarril "Camagüey-Nuevitas".

La antigua cantera “Victoria”, está situada a escasos metros de la zona de estudio entre 150 - 200 m, de donde se extrajo mineral cromítico antes del Triunfo de la Revolución, actualmente inundada (Ramírez-Durán; et. al., 2014).



Figura No 1: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (encerrado en el recuadro: Límites del yacimiento "Victoria II"). Escala 1:5 000.

Principales rasgos económicos y recursos minerales

La economía de la región de Camagüey se basa fundamentalmente en el turismo, la biotecnología, el cultivo de la caña de azúcar, el arroz y su procesamiento, la ganadería y los cultivos menores. Existen perspectivas para el desarrollo de la industria minera del cromo, el oro y el níquel, actualmente una industria del cemento se encuentra en producción. En Camagüey se conocen más de 350 yacimientos y manifestaciones de cromita, algunos de ellos explotados total o parcialmente.

Los terrenos que ocupan los depósitos minerales son de propiedad estatal y la vegetación predominante es el marabú. En la actualidad se están demoliendo para la siembra de cultivos menores en el marco del desarrollo de la agricultura

suburbana. Existen además plantaciones de cultivos menores y frutales. La gran mayoría de estos depósitos minerales fueron descubiertos porque afloraban en la superficie. Constituyen una evidencia acerca de las posibilidades geológicas de la región para el hallazgo de nuevos depósitos minerales de cromitas podiformes.

La aflorabilidad del área es media, existen algunos afloramientos naturales y un gran número de afloramientos artificiales como resultado de antiguas minas y canteras, que permiten el estudio de los diferentes complejos de la asociación ofiolítica y que sirven de índices para la búsqueda de cuerpos minerales asociados a los mismos (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

Condiciones climatológicas

La provincia de Camagüey se encuentra en la zona central del país, es la mayor provincia de Cuba y la más llana, con una superficie total de 15 990,1 km². El clima es tropical húmedo, con dos estaciones anuales, el invierno (noviembre-febrero), con temperatura media de 23° y el verano (marzo-octubre) con temperatura media de 32°, la temperatura promedio anual es de 24,7° C.

El promedio de mínimas más bajas es en enero con 18.6° C y el de máxima, agosto con 33.1° C. Existe además un período lluvioso en los meses de mayo-octubre y un período seco desde noviembre hasta abril. Las precipitaciones en el año alcanzan hasta 1400 mm.

Red hidrográfica

La red hidrográfica está poco desarrollada, existen una serie de ríos y arroyos fundamentalmente intermitentes, formando parte de esta, en la zona de estudio el arroyo "Santa Cruz" y sus afluentes y el arroyo "Salvial" y sus afluentes al nortee-oreste, del yacimiento.

Relieve del territorio

El relieve de la región es generalmente llano, con valores de cotas entre 48 m a 80 m, en ocasiones se presenta ligeramente ondulado, con algunas elevaciones como "Loma Yucatán", "Loma Sin Nombre", "Loma La Entrada", "Loma Bayatabo"

y "Loma Las Aguas" que alcanzan alturas desde 122 m a 180 m, debiendo su existencia a la presencia en ellas de rocas silíceas y gábricas muy resistentes a la erosión. La Sierra de Cubitas limita por al norte del macizo ofiolítico y su punto más alto es el Cerro Tuabaquey (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

1.3 Situación Tectónico – Estructural Regional

El conjunto tectono-estratigráfico que conforma la geología actual de la isla de Cuba, la hacen distintiva y novedosa. Es evidente la diferencia en los estilos tectónicos y las características de las secuencias rocosas de las ofiolitas ampliamente desarrolladas en la porción NE de Cuba centro-oriental.

Todo el conjunto aparece deformado debido al proceso de colisión (Blanco, 1999; Díaz; Furrázola-Bermúdez y Iturralde-Vinent, 1997; Pindell, 1994) y (Mann; et. al., 1995) entre el Arco de Isla Volcánico Cretácico y las ofiolitas con las rocas del Paleomargen Continental. Lo que provocó la obducción del cinturón ofiolítico de un mar marginal, desde fines del Cretácico Superior al Eoceno Medio, con el correspondiente desarrollo de plegamiento y cabalgamientos en dirección septentrional (NE), con magnitudes diferentes de desplazamiento.

Originándose así fallas de deslizamiento por el rumbo (Sistema de fallas "Trocha, Camagüey y Tunas") que provoca que las rocas del arco de isla estén sobrecorridas sobre el paleomargen meridional de América del Norte (Pindell, 1994); (Blanco-Moreno y Proenza-Fernández, 2000).

Como consecuencia de las relaciones tectónicas entre las diferentes estructuras geológicas implicadas en la obducción y colisión, se desarrollaron importantes cuencas transportadas, sistema de cuencas de antepaís y cuencas tensionales. En Camagüey, los cuerpos de vulcanitas y ofiolitas están íntimamente mezclados, el alóctono ofiolítico está formado, de modo que el manto inferior contiene terrenos de Placetas (Sierra de Camaján), y el manto superior elementos alóctonos del arco volcánico (ver figura 2) según (Iturralde-Vinent, 1998). Toda la estructura del complejo ofiolítico cabalga sobre los sedimentos mesozoicos de la Plataforma Norteamericana (Henares; et. al., 2009)

El esfuerzo tectónico durante la formación de las ofiolitas y su emplazamiento definió la posición alóctona actual del macizo ofiolítico de Camagüey y determinó

la destrucción de las condiciones de yacencia primarias (Blanco-Moreno y Proenza-Fernández, 2000). El complejo ofiolítico de Camagüey presenta una morfología en forma de arco que se extiende a lo largo de 1200 km². Está formado por dos estructuras antiformes, en las cuales se reconoce una secuencia ofiolítica casi completa.

La asociación ofiolítica de Camagüey está caracterizada por una estructura de pliegues. Las estructuras anticlinales y sinclinales en combinación con elementos disyuntivos tectónicos y desplazamiento de bloques forman la causa para la presencia de los diferentes complejos de la asociación ofiolítica. Los cuales se comportan uno al lado del otro y se encuentran en un perfil tectónicamente no transformado en sucesión vertical.

En correspondencia con la subdivisión de las ofiolitas en estructuras anticlinales y sinclinales existe una subdivisión del territorio en una parte occidental y otra oriental. Las dos partes estructurales distintas están delimitadas por un sistema de fallas disyuntivas.

La parte occidental del macizo ofiolítico está formada por una estructura anticlinal en la que se representan litologías del corte más profundo de la asociación ofiolítica, compuesta en lo esencial por rocas del Complejo Peridotítico. En la parte oriental del complejo lo caracterizan estructuras de tipo sinclinal, en el centro de la estructura afloran las partes jóvenes y más altas del perfil de la asociación ofiolítica como son: los Complejos Cumulativo y Efusivo –Sedimentario.

1.4 Características geológicas regionales

En la región de Camagüey las principales unidades geológicas que están presentes son: el Margen Continental de la Plataforma de las Bahamas, el Complejo Ofiolítico Máfico-Ultramáfico, la Asociación Vulcano–Plutónica del Arco Insular y las Asociaciones Sedimentarias posteriores, (ver figuras 2).

Los yacimientos de cromita en la región se enmarcan dentro de las rocas del complejo ofiolítico. Desde el punto de vista regional las ofiolitas contactan al norte con rocas sedimentarias calizas, calizas biogénicas, siliciras, evaporitas y otras pertenecientes al Margen Continental de la Plataforma de Bahamas. Dichas rocas constituyen un cinturón de rocas deformadas con rumbo NW-SE de edad Jurásico

a Eoceno mayoritariamente sedimentarias. Parte de estas rocas sedimentarias se encuentran progresivamente hacia el NW despegadas entre sí formando lentes tectónicas alargados, embebidos en las serpentinitas foliadas y trituradas (Iturralde-Vinent, 1998; Iturralde-Vinent, 2012).

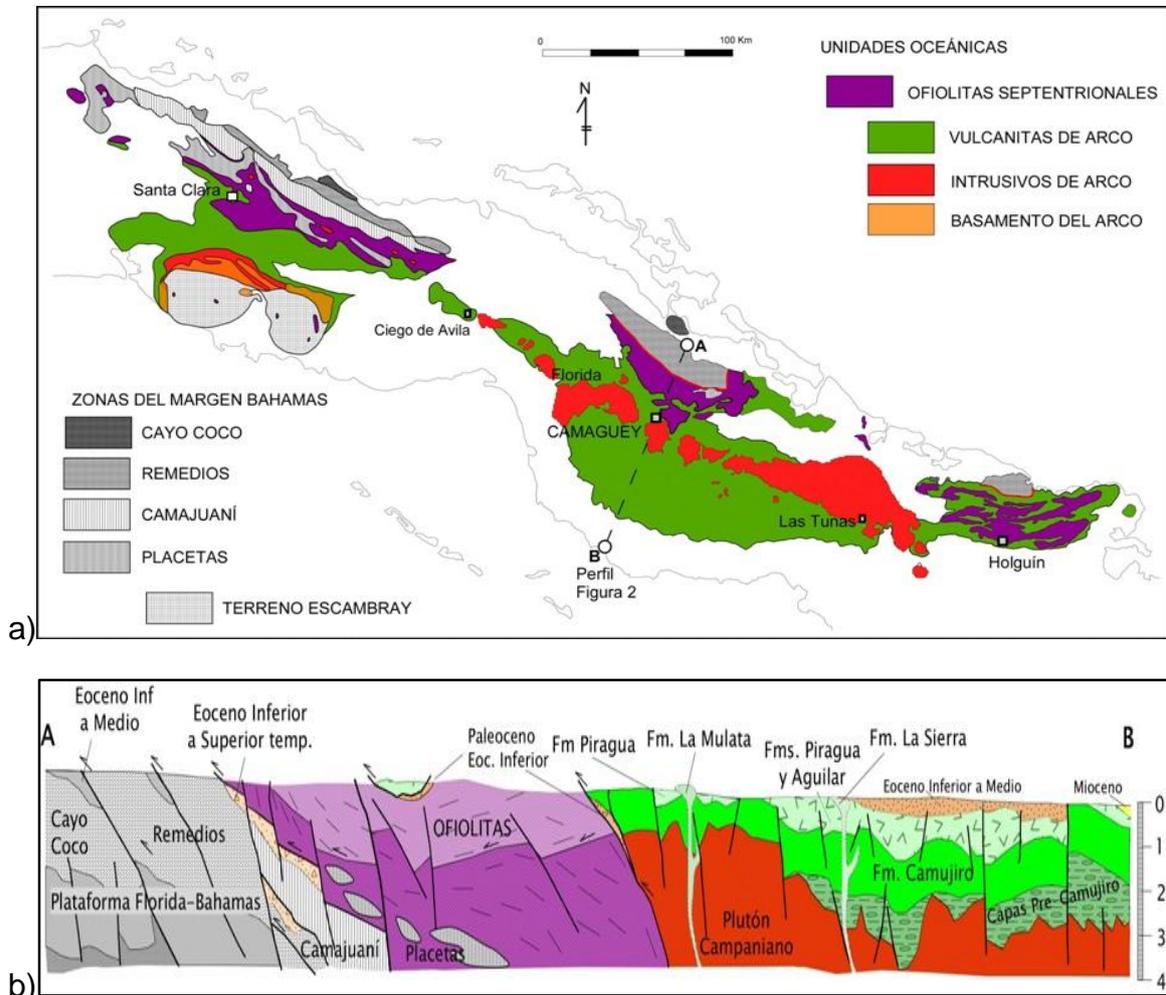


Figura No 2: Mapa geológico(a) y perfil simplificado (b) de Cuba Central donde se ilustran las relaciones entre las rocas de Arco de Islas Volcánicas, el Margen Continental y los Complejos máfico-ultramáfico según (Iturralde-Vinent, 2012).

Se encuentran las rocas de la Asociación de Arco de Islas Volcánico al sur en posición tectónica sobre las rocas máfico-ultramáficas pertenecientes al Complejo Ofiolítico. Esta asociación está formada por rocas vulcanógenas, volcano-sedimentarias y plutónicas desarrolladas desde el Cretácico Inferior al Superior, según (Iturralde-Vinent, 1996a). En sus litologías aparecen tobas andesíticas y andesito-basálticas, tufobrechas y en menor medida areniscas, margas y calizas, típicas de un Arco de Islas Volcánico Primitivo (Díaz-De-Villalvilla y Dilla, 1985).

Entre ambos conjuntos máficos y volcánicos aparecen olistostromas del Paleoceno-Eoceno Inferior (Olistrostoma Taguasco), asociadas a fallas de sobrecorrimiento (Iturralde-Vinent, 1996a) (Iturralde-Vinent, 1998; Iturralde-Vinent, 2012). En los ejemplos de Camagüey-Minas yace imbricado entre las rocas más antiguas, intensamente trituradas (Iturralde-Vinent, 2012).

Dicho olistostroma se muestra en el mapa de la geología regional (ver figura 4) y constituye una secuencia caótica conglomerática brechosa, policomponente con bloques olistolitos de rocas sedimentarias, vulcanógeno-sedimentarias y vulcanógenas. En particular incluyen gabros, diabasas, serpentinitas, granitoides, tobas, tufitas, pedernales, y otros tipos de rocas (Iturralde-Vinent, 2012; Linares-Cala; et. al., 2014).

Las unidades sedimentarias más jóvenes a partir del Maestrichtiano hasta el Neógeno forman la cobertura sedimentaria sobre todas las asociaciones anteriormente mencionadas, (González; et. al., 1989). Forman parte de las cuencas post-volcánicas y transportadas que se desarrollaron sobre los restos deformados del Arco Volcánico Cretácico y sobre las rocas máficas-ultramáficas (Iturralde-Vinent, 1995).

Complejo Ofiolítico de Camagüey.

Las ofiolitas de Camagüey forman parte del cinturón de la asociación ofiolítica que se extiende por toda la Isla de Cuba, específicamente dentro del Cinturón Ofiolítico "Mariel-Holguín". El Complejo Ofiolítico de Camagüey se encuentra al norte de la ciudad de Camagüey, bien delimitado y se extiende por un área de 1300 Km².

Este complejo está constituido, de muro a techo, por una unidad de tectonitas (peridotitas), el complejo cumulativo y una unidad volcano-sedimentaria (Iturralde-Vinent, 1996), otros autores separan el complejo de diques (González; et. al., 1989). El complejo peridotítico ocupa aproximadamente el 80 % del área de las ofiolitas afloradas, un 15 % del área ocupan las rocas del complejo cumulativo, mientras que el complejo efusivo aflora solamente en pocos km cuadrados.

Las tectonitas o Complejo Peridotítico (ver figura 3) está compuesto principalmente por harzburgitas mayoritariamente serpentinizadas. Le siguen las

lherzolitas websteritas, wherlitas y dunitas serpentinizadas que están extendidas sólo subordinadamente, pertenecientes al nivel mantélico. Los cuerpos de cromitas, a menudo asociados a una envoltura dunítica, se hacen más comunes hacia la parte superior de este complejo, pero también se pueden presentar cuerpos de mena en las partes más profundas. Dichos cuerpos se encuentran a menudo cortados por diques de gabros y/o troctolitas (González; et. al., 1989).

Esta unidad pasa gradualmente a la zona de transición con un incremento de las dunitas y cuerpos de cromita, hasta llegar al complejo cumulativo, representado por gabros olivínicos, noritas, anortositas y troctolitas (Henares; et. al., 2009; Iturralde-Vinent, 1996b).

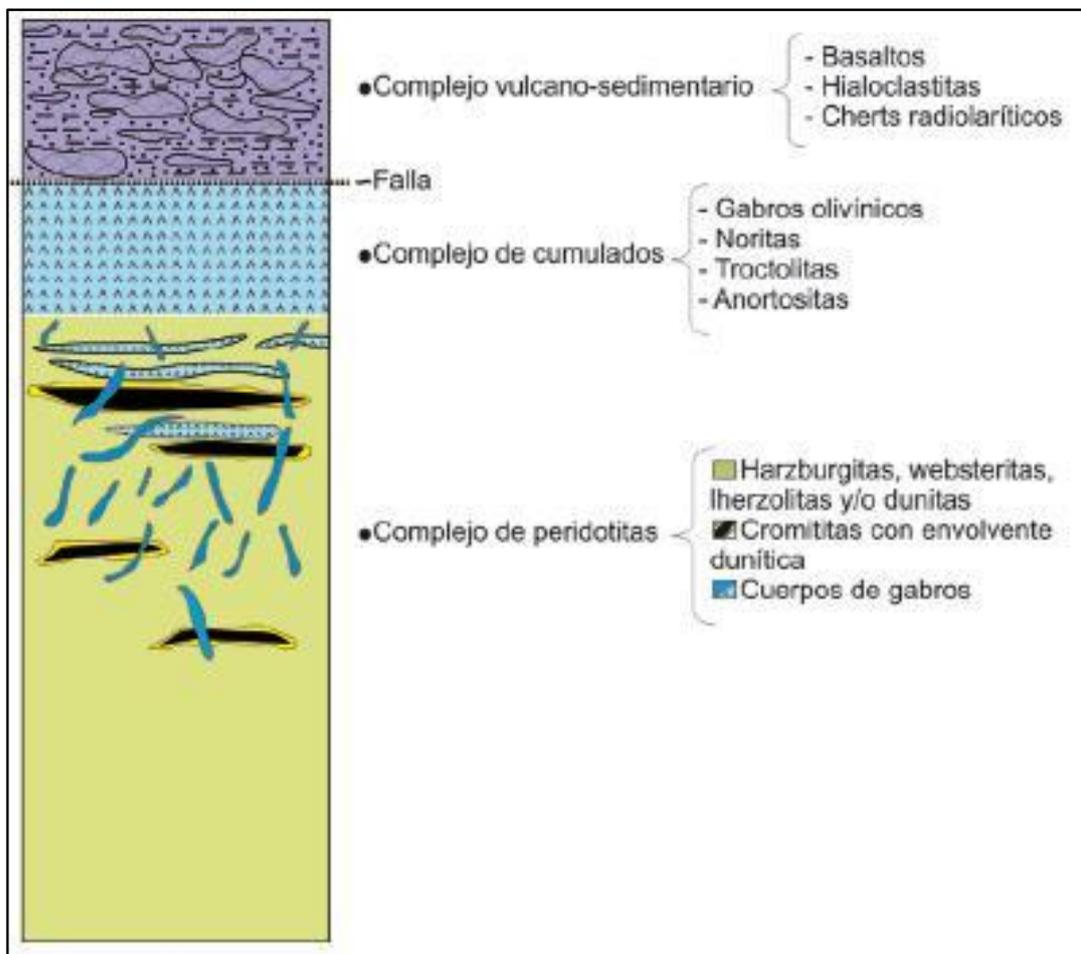


Figura No 3: Representación de la columna litológica del Complejo Ofiolítico de Camagüey, Cuba según (Iturralde –Vinent 1989) ;(Iturralde-Vinent, 1990).

El Complejo Cumulativo está localizado principalmente en la parte central y oriental del área de afloramiento de las ofiolitas y se puede seguir hasta una distancia de aproximadamente 50 km. Representado en Camagüey por gabroides

con una textura cumulativa bandeada en la parte baja del perfil y gabroides con una textura masiva en la parte superior, he incluso serpentinitas duníticas y peridotíticas.

Las partes ultrabásicas en la base del complejo cumulativo tienen diferentes espesores entre pocos metros y algunos cientos de metros. Las transiciones de yacencia poco perturbadas, pero en varios casos existen contactos tectónicos. Dentro del complejo cumulativo las rocas gabroides ocupan la parte principal.

Entre los gabros bandeados aparecen cromitas, asociadas a las dunitas. Los gabros masivos no orientados con estructura granular forman normalmente cuerpos relativamente grandes en la parte superior del complejo cumulativo.

Las cromitas demuestran una vinculación estrecha con la zona de transición harzburgita – dunita – troctolita. Los cuerpos minerales son tabulares y podiformes y se encuentran en la mayoría de los casos en las dunitas o también en las harzburgitas serpentinizadas en la base del perfil cumulativo o en la zona superior del complejo peridotítico.

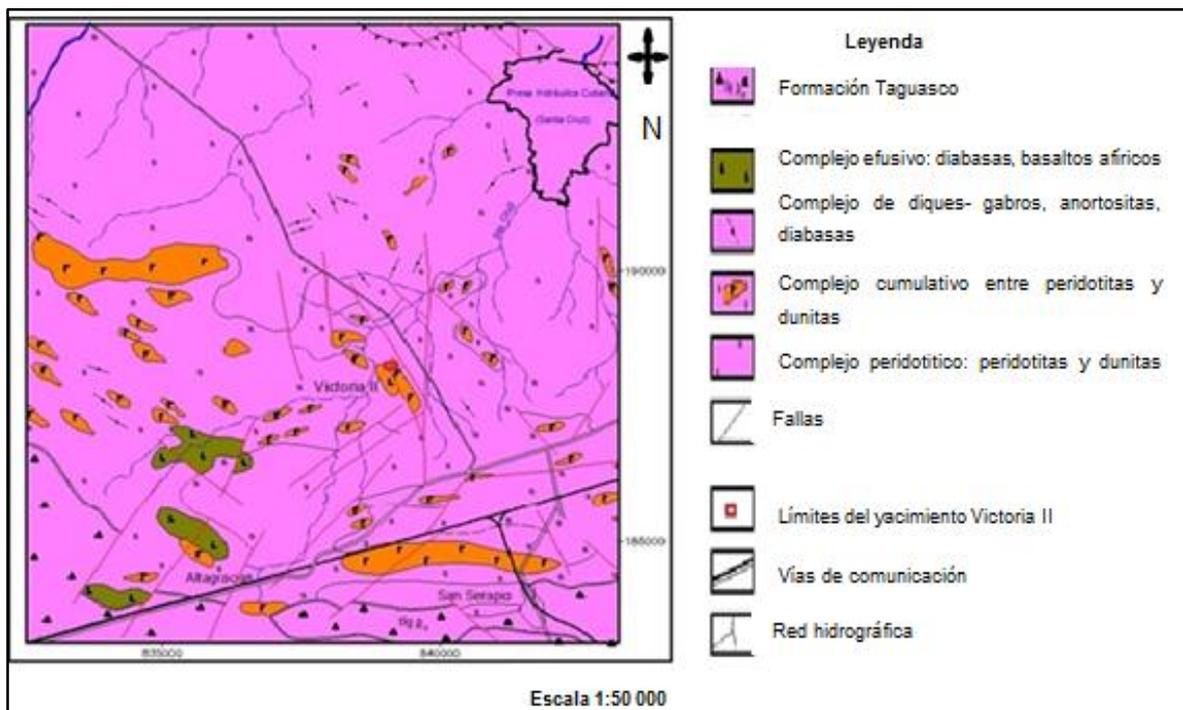


Figura No 4: Mapa geológico de la región de estudio, escala 1: 50 000, encerrado en recuadro rojo límites del yacimiento "Victoria II", tomado de (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

El Complejo de Diques abundan en los límites de la Asociación Ofiolítica de Camagüey, con una frecuencia mayor se observan en el complejo cumulativo y en

la parte superior del complejo peridotítico. Se distinguen dos grupos principales de diques, de composición gabroide (gabro, troctolita, anortosita) y diques de diabasa. Todas las rocas mencionadas anteriormente pertenecientes a los demás complejos están atravesadas por diques. Dentro del Complejo de Diques las diabasas representan las formaciones más jóvenes debido a que pueden cortar los diques de composición gabroide (González; et. al., 1989).

En la parte más alta está desarrollado el Complejo Efusivo – Sedimentario representado por basalto afíricos, hialoclastitas y silicitas. Se trata de una asociación característica para un desarrollo submarino en un ambiente relativamente profundo en el fondo del océano que yace discordante sobre los complejo peridotítico y cumulativo.

En el macizo máfico-ultramáfico de Camagüey se encuentran vetillas (1 a 5 cm) y vetas (hasta 1,5 m) de cuarzo con sulfuros, a veces cupríferos, que se alojan en los planos de foliación y grietas, se trata de cuerpos tardíos. Al sur de "Minas", se encuentra un verdadero cuerpo lentiforme de diques paralelos de basaltos, con impregnación de sulfuros, incluido tectónicamente entre las serpentinitas (González; et. al., 1989; Ramírez-Durán; et. al., 2014; Torres-Viamontes; et. al., 2011).

De forma regional el yacimiento "Victoria II" pertenece al Complejo Cumulativo de la Asociación Ofiolítica y está situado inmediatamente al NE de un cuerpo de gabros cumulativos de 100 x 20 m, que a su vez limita con la cuenca de "La Victoria" de rocas del complejo efusivo–sedimentario. El contacto de los gabros con las serpentinitas buza con ángulo alrededor del 50-60° (ver figura 4:) según (González; et. al., 1989; Torres-Viamontes; et. al., 2011).

1.5 Caracterización de los yacimientos y manifestaciones de cromitas en la región.

En la asociación Ofiolítica de Camagüey se conocen más de 350 yacimientos y manifestaciones de cromitas que están localizados, tanto en el Complejo Peridotítico como en el Complejo Cumulativo. Los cuerpos cromíticos pertenecen principalmente al tipo de los yacimientos podiformes y forman en general cuerpos irregulares por su forma.

Se conocen una cantidad de 48 yacimientos y manifestaciones con reservas existentes que están relacionados con el complejo peridotítico y unos 34 cuerpos cromíticos se encuentran en el complejo cumulativo. El yacimiento más grande conocido en el distrito es el yacimiento "Camagüey II" con reservas de más de 700 000 t de cromita, está localizado en el complejo peridotítico, pero de los 6 yacimientos restantes con reservas mayores de 100 000 t (Lolita, Aventura, Rafael, Camagüey, Victoria, La Victoria), cinco están vinculados con el complejo cumulativo.

Los cuerpos cromíticos del Complejo Peridotítico actualmente se encuentran en condiciones de yacencia secundarias, controladas por elementos tectónicos que se desarrollaron durante o después del emplazamiento de las ofiolitas. Los yacimientos y manifestaciones del Complejo Cumulativo se relacionan con el contacto subyacente de los gabros cumulativos y se encuentran preferentemente en dunitas serpentinizadas del Complejo Cumulativo, aunque pueden ser relacionadas también por elementos tectónicos – estructurales.

Todos los yacimientos y manifestaciones conocidas de la Asociación Ofiolítica de Camagüey tanto del Complejo Cumulativo como del Complejo peridotítico pertenecen al grupo de las cromitas refractarias con contenidos relativamente bajos de Cr_2O_3 (25-30 %) y relativamente altos de Al_2O_3 (González; et. al., 1989; Torres-Viamontes; et. al., 2011).

La mena cromítica es masiva hasta densamente diseminada con diferentes contenidos de material serpentinitico intersticial. El tipo de espinela cromífera es una picotina. No se conocen actualmente calidades metalúrgicas de cromitas en los cuerpos de espinela cromífera asociados al complejo ofiolítico de Camagüey (González; et. al., 1989; Torres-Viamontes; et. al., 2011).

1.6 Investigaciones geológicas precedentes en la región de estudio de la Asociación ofiolítica.

Las ofiolitas de la región central del país, Camagüey, forman parte de un cinturón de la Asociación Ofiolítica que se extiende por toda la isla de Cuba. Fue interpretado de forma diferente, por muchos geólogos durante los últimos años con respecto a su formación y emplazamiento. En el marco de estos trabajos se

consideraban a las ultramafitas y mafitas como intrusiones pre-cretácicas hasta cretácicas tardías según las teorías clásicas antiguas geosinclinales (Pavlov y Grigorieva, 1973; Semeniov, 1968) y otros.

Con el desarrollo del concepto de la Tectónica de Placas, surgieron nuevas ideas con respecto al origen y emplazamiento de las ofiolitas. En el "Informe de la Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria" se subdividieron las ofiolitas en dos unidades, en el material del manto superior y las rocas de la zona inferior de la corteza oceánica, se consideró el inicio de la formación de la corteza oceánica antes del Jurásico Superior.

Respecto al origen y formación de los yacimientos cromíticos en la provincia de Camagüey algunos autores hicieron alusión (Thayer, 1942); (Flint; De Albear y Guild, 1948); (Thayer, 1964); (Semeniov, 1968); (Dickey, 1975; Dickey y Yoder, 1972; Lago; Rabinowicz y Nicolas, 1982), ; (Murashko; Escobar y González, 1985) y otros.

El primer levantamiento geológico de la parte oriental del macizo ultrabásico de Camagüey a escala 1:50 000 fue realizados por (Flint; De Albear y Guild, 1948). Ellos ofrecieron un modelo de la formación magmática de las ultramafitas y las cromitas y llegaron a la conclusión que la mayoría de los cuerpos cromíticos están relacionados espacialmente con zonas de contacto de las ultramafitas con gabroides.

A inicios del pasado siglo se realizaron en la región numerosas investigaciones geólogo-geofísicas a escalas mayores en el marco de las búsquedas concretas de cuerpos cromíticos, dos campañas de búsquedas de cromita en los años 1942-1943 y 1954-1956 por el U.S. Geological Survey. Como resultado de la campaña se comprobaron las 17 anomalías más perspectivas con ayuda de 35 perforaciones y se detectó así el yacimiento "Camagüey II". Cuerpos cromíticos quedaron sin explotación y tampoco en los primeros años, después del triunfo de la Revolución, no tuvieron interés para la economía cubana, quedaron a espera de nuevas investigaciones.

A partir de la detección del yacimiento "Camagüey II" se llevaron a cabo dos etapas más de exploración, en 1964 y por (Murashko; Escobar y González, 1985). Se llegó a la conclusión que el proceso de la formación de este yacimiento estuvo

controlado tectónicamente y la localización de cuerpos de mena se efectuó en las zonas de intersección de fallas tectónicas de segundo y tercer orden.

Presentaron (Lago; Rabinowicz y Nicolas, 1982) un modelo de desarrollo primario de las cromitas podiformes muy sugerente para la interpretación genética de las cromitas en Cuba. Se han realizados nuevos trabajos en el marco de las investigaciones de las cromitas de Camagüey como es el caso de (Proenza; et. al., 2010). Con el inicio de los trabajos geológicos en el marco de la "Expedición Geológica Conjunta Cuba-RDA" se realizó el "Levantamiento Geológico Complejo a escala 1:50 000". Paralelamente se proyectaron nuevos trabajos de Búsquedas Detalladas de cromita, (González y Richter, 1990; González; Richter y Gálvez, 1993; González; et. al., 1989).

En el año 1983 se elaboró el Proyecto Técnico-Económico-Organizativo para la Búsqueda Detallada de cromitas en los Sectores "Loma Iguana", "Altagracia-San Serapio" y "Minas-La Entrada", que sirvió de base para continuos trabajos en 1987 realizados por (González; et. al., 1989). El objetivo del proyecto fue la búsqueda de cuerpos cromíticos ciegos mediante un complejo de métodos geólogo-geofísicos a escala 1:50 000/1:10 000 en un área total de 20 km² donde se esperaba la detección de 500 000 toneladas de cromitas.

Primeramente se realizó el levantamiento geofísico, utilizando la gravimetría, magnetometría y electromagnetometría, en una red ordinaria de 50 x 20m (escala 1: 5 000), para delimitar las anomalías más perspectivas. Luego de seleccionadas para su comprobación, se propusieron las áreas de densificación en una red de 25 x 10m (escala 1: 25 000). Dentro de dicha red se ubicó el yacimiento "Victoria II", para el cual se realizaron pruebas geofísicas en gravimetría, mediciones de polarización inducida en la variante de sondeos trielectrónicos dobles (STE) y carotaje gamma (González; et. al., 1989).

En (González y Richter, 1990; González; et. al., 1989) se presenta el cálculo de reservas del yacimiento "Victoria I" y "Victoria II". En los últimos años del presente siglo se han realizado nuevas campañas de exploración en estos yacimientos, con el objetivo de comprobar la cantidad de recursos presentes en ellos y valorar la calidad y cantidad de la materia prima, para futuros trabajos de explotación (Ramírez-Durán; et. al., 2014; Torres-Viamontes; et. al., 2011).

1.7 Conclusiones

1. El complejo ofiolítico limita geológicamente al norte con las rocas del Margen Continental de la Plataforma de Bahamas y al sur con la Asociación del Arco de Isla del Cretácico.
2. El yacimiento de cromita "Victoria II" se encuentra relacionado geológicamente con el complejo ofiolítico de Camagüey, ubicado en la Zona de Transición entre el Complejo Peridotítico y el Cumulativo.

Capítulo II: Metodología de la investigación

2.1 Introducción

En el presente capítulo se expone la metodología utilizada para la creación, del modelo geométrico del yacimiento de espinelas cromíferas "Victoria II". Fundamentado en la información que brindaron la descripción litológica y el muestreo en los pozos de exploración que permitieron obtener los datos necesarios para la modelación geométrica del yacimiento.

2.2 Metodología de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación y obtener los objetivos trazados se presenta una metodología, basado en tres etapas: preliminar, etapa de procesamiento y etapa final, la figura 5 muestra dicha metodología:

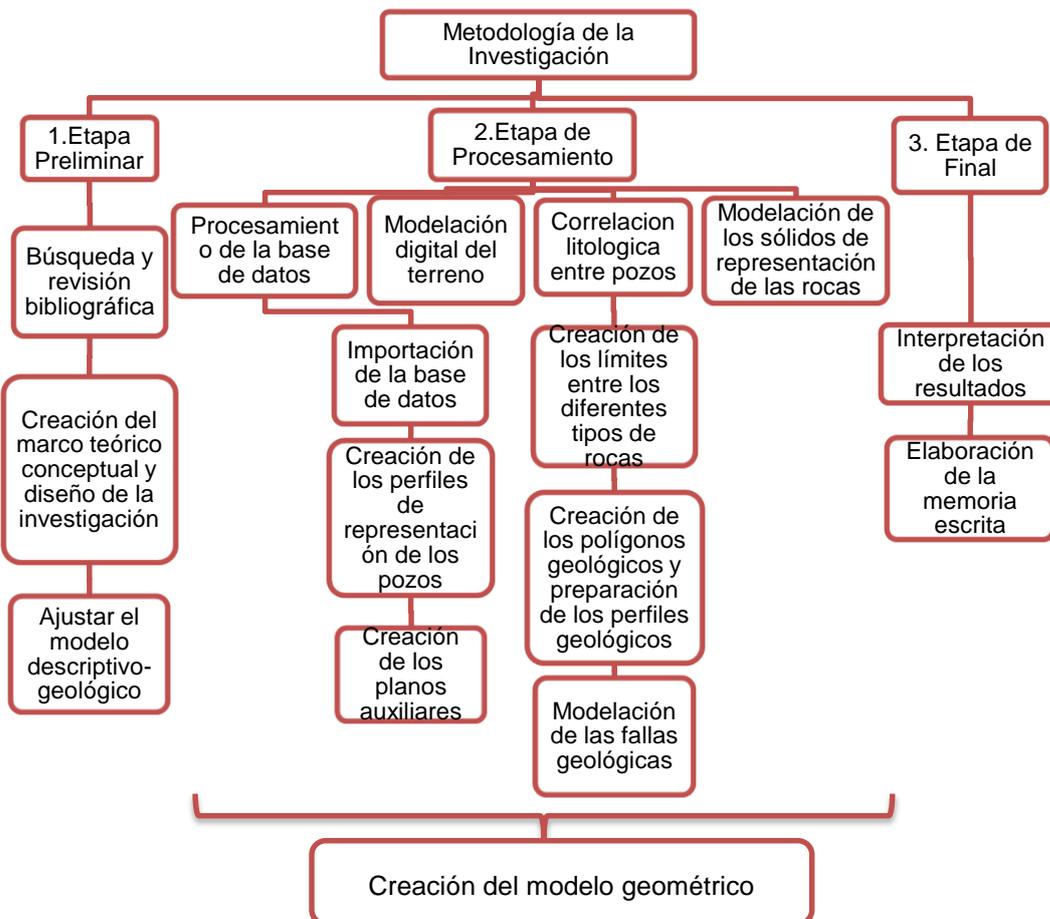


Figura No 5: Esquema de representación de la metodología de la investigación.

2.3 Etapa Preliminar

En esta etapa se realizó la búsqueda y recopilación bibliográfica de toda la información de la geología regional y área de estudio, así como todo lo relacionado con el ambiente de formación, las características y particularidades de los yacimientos de espinelas cromíferas en Cuba y en el mundo.

Se consultaron diferentes documentos en formato digital e impreso, tesis, trabajos de levantamiento geológico, incluyendo 6 informes de trabajos de exploración-prospección de la región de estudio. Además se accedió a publicaciones en la revista Geología-Minería, en el Acta Geológica Hispánica así como artículos y publicaciones en internet pertenecientes U.S. Geological Survey, relacionados con la modelación geológica. De esta manera se creó el marco teórico conceptual de la investigación y el modelo descriptivo-teórico del yacimiento en estudio.

Esta consulta bibliográfica sirvió de base para el reconocimiento del objeto de estudio, crear el modelo descriptivo del yacimiento, orientar la investigación a la selección y aplicación del conjunto de métodos adecuados para el objetivo propuesto. El modelo geométrico se creó sobre la base de estas informaciones.

Materiales y métodos utilizados

Para lograr los objetivos propuestos y un desarrollo satisfactorio de esta investigación fue necesaria la utilización, la información de los trabajos de exploración realizados por parte de la Empresa Geominera Camagüey en las etapas 1983-1987 y 2012-2013. Para el desarrollo del modelo descriptivo, se utilizó la información que brindó el método gravimétrico en combinación con la magnetometría, ambos proyectados durante el marco del levantamiento geológico de la etapa 1983-1987.

Se utilizó la información de 10 muestras de rocas encajantes para petrografía y 10 de mineral de cromita para minerografía, que permitieron caracterizar cualitativamente a las rocas en el modelo descriptivo. Además de la información cualitativa de 28 muestras de análisis físico-mecánicos para el análisis de la complejidad tectónica del yacimiento.

La correlación de los diferentes tipos de rocas durante el desarrollo del modelo geométrico fue posible gracias a la información geológica que brindaron los pozos de exploración. Los pozos fueron proyectados por la exploración según el área de densificación en una red de 15 x 15 m.

Los planos auxiliares y los pozos de perforación representados en el software Gemcom durante la etapa de procesamiento de esta investigación se trazaron siguiendo la dirección de los perfiles proyectados en las etapas de exploración del yacimiento. Todos en dirección NW con 14 pozos exploratorios perforados entre las dos etapas, 13 pozos inclinados y el pozo VED-9 que se proyectó vertical.

Se utilizó además la información que brindaron las trincheras de exploración proyectadas en la etapa 1983-1987 en cuanto a la profundidad en que se encuentra el cuerpo de cromita en las zonas donde no se habían proyectado pozos. La elaboración del modelo descriptivo teórico del yacimiento "Victoria II", contribuyó al conocimiento de todos los rasgos geólogo-estructurales del yacimiento que permitió la elaboración del modelo geométrico.

2.4 Etapa de Procesamiento

Después de creado el modelo descriptivo del yacimiento se estuvo en condiciones de crear el modelo geométrico. El software profesional Gemcom_Gems_V6.5, fue la herramienta básica que permitió este tipo de modelación, el mismo se fundamenta sobre el gestor de base de datos Microsoft Access. La etapa de procesamiento muestra las tareas a seguir para la confección del modelo geométrico del yacimiento "Victoria II". Dentro de dichas tareas se les da respuesta a los objetivos específicos trazados en la investigación. A continuación se presentan:

- 1- Procesamiento de la base de datos
 - Creación e importación de las bases de datos en el Gemcom
 - Creación de los perfiles de representación de los pozos de perforación
 - Creación de los planos auxiliares
- 2- Modelación digital del terreno
- 3- Correlación litológica entre pozos de perforación
 - Creación de los límites entre rocas

- Digitalización de los polígonos geológicos y preparación de los perfiles geológicos
 - Modelación de las fallas geológicas
- 4- Modelación de los sólidos de representación de las rocas teniendo en cuenta el área de influencia de los polígonos.

2.4.1 Procesamiento de la Base de Datos en Gemcom

Esta tarea fue la primera antes de cumplir con los objetivos trazados dentro de la investigación. La información que brindaron las bases de datos proviene de muestras de pozos de perforación. La base de datos se construye mediante una serie de tablas o ficheros relacionales, vinculadas a través de algunos campos claves.

Creación e importación de la base de datos

Antes del desarrollo de cualquier proyecto geólogo-minero es necesario la creación e inserción de la base de datos. El software Gemcom, trabaja a partir de una base de datos previamente elaborada, esta base de datos confeccionada en ASCII, fue importada al software.

Se creó primeramente un workspace del tipo drillhole, donde se especificó el campo que sirvió de vínculo entre las distintas tablas de la base de datos (*HOLE-ID*), el tipo de tablas disponibles (*Intervals*) y se agregaron las tablas adicionales que no son creadas automáticamente por el programa: *HEADER*, *SURVEY*, *ASSAY* y *LITHO*.

En las tablas creadas, se definieron los campos a utilizar en la base de datos. Para cada campo, se asignó un tipo (*real*, *entero*, *texto*), se modificó el valor por defecto y el número de decimales (ver figura 6). Para la importación de la base de datos se diseñó primero un perfil (*profile*) de importación para cada tabla, donde se especificó el formato de los datos y a qué campos de la base de datos serían asignadas las columnas de los archivos. En cada tabla, se listaron los campos en el orden que vienen ordenados los datos dentro de los archivos ASCII.

| Table Name | Table Type | Description | This Table |
|------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| HEADER | Header Table | Header Table | |
| SURVEY | Interval Survey Table | Interval Survey Table | |
| LITO | Interval Table | Interval Table | |
| LASSAYS | Interval Table | Interval Table | |

| Field Name | Field Type | Description |
|------------|------------|-------------------------------|
| HOLE-ID | String | Primary Key |
| FROM | Double | Starting position of interval |
| TO | Double | Ending position of interval |
| LENGTH | Double | |
| CR203 | Double | |
| SIO2 | Double | |
| AL2O3+TiO2 | Double | |
| FE0 | Double | |
| FE2O3 | Double | |
| CAO | Double | |
| MGO | Double | |

Length: 32
Default Value:

Figura No 6: Tabla que presenta los campos a utilizar para cada fichero en la base de datos.

Gemcom generó un directorio con el nombre Imports que contiene los datos de las diferentes tablas. Se llevaron las tablas en formato ASCII que contienen los datos al directorio Imports del proyecto. Se importaron estas tablas al programa desde este directorio, quedando de esta manera conformada la base de datos dentro del Software Gemcom (ver figura 7).

Estructura de los ficheros que conforman la base de datos

La base de datos cuenta con la información litológica de 14 pozos exploratorios, 13 pozos inclinados y el pozo VED-9 que se proyectó vertical. Se prepararon ficheros en formato ASCII, quedando conformada la base de datos con la siguiente estructura:

- **HEADER:** Identificación del pozo (HOLE-ID), coordenadas de la boca de los pozos (X, Y, Z), profundidad de perforación (LENGTH)
- **SURVEY:** Identificación del pozo (HOLE-ID), desde (FROM), hasta (TO), Azimut del pozo y Dip.
- **LITO:** Hole-ID, desde (FROM), hasta (TO), longitud de muestreo (LENGTH), litología (LITO), código litológico (LITOCOD).

| | HOLE-ID | LOCATION[X] | LOCATION[Y] | LOCATION[Z] | LENGTH |
|----|------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 1 | Cr-4-83BDV | 839072.60 | 188245.64 | 70.10 | 70.00 |
| 2 | Cr-4-85BDV | 839092.66 | 188239.74 | 69.62 | 60.00 |
| 3 | Cr-4-89BDV | 839077.82 | 188265.94 | 69.68 | 45.85 |
| 4 | Cr-4-91BDV | 839079.64 | 188232.18 | 70.13 | 75.60 |
| 5 | V-4-5BG | 839083.97 | 188252.77 | 69.73 | 78.35 |
| 6 | VED-1 | 839101.53 | 188244.96 | 69.42 | 31.50 |
| 7 | VED-2 | 839092.63 | 188257.68 | 69.06 | 19.00 |
| 8 | VED-3 | 839086.59 | 188271.36 | 69.00 | 22.50 |
| 9 | VED-4 | 839064.72 | 188258.28 | 69.51 | 44.00 |
| 10 | VED-5 | 839072.16 | 188262.62 | 69.25 | 45.00 |
| 11 | VED-6 | 839100.71 | 188226.99 | 69.40 | 39.60 |
| 12 | VED-7 | 839108.48 | 188232.14 | 69.15 | 29.50 |
| 13 | VED-8 | 839070.47 | 188279.13 | 69.13 | 29.00 |
| 14 | VED-9 | 839089.53 | 188255.64 | 69.27 | 31.50 |

| | HOLE-ID | FROM | TO | LENGTH | LITOLOGIA | CÓDIGO |
|----|------------|-------|-------|--------|---------------|--------|
| 1 | Cr-4-85BDV | 0.00 | 0.60 | 0.60 | Capa vegetal | 1.00 |
| 2 | Cr-4-85BDV | 0.60 | 2.40 | 1.80 | serpentinita | 6.00 |
| 3 | Cr-4-85BDV | 2.40 | 12.00 | 9.60 | Peridotita | 2.00 |
| 4 | Cr-4-85BDV | 12.00 | 20.00 | 8.00 | Dunita | 3.00 |
| 5 | Cr-4-85BDV | 20.00 | 20.20 | 0.20 | Serpentina | 6.00 |
| 6 | Cr-4-85BDV | 20.20 | 20.50 | 0.30 | Cromita D | 4.00 |
| 7 | Cr-4-85BDV | 20.50 | 23.05 | 2.55 | Cromita M | 4.00 |
| 8 | Cr-4-85BDV | 23.05 | 23.50 | 0.45 | Gabro con Cro | 5.00 |
| 9 | Cr-4-85BDV | 23.50 | 27.40 | 3.90 | Cromita M | 4.00 |
| 10 | Cr-4-85BDV | 27.40 | 28.40 | 1.00 | Cromita M | 4.00 |
| 11 | Cr-4-85BDV | 28.40 | 32.55 | 4.15 | Cromita M | 4.00 |
| 12 | Cr-4-85BDV | 32.55 | 34.55 | 2.00 | Cromita D | 4.00 |
| 13 | Cr-4-85BDV | 34.55 | 37.80 | 3.25 | Dunita | 3.00 |
| 14 | Cr-4-85BDV | 37.80 | 49.40 | 11.60 | Serpentina | 6.00 |
| 15 | Cr-4-85BDV | 49.40 | 51.00 | 1.60 | Dunita | 3.00 |
| 16 | Cr-4-85BDV | 51.00 | 54.40 | 3.40 | Serpentina | 6.00 |

Figura No 7: Tabla que presenta los ficheros que conforman la base de datos en el Gemcom.

Creación de los perfiles de representación de los pozos de perforación.

Antes de visualizar los pozos, se definió el esquema de colores con que se codificaron las leyes y litologías. Para ello, se creó un nuevo profile para la litología a representar (LITHO). En esta definición se ingresaron los códigos de rocas definidos y se les asignó un color.

Luego se confeccionaron los perfiles de despliegue de los pozos que permitieron visualizar los pozos de perforación, los campos que se desean mostrar y con qué características. En la página simbol se indicó si se desplegará el *HOLE-ID*, la boca del pozo (*collar*) y la traza con algún símbolo. En la ventana (*Trace*), se indicó el desplegamiento de la traza del sondaje y el color según el código de colores para cada campo determinado de una de las tablas (por ejemplo, leyes, litologías, textos, etc.).

En la figura número 8 se representa por cada pozo de perforación el código de representación de cada litología con el identificador del pozo (*HOLE-ID*) escrito sobre el collar de cada elemento.

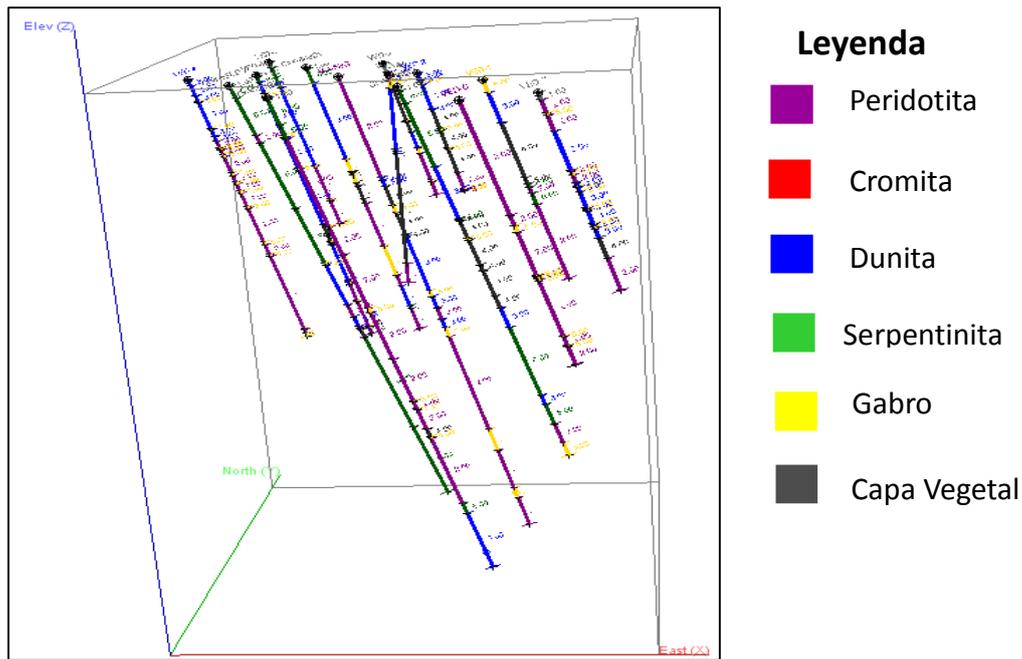


Figura No 8: Representación de los pozos de perforación desplegados en el espacio tridimensional.

Creación de los Planos auxiliares

La creación de los sólidos que representan las diferentes litologías dependen de la delimitación de estas, es decir delimitar las zonas de contacto entre cada litología. Una de las tareas a realizar para llevar a cabo la modelación geométrica es crear perfiles auxiliares también llamados planos auxiliares, que delimiten los diferentes cortes geológicos según la distribución en los pozos.

Se trazaron 5 planos auxiliares longitudinales verticales con orientación hacia SW-NE que permiten dar la dirección de buzamiento principal (azimut de buzamiento) de los cuerpos de rocas. Se crearon 4 planos transversales inclinados con orientación NW-SE que coinciden con la línea de máxima extensión que poseen los cuerpos de rocas (rumbo).

La complementación de ambos tipos de perfiles permite dar una información más completa de las condiciones geológicas del yacimiento. Los planos transversales se trazaron teniendo en cuenta el grado de inclinación en que se proyectaron los pozos de perforación. La dirección de inclinación de los planos transversales fue de $330 / 73-74^{\circ}$ NW, el valor de ángulo de buzamiento corresponde con los valores de inclinación que poseen los pozos de perforación.

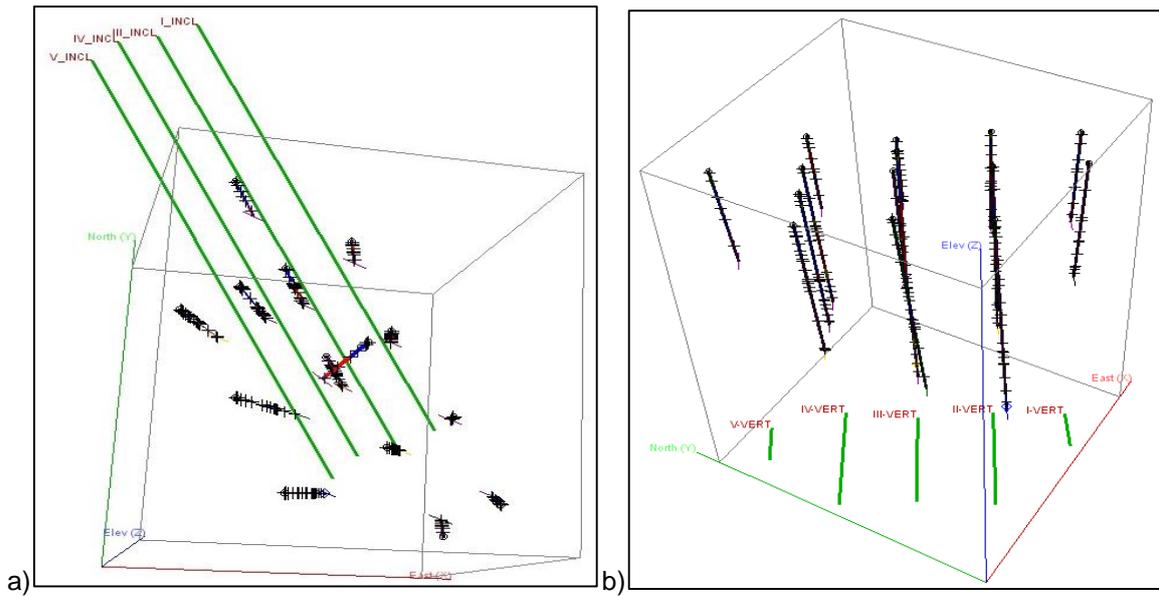


Figura No. 1: Representación en el espacio tridimensional de los planos transversales con dirección NW-SE (a) y de los planos verticales con dirección SW-NE (b).

2.4.2 Modelación Digital del Terreno

La empresa Geominera Camagüey entregó el levantamiento topográfico (X; Y; Z) con escala 1.500 para la creación del modelo digital del terreno (MDT). Primeramente fue necesario crear un workspace de triangulación con el nombre "Superficie", al cual se le importaron los puntos (X; Y; Z) del MDT. Se modeló la superficie teniendo en cuenta el comportamiento estadístico para cada dirección usando el método "Create Surface by Laplace Gridding".

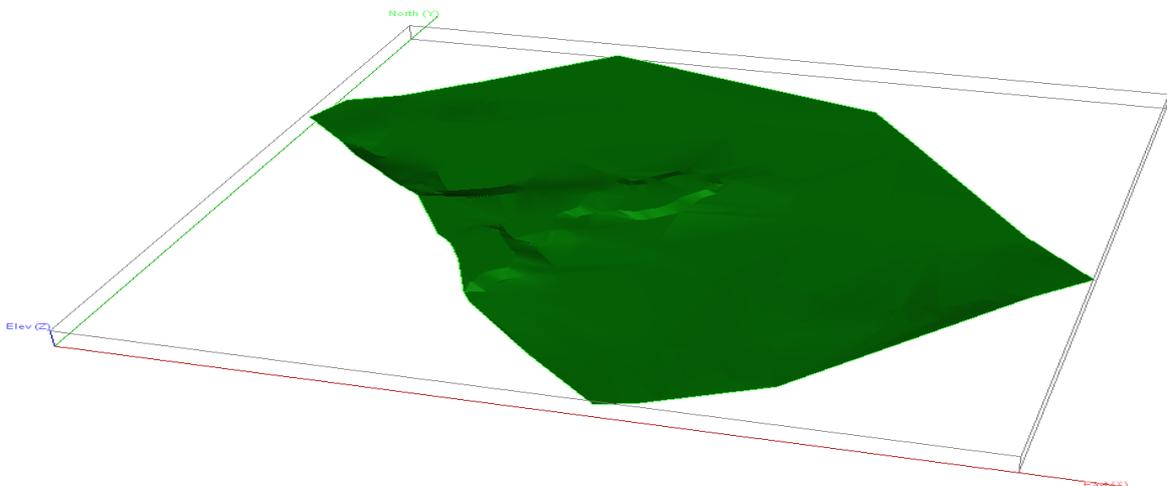


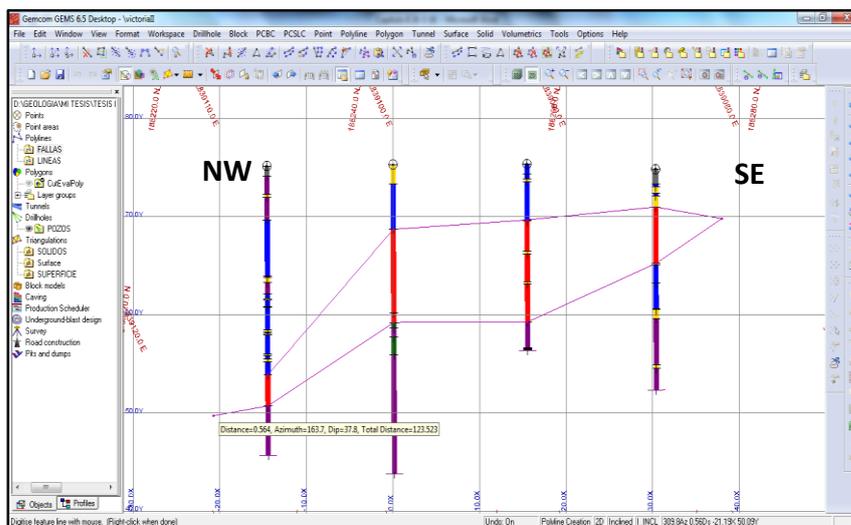
Figura No 9: Superficie del modelo digital del terreno en 3D.

2.4.3 Correlación litológica entre pozos de perforación

Uno de los objetivos trazados durante esta investigación fue la correlación litológica entre pozos que incluye la delimitación de los límites entre rocas y la digitalización de los polígonos que permitió preparar los perfiles geológicos para cada zona del yacimiento.

Creación de los límites entre los diferentes tipos de rocas

Después de creados los planos auxiliares y modelado digitalmente el terreno se crearon los contactos entre los diferentes tipos de rocas y el cuerpo de cromita, se empieza delimitando las rocas por su techo o parte superior en el corte y por la base de cada una de ellas. Para ello se crearon el workspace del tipo polyline con el nombre "Líneas" y perfiles para cada tipo de roca dentro de este workspace: peridotita, dunita, gabro, serpentinita, para el cuerpo de cromita y para la cobertura vegetal.



Leyenda

- Peridotita
- Cromita
- Dunita
- Serpentinita
- Gabro
- Capa Vegetal

Figura No 10: Perfil-I de pozos inclinados que presenta la creación de los límites del cuerpo de cromita.

Para crear los límites entre las rocas y el cuerpo cromífero se tomó la opción de tipo de línea 3D Ring. Con el cursor se dio clip en el tope del tipo de roca a representar, uniendo con las polyline el mismo tipo de roca en el perfil, bordeando los límites exteriores que contactan con las demás litologías (ver ejemplo de Figura 10). De esta manera se correlacionaron cada litología y el cuerpo de

cromita en cada perfil, permitiendo una mejor visualización del comportamiento de los diferentes tipos de rocas. Se realizó la correlación con el visualizador en 2D activado mayoritariamente.

Digitalización de los polígonos geológicos

Los polígonos geológicos se confeccionan teniendo en cuenta la distribución de las polyline de representación de las rocas, según su ubicación espacial. Se creó un workspace para polygon y un nuevo profile para polygon, en este caso con el nombre "Geomodel", se dio formato de tipo de datos en "Texto", con el código del tipo de roca, leyenda a utilizar y la escala.

Se creó el "Layer Group" que constituye la definición que engloba la administración de la información y la forma de creación e interacción entre los polígonos utilizando para ello dos opciones de trabajo, una es la de "Layer" y la segunda "Geometry Rules".

Geometry Rules, es la definición que administra la construcción y la interacción entre los distintos layer, para este caso se escogió la operación subdivisión. Layer es la definición que maneja los atributos con que trabaja el polígono para este caso (Blastname, Código, Profile, etc.) con esto se definió el workspace de polígono que almacenó la información.

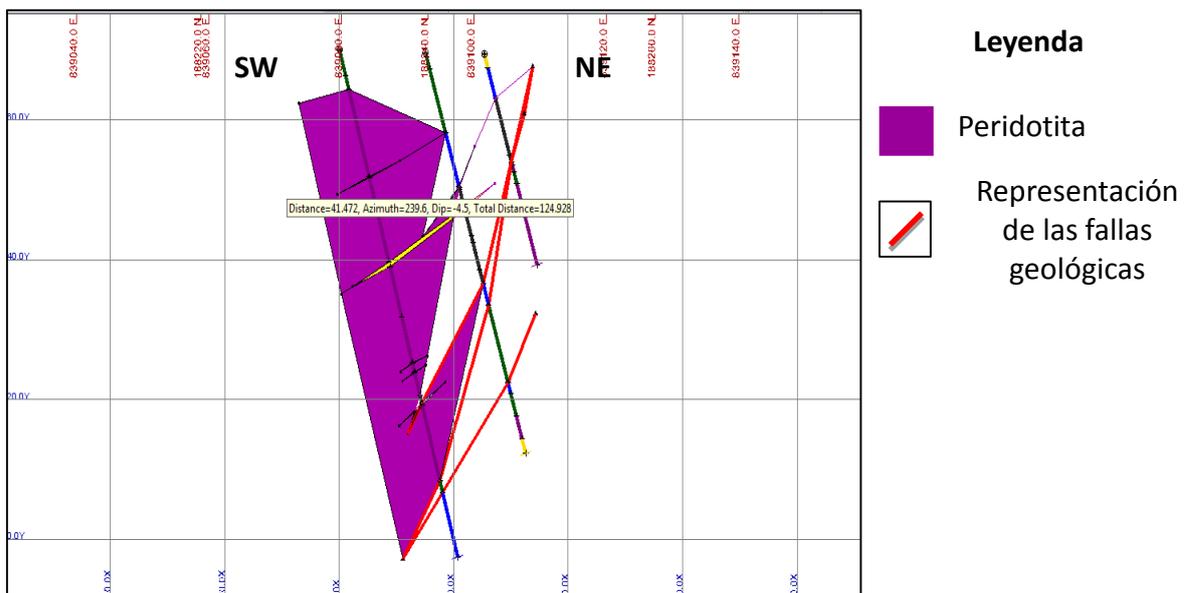


Figura No 11: Perfil II-vertical que presenta la digitalización de los polígonos geológicos de representación de la roca peridotítica.

La digitalización de los polígonos al igual que la creación de las polyline se realizó teniendo en cuenta la distribución de los planos auxiliares. La creación de los polígonos según los diferentes planos verticales y transversales inclinados permitió la interpretación de las condiciones geológicas del yacimiento.

La representación de los polígonos geológicos por planos auxiliares previamente trazados constituyen los perfiles geológicos. Los perfiles geológicos consisten en la representación en 2D de los diferentes cortes geológicos en el yacimiento, a partir de ellos se crean los sólidos de representación de las diferentes litologías.

Modelación de las fallas geológicas

La metodología para la modelación de las fallas geológicas en 2D o 3D es muy parecida a la creación de los límites entre los diferentes tipos de rocas. Las fallas se representaron después de haber confeccionado los límites y polígonos geológicos.

Se creó un workspace de tipo polyline con el nombre "Fallas", para su confección se escogió la opción de tipo de línea "Status Line". A esta línea de representación de las fallas geológicas se le dio un formato de línea diferente a las trazadas para los diferentes tipos de rocas, que le hicieron característica.

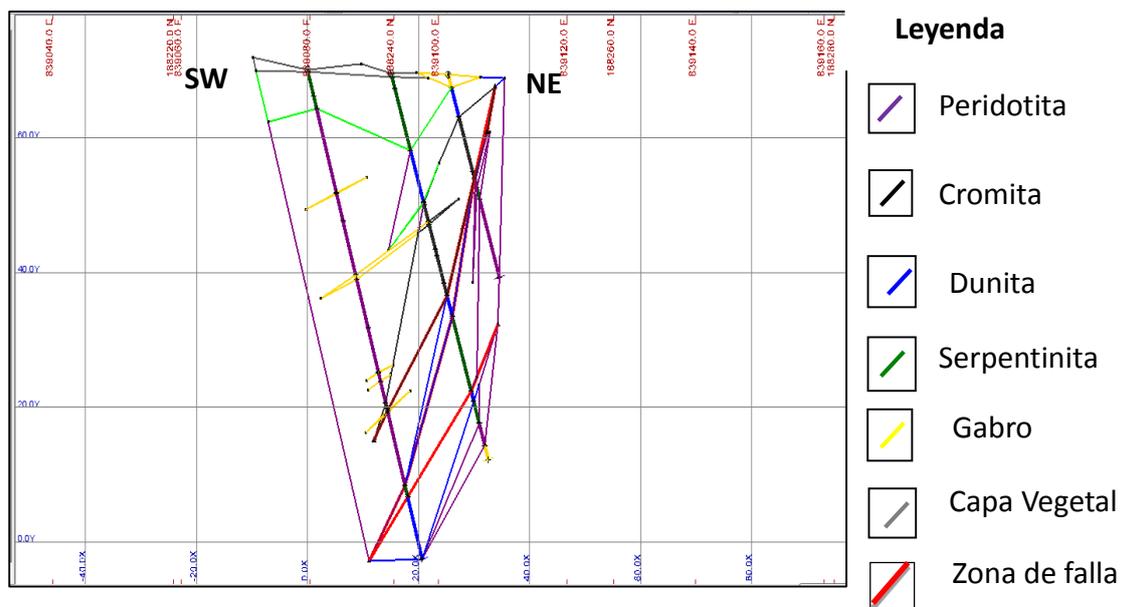


Figura No 12: Perfil II-vertical que presenta las polyline de representación de las fallas geológicas y los diferentes tipos de rocas.

2.4.4 Modelación de los sólidos de los cuerpos geológicos

Para la modelación de los cuerpos de rocas que han sido afectados por la tectónica y que yacen en forma de bloques independientes separados por fallas geológicas como el caso del yacimiento "Victoria II" fue necesario crear un workspace de tipo triangulación para sólidos.

La metodología para la creación de los sólidos se desarrolla en la representación estática de los parámetros petrofísicos con los que se alcanzan mayor comprensión del comportamiento físico-geológico. La creación de los sólidos es necesaria para una mejor comprensión de las características estructurales de cada tipo de roca y variación espacial de sus principales propiedades.

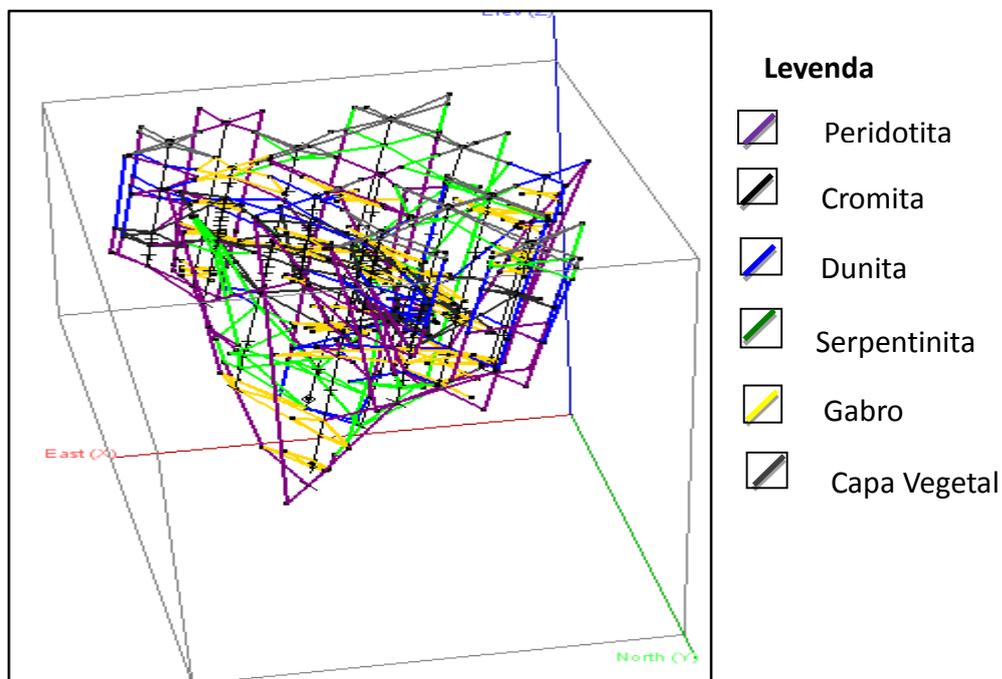


Figura No 13: Representación de las polylines de representación de los diferentes tipos de rocas desplegadas en el espacio tridimensional.

Una vez digitalizados los polígonos, fue posible generar sólidos a partir de las diferentes secciones digitalizadas. Para realizar esta operación fue necesario tener desplegada en pantalla las diferentes secciones ya digitalizadas o las polyline de representación creadas para cada sección vertical o transversal. Por la opción "Solid, Create, Extrude Active Closed Polylines into Solids" se crearon los sólidos. Los sólidos se pueden crear independientemente para cada tipo de roca

activando las polyline o polígonos de representación por perfiles según el tipo de línea o por el código de la roca.

En la creación de los sólidos que representan a las rocas peridotíticas se decidió modelar de forma independiente a las dunitas que petrográficamente pertenecen al grupo de las peridotitas; debido a la relación genética de las dunitas con el cuerpo de cromita. Los sólidos de representación tuvieron en cuenta el área de influencia de los polígonos de un pozo a otro a una distancia de 7.5 m.

2.5 Etapa Final

Esta etapa constituye después de creado el modelo geométrico la etapa de interpretación y elaboración de la memoria escrita, donde se utilizan los perfiles geológicos, para comprender y explicar la esencia del yacimiento. La conformación de la memoria escrita consiste en plasmar todos los aspectos esenciales de la investigación, para ello se utilizó el programa computacional Microsoft Word-2010.

La memoria escrita quedó conformada por tres capítulos, el Capítulo I consta de 13 páginas y plasma lo relacionado con las características físico-geográficas y geológicas de la región de estudio. El Capítulo II, presenta la metodología que se utilizó durante la elaboración del modelo geométrico del yacimiento, así como los materiales y métodos que se utilizaron para su confección cuenta con 13 páginas. El Capítulo III consta con 31 páginas, constituye la interpretación geológica de los aspectos estructurales del yacimiento que hacen de él un melange ofiolítico tan interesante y complejo.

2.6 Conclusiones

1. La correlación litológica para la creación de los perfiles geológicos fue realizada empleando polilíneas y polígonos.
2. Se modelaron los cuerpos de rocas como sólidos empleando el método de perfiles geológicos debido al tipo genético de yacimiento.
3. El acañamiento en los bordes de los cuerpos modelados, se estableció teniendo en cuenta la mitad de la distancia de la red de perforación empleada (7.5 m).

Capítulo III: Modelación geométrica del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II"**3.1 Introducción**

En este capítulo se exponen los resultados finales obtenidos durante la investigación, lo cual demuestra que el objetivo general propuesto, se cumplió. Se presenta el modelo descriptivo geológico que permitió caracterizar al yacimiento en estudio para así dar una imagen generalizada de él. Se presenta la interpretación del modelo geométrico del yacimiento a través de los perfiles geológicos longitudinales verticales y transversales inclinados así como la presentación de la morfología de los diferentes cuerpos de rocas en 3D.

3.2 Presentación del Modelo Descriptivo Teórico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II".

El cromo, como se conoce, forma parte de los elementos químicos de la familia del hierro y se presenta en la naturaleza en forma de óxidos múltiples, mayoritariamente es conocido por los mineros y geólogos como *espinela cromífera "cromita"*, siendo esta la única mena que contiene el preciado metal (Muñoz Gómez, 1998). En Cuba las principales concentraciones del mineral espinela cromífera que contiene el metal cromo, se localizan en la *zona de transición* entre la parte superior del manto terrestre – astenósfera – y la corteza oceánica (Muñoz Gómez, 1998). Representadas en la región de Camagüey por la Asociación de rocas del Complejo Ofiolítico.

Tipo genético de yacimiento: Yacimiento cromítico podiforme

Sinónimos: cromitita ofiolítica

Productos y sub - productos: menas cromíticas ricas en Cr_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO y MgO .

Ejemplos en Cuba

En Cuba se encuentran representados yacimientos de cromita principalmente en la región centro-oriental, se encuentran yacimientos asociados al complejo ofiolítico oriental en Moa y Mayarí, como: Cayo Guam, Mercedita, Los Naranjos, Amores, Potosí, Casimba, La Estrella, Caledonia; Piloto y otros. Asociados al complejo ofiolítico de Camagüey se encuentran: Camagüey I, Camagüey II, Lolita, Aventura, Mamina, La Sorpresa, Porvenir, Altagracia, La Iguana, Desprecio, Altagracia, San Serapio, Virtudes, Tres Ríos, Minas, etc.

Ejemplos en el mundo:

En el mundo se destacan yacimientos como los de Nueva Caledonia, Coto en Filipinas, Kukës – Tropoje en Albania, el Complejo Guleman en Turquía, Troodos en Chipre, Acoje y Masinloc en Kazajistán, Xeraivado – Skoumtsa en Grecia y otros.

Descripción General

La complejidad geológica del área que ocupa el cuerpo mineral "Victoria II" está catalogada como alta. El cuerpo de cromita limita al SE con un cuerpo de gabros cumulativos, imbricado entre litologías típicas del complejo peridotítico, atravesado todo el conjunto rocoso por lentes de gabros con distintas características texturales. Depósito de cromita masiva, en parte agrietada o diseminada con cierto grado de milonitización, producto al fallamiento al que ha sido sometido el cuerpo mineral y las rocas de caja.

El cuerpo de cromita posee coloración negra a gris, con granos finos, medio a gruesos, en algunas secciones contiene fragmentos de grano grueso con mineralización de serpentina que varía de color verde claro a oscuro. Yace abruptamente, en forma inclinada hacia el suroeste (SW) con ángulo de buzamiento entre 50⁰-70⁰, la potencia es variable debido al acuñaamiento que presenta.

Escenario Tectónico

El yacimiento "Victoria II" se enmarca en el Complejo Ofiolítico de Camagüey, antigua corteza oceánica obducida de un Mar Marginal sobre el Margen Continental. Forma parte de la zona oriental de la Asociación Ofiolítica de Camagüey que tiene estructura de carácter sinclinal, por lo que en el centro de la estructura afloran las partes jóvenes y más altas del perfil de la Asociación Ofiolítica como son: los Complejos Cumulativo y Efusivo –Sedimentario.

La complejidad fundamental en el área que ocupa el yacimiento está representada por las estructuras y elementos tectónicos que se manifiestan (zonas de fallas, grietas y diaclasas), en el cuerpo irregular de cromita así como por la presencia de zonas con boudines de dunitas y peridotitas, con longitud que oscilan entre los centímetros a decímetros, cementados por serpentinitas foliadas, (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

El sector de estudio se encuentra situado en una zona donde existen fallas con rumbos e inclinaciones diferentes, todas de carácter secundario, ellas afectan tanto al cuerpo mineral como a las rocas encajantes. El criterio básico para determinar la existencia de fallas en el área de estudio fue la presencia de espejos de fricción, cizallamiento, foliación, milonitización y agrietamiento en las zonas de contacto tectónico.

Utilizando la interpretación de los resultados de la gravimetría y magnetometría realizadas por (González; et. al., 1989) el cuerpo se encuentra en un punto de cruce de fallas de diferente orientación, documentadas también estas zonas de fallas en los pozos perforados durante las investigaciones hechas por (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

El rumbo de la tectónica varía, pero siempre comportándose con valores de 310° - 330° - 335° - 355° NW y buzamientos entre 60° y 70° SW. Siguiendo la ubicación de los perfiles geológicos de este a oeste el complejo de diques de gabro que atraviesan las diferentes litologías poseen rumbo principales 315° - 330° - 355° y 340° NW. Para el corte horizontal por el nivel mayor de 40 m los rumbos principales que sigue el cuerpo mineral es entre 355° y 332° NW con buzamientos principales de 76° - 75° SW respectivamente (González; et. al., 1989).

Según la interpretación hecha por (Ramírez-Durán; et. al., 2014), el cuerpo de cromita cambia de rumbo entre el perfil geológico I - I' y II - II' en esta investigación perfiles II y III-verticales respectivamente. De forma general el yacimiento presenta una constitución interna compleja provocada por la tectónica.

Ambiente geológico de formación

Las menas cromíferas que conforman el yacimiento se formaron como producto del proceso de diferenciación magmática de un magma de composición primaria ultrabásica en el que se segregaron el olivino y las espinelas cromíferas y otros minerales acompañantes. El proceso de diferenciación y solidificación originó un cuerpo podiforme de menas cromíticas, recubierto en todo su contacto por una envoltura dunítica que separa al cuerpo cromífero de las peridotitas serpentizadas del complejo. Las dislocaciones tectónicas afectaron la yacencia original de todas las rocas en conjunto producto a los procesos de cabalgamiento y emplazamiento del complejo ofiolítico en la zona superior de la corteza.

Edad de la mineralización

El proceso inicial de diferenciación magmática del magma ultramáfico se corresponde con una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior en el transcurso del desarrollo del riftogénesis donde se formó una corteza oceánica de un mar marginal en el Margen Continental pasivo de la placa norteamericana.

La continuidad del episodio de obducción-emplazamiento de la antigua corteza oceánica (Asociación Ofiolítica) sobre los sedimentos de la plataforma ocurrió a partir del Cretácico Superior después del desarrollo del Arco de Isla Vulcano - Plutónico, como consecuencia de la subducción de la placa del caribe por debajo de la placa norteamericana.

El fallamiento y la penetración de diques de gabro es el evento geológico más joven corresponde con los procesos de cabalgamiento y emplazamiento del complejo ofiolítico. El proceso de obducción terminó en el Eoceno Medio. Es por ello que los yacimientos de cromitas y sus rocas de caja se encuentran a pocos metros de la superficie e incluso pueden aflorar. El emplazamiento tectónico de la

Asociación Ofiolítica tiene significado funcional determinante para la distribución y control de las mineralizaciones de cromita.

Tipos de rocas asociadas

El yacimiento se encuentra vinculado espacial y genéticamente a peridotitas (harzburgitas, wherlitas) y dunitas serpentinizadas como parte de las litologías del complejo ultramáfico, constituyen las rocas de caja que encierran al cuerpo de cromita.

Las dunitas serpentinizadas aparecen en su mayoría, alteradas de verde claro a oscuro hasta amarillo verdoso, he incluso tienen tonalidades grises dependiendo del grado de alteración que posea la roca y las mineralizaciones acompañantes. Su textura es masiva, aunque también aparece alterada, con algunos fragmentos de serpentinita en su masa (Torres-Viamontes; et. al., 2011).

Dentro de su composición mineral posee un 90 % entre minerales máficos y serpentiniticos: minerales máficos como olivino, clinopiroxeno y ortopiroxeno, entre un 30 y 50 %, minerales del grupo de la serpentina en un 40 %, y restante minerales metálicos (óxidos de hierro, magnetita, espinelas de cromo) de 2-15 % e incluso pueden tener cierto grado de cloritización según (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

Las peridotitas mayoritariamente se encuentran serpentinizadas, alteradas, de color verde claro a oscuro con tonalidades gris oscuro. Presenta zonas con peridotitas oscuras compactas con piroxenos bastitizados, vetas y planos de agrietamiento rellenos por serpentina verde o carbonato, en partes puede estar mezclado con boudines de dunita serpentizada. Las peridotitas predominantes son las harzburgitas y wherlitas. Para la wherlita es particular contenido de olivino entre un 20 y 50 %, de los piroxenos los clinopiroxenos son más abundantes con contenidos de 10-15 %, los ortopiroxenos entre 1-3 % y minerales del grupo de la serpentina en un 30 %.

Las peridotitas y dunitas se pueden encontrar intercaladas entre ella y transicionando a serpentinita, (González-Pontón; et. al., 2007; González; Richter y Gálvez, 1993; González; et. al., 1989). Las serpentinitas propias de la alteración del mineral olivino en las dunitas y peridotitas, contienen minerales del grupo de la

serpentina entre un 40-50 % hasta un 90 %, y restos de mineral metálico (con un 10 %) (Ramírez-Durán; et. al., 2014). Predomina la antigorita como mineral del grupo de la serpentina. Se encuentra de color verde claro a oscuro con tonalidades amarillosas según el grado de alteración.

Puede contener fragmentos de peridotita y dunita que no han sido transformadas aún en serpentinita y quedan atrapadas en ella. Debido al grado de alteración en algunas zonas presenta un aspecto arcilloso, deleznable, con diseminaciones de cromita en algunos sectores. Microscópicamente la serpentina se encuentra en forma de rejilla encerrado minerales metálicos (Ramírez-Durán; et. al., 2014).

Las rocas máficas en el yacimiento están representadas por el gabro, en las variedades de gabro olivínico (anortositas y noritas) y gabro leucocrático (troctolita, contiene material feldespático en su composición mineralógica, principalmente plagioclasas). Se presentan de granos finos a gruesos que buzan abruptamente imbricadas entre las diferentes litologías. Los gabros en algunas zonas del yacimiento son muy compactos, en otras pueden estar muy destruidos y alterados.

De manera general todas las litologías del complejo contienen lentes o vetillas de gabro leucocrático compacto o alterado, diques de magnesitas en planos de exfoliación de pocos centímetros entre 5 y 10 cm y grietas rellenas de carbonato. Todas las rocas del yacimiento contienen mineralización de óxido de hierro comportándose esta mineralización como planos de oxidación dentro de la roca, dándoles un aspecto oxidado rojizo.

Forma del yacimiento

El cuerpo de cromita se presenta como son la mayoría de los cuerpos en la región cromífera de Camagüey: podiforme, irregular y muy tectonizado. Particularmente en forma de lente, con yacencia inclinada abrupta hacia el SW con un ángulo de buzamiento aproximado de 70° y un sistema de fallas que lo cortan. La potencia es variable debido al acuñaamiento, va desde 10.4 m de potencia al NE hasta 1 m en su parte SW, yace entre la superficie y 40 m de profundidad por el rumbo y se extiende 35 m por su buzamiento.

Tipo de mena según las exigencias industriales: menas de tipo refractarias.

Tipo de mena: Espinela Cromífera **(Mg, Fe) (Cr, Al, Fe)₂ O₄**

Texturas – Estructuras: como textura predominante en el yacimiento para el cuerpo de cromita principal es la hipidiomórfica, aparecen la panidiomórfica, alotriomórfica nodular, alotriomórfica reticular y reticular fibrosa en las rocas de caja (Ramírez-Durán; et. al., 2014). Todos los tipos de serpentinitas sufrieron alteraciones tectónicas, las cuales presentan fábrica foliar trituracional, brechosa y milonítica, (Torres-Viamontes; et. al., 2011).

Las estructuras predominantes en las menas del yacimiento, son las masivas hasta diseminadas que en algunas zonas pueden llegar a ser foliadas o brechosas (cromita destruida, de granos irregulares compactados) e incluso bandeadas según el grado del agrietamiento.

Mineralogía de las menas (principal y acompañante)

La composición mineralógica principal de las menas del yacimiento "Victoria II" es: cromita - **Cr₂O₄ Fe** masiva y compacta constituye el mineral predominante aunque pueden existir otras combinaciones. Presenta granos anhedrales, euhedrales o subhedrales, mayoritariamente cementados por serpentina. Los granos pueden ser mayores de 0.1 mm.

Las mineralogías acompañantes en el yacimiento son principalmente sulfuros diseminados que representan el 1%, incluyendo Pirita-Melnicovita (**FeS₂**), Calcopirita (**FeCuS₂**), Bornita (**FeCu₃S₄**), Galena (**PbS**) con granos entre 0.005 y 0.1 mm. Estos se encuentran acompañado por el mineral no metálico serpentina ocupando las grietas en la masa cromítica.

El olivino **(Mg Fe)₂ SiO₄** puede alcanzar hasta una 50% en la mena, también se encuentran clinopiroxenos y ortopiroxenos **(Mg Fe)₂ Si₃O₄** entre un 5 y 15% y el rutilo (**TiO₂**) se encuentra en pequeñas concentraciones aproximadamente 0.4 %.

Intemperismo

El intemperismo de las menas cromíferas es visible en el yacimiento, se manifiestan en el proceso de hidratación y alteración del mineral olivino $(Mg\ Fe)_2SiO_4$ constituyente esencial de las dunitas que al alterarse da origen a el mineral de la serpentina $Mg_3Si_2O_5(OH)$, constituyente clásico de la roca serpentinita. En el yacimiento la dunita y peridotita en algunas zonas transicionan a serpentinita. En el área no existen manifestaciones de lateritas silicatadas, oxidadas o arcillosas producto del intemperismo de las rocas ultramáficas.

El intemperismo de las menas cromíticas del yacimiento se manifiestan en la oxidación supergénica de los sulfuros acompañantes tanto en las menas como los sulfuros localizados en los diques de gabro esto se manifiesta en la coloración rojiza que toma la mineralización al oxidarse, las cromititas se mantienen con pocas alteraciones superficiales.

Controles de las menas

El control de la mineralización de las menas del yacimiento Victoria II es magmático y tectónico, es decir, su ubicación espacial está relacionada con el Complejo Ofiolítico de Camagüey, que representa restos de la antigua zona de transición entre la porción superior del manto y la base de la antigua corteza oceánica. El cuerpo mineral se localiza en una zona de agrietamiento intenso con dirección SW, se emplazó en esta zona después del fallamiento de la roca de caja.

Condiciones hidrogeológicas del yacimiento.

Según los resultados de los trabajos hidrogeológicos realizados por (Ramírez-Durán; et. al., 2014), planteó: *"estamos en presencia de un acuífero freático, agrietado, cuyo agrietamiento está subordinado a la tectónica, que se manifiesta con la presencia de fallas que pasan por el yacimiento, las cuales sirven de vías de almacenamiento y circulación de grandes volúmenes de agua, que le confieren una altísima permeabilidad"*. Las propiedades de filtración de las rocas son muy altas, con un coeficiente de filtración de 75.75 m/día y una piezoconductividad promedio de 656 m²/día.

Tipos de yacimientos minerales asociados

Pequeñas manifestaciones de carbonato, magnesita y talco asociadas a la actividad hidrotermal en las litologías del complejo ofiolítico. El Complejo Ofiolítico de Camagüey es rico por la diversidad de mineralizaciones metálicas que en él se desarrollan, para este yacimiento mineralización de rutilo, sulfuros diseminados de cobre e hierro. No se tienen datos de mineralizaciones de los Elementos del Grupo del Platino y del Oro o yacimientos productos al intemperismo de las rocas ultramáficas.

Criterios de exploración.

Los criterios utilizados para la búsqueda de los cuerpos cromíticos están basados en las zonas donde existan rocas de origen magmático, asociadas a un magmatismo ultramáfico y en donde estas litologías afloren o prácticamente afloren producto a complicados movimientos tectónicos que las emplazaron. Los índices de exploración o criterios básicos que se utilizan para la búsqueda de yacimientos de este tipo, son:

1. Las aureolas de dispersión de elementos químicos meníferos y acompañantes que se desarrollan alrededor del cuerpo menífero
2. Los flujos de dispersión originados cuando estas aureolas son desplazadas en una determinada dirección a causa de los procesos exógenos, se encuentran elementos dispersos en sedimentos de ríos, en el suelo, e incluso en la constitución de las plantas que yacen sobre ese suelo.
3. Se utilizan las anomalías magnetométricas como criterios debido al alto grado de magnetismo que presentan las rocas de este tipo, producto a la presencia de elementos como Cr_2O_3 , TiO , MgO y otros.
4. Se utilizan como criterios los datos o archivos de trabajos de explotación de yacimientos de este tipo en la región, afloramientos de minerales útiles, zonas de escombreras que puedan datar mineralizaciones acompañantes del mineral útil, ruinas de hornos de fundición y colas metalúrgicas que daten el tipo de mena.

3.3 Interpretación de los perfiles geológicos

Para el yacimiento se representaron 5 perfiles verticales y cuatro transversales inclinados, que corresponden con las direcciones preferenciales de inclinación que siguen los cuerpos de rocas del yacimiento y el rumbo respectivamente (ver anexo de figura 1). A continuación se presenta la interpretación de cuatro perfiles geológicos que representan las zonas de mayor complejidad geológica del yacimiento, tres perfiles longitudinales verticales y uno transversal inclinado. Los perfiles geológicos permiten correlacionar los rasgos geólogo-estructurales de las rocas.

Interpretación del perfil geológico II-vertical

El perfil II-vertical está representado por los pozos Cr-4-91BDV; Cr-4-85BDV y VED-1, en esta zona las rocas yacen inclinadas siguiendo la dirección predominante del cuerpo de cromita hacia el SW (ver anexo de tabla 2). La potencia del cuerpo es variada en este perfil, la mayor potencia corresponde con la zona perforada por el pozo Cr-4-85BDV de 11 m. Para este perfil el cuerpo afloró en la trinchera T-3-BDV a 1m de profundidad (esto es según la profundidad planificada para las trincheras).

Según los valores de la dirección de buzamiento las serpentinitas y peridotitas del nivel inferior del corte, cambian en la zona comprendida entre los pozos VED-1 y Cr-4-85BDV hacia el NE (ver anexo de tabla 2). El cambio se realiza debido al proceso de encajonamiento o corte de las serpentinitas entre las peridotitas.

El cuerpo de cromita también cambia de dirección en la zona de borde entre el pozo Cr-4-91BDV hacia el NE este cambio también es debido al movimiento del cuerpo de cromita entre la peridotita. La presión que ejerce el cuerpo mineral al ser movido entre las rocas hace que este falle y cambie de dirección. La línea de falla fue ocupada por un cuerpo de gabro.

En este perfil las dunitas se comportan como cuerpos independientes con ángulos de buzamiento diferentes (ver anexo de tabla 2) a diferencia del perfil I-vertical (ver anexo de tabla 1) donde la dunita se encuentra por encima de la cromita subordinándose preferentemente a la dirección de buzamiento que sigue este (ver anexo de figura 1).

Se puede identificar en el perfil II-vertical la dunítica alrededor del cuerpo cromífero, pero gran parte de ella a transicionando a serpentinita y ha sido tectonizada. Es por ello que la roca encajante que rodea al cuerpo cromífero por debajo en esta zona del yacimiento es una combinación dunítica-serpentinítica.

Mayoritariamente las rocas serpentiniticas se encuentran cerca de la superficie donde el nivel de oxígeno es alto y la humedad influye directamente en la transformación del mineral olivino a serpentina, como se muestra en este perfil y en el perfil IV-inclinado.

En el yacimiento se pueden encontrar serpentinita en niveles profundos (ver anexo de figura 6), al parecer el contacto tectónico con la dunita permitió la filtración de agua en estas zonas de agrietamiento que pudo provocar la transformación y alteración de la dunita en serpentinita.

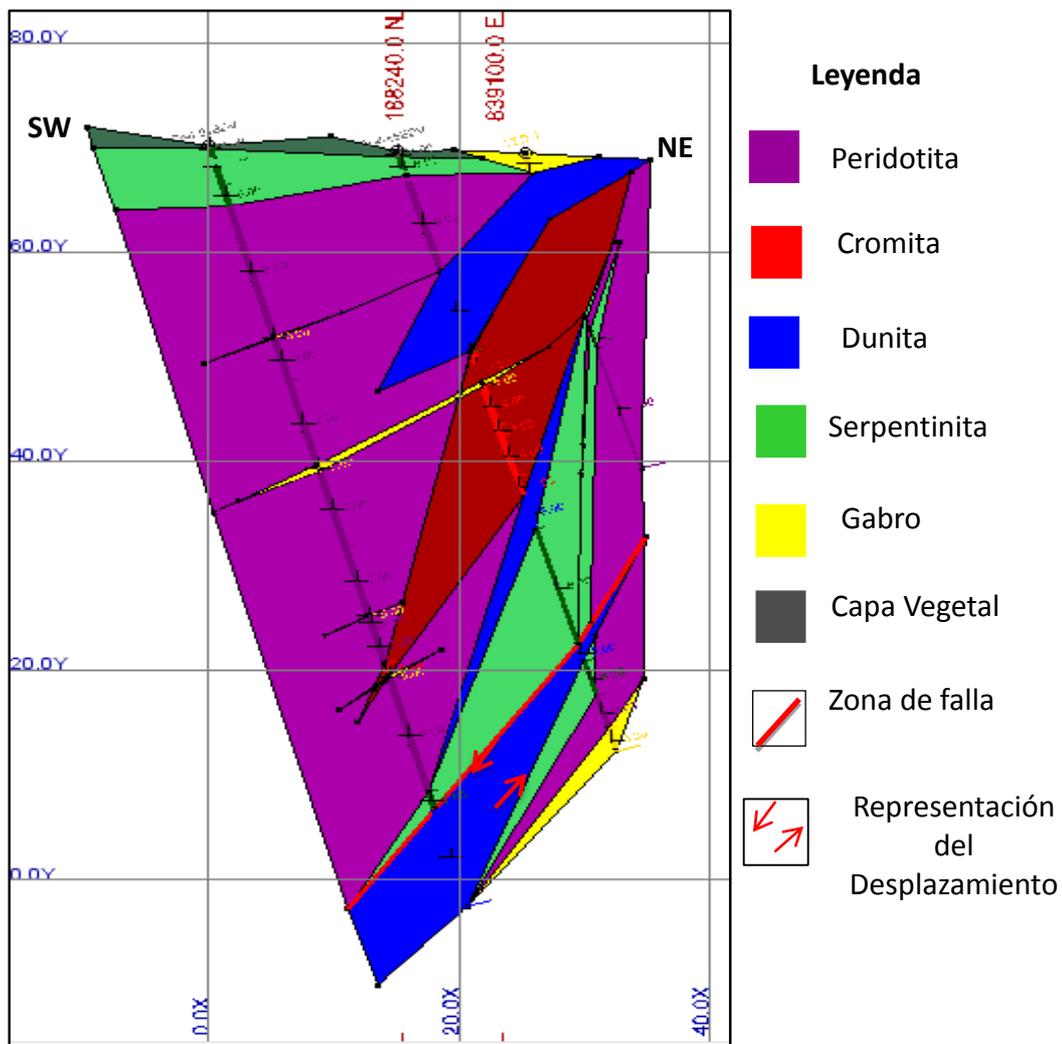


Figura No 14: Representación del Perfil II-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000.

Entre el pozo Cr-4-85BDV y VED-1 la dunita del nivel inferior del perfil yace horizontalmente en comparación con la serpentinita y el otro cuerpo de dunita que sobreyacen. Procesos tectónicos provocaron que ella se moviera y cortara horizontalmente a la peridotita, la dirección de agrietamiento principal es la dirección que sigue la roca en este nivel.

El cuerpo cromífero, las rocas duníticas y las serpentinitas dan un aspecto de cortante a la roca peridotítica esto también es notable en el perfil I-vertical (ver anexo de figura 1). En esta zona del yacimiento la peridotita se acuña hacia el NE entre la roca dunítica, en cambio la serpentinita, el cuerpo cromífero y la dunita se acuñan hacia el SW.

Procesos tectónicos originados durante el proceso de emplazamiento de la ofiolitas provocaron que las rocas duníticas y el cuerpo de cromita se movieran y dieran un aspecto cortante a la peridotita. Esto se demuestra pues en las muestras de pozos dentro de la masa dunítica en zonas de contacto con las rocas peridotíticas, existen fragmentos de peridotitas disgregadas. Las direcciones preferenciales de buzamiento de las rocas es subordinante a las principales zonas de agrietamiento para todo el yacimiento.

En la zona inferior del corte en el contacto dunítico-serpentinítico entre los pozos Cr-4-91BDV y Cr-4-85BDV fueron documentados espejos de fricción en las rocas, foliación de las rocas y agrietamiento intenso. Se puede deducir que dichos agrietamiento están relacionados entre sí representando una misma dirección de esfuerzos tectónicos, en esa zona como se muestra en el perfil II-vertical.

En esta zona del yacimiento prevalecen las peridotitas sobre las dunitas y serpentinitas; los gabros se encuentran como lentes alargados imbricados entre las demás litologías del yacimiento y el cuerpo de cromita. Los cuerpos de gabro dan un aspecto de cortante a las demás litologías del complejo y al cuerpo de cromita, la forma alargada que poseen también está asociada a los movimiento tectónicos que después del emplazamiento provocaron que estas rocas se movieran siguiendo las direcciones preferenciales de esfuerzos. Por ello todos los cuerpos de gabro poseen valores similares de buzamiento hacia el SW (ver anexos de tabla).

En el pozo Cr-4-85BDV la cromita de color negro, contiene fragmentos compactos de granos con abundantes serpentina de color verde claro en el nivel 20.0 m. Dicha serpentinita de pocos centímetros encaja al cuerpo mineral junto a la dunita en la parte superior de esta zona y presenta espejos de fricción según la documentación en pozo. Esto demuestra que el cuerpo de cromita y la dunita estuvieron sometidos a esfuerzo tectónico.

Interpretación del perfil geológico III-vertical

Este perfil representa según el análisis de todos los cortes geológicos, una de las zonas de mayor complejidad tectónica en el yacimiento. Está compuesto por la información que brindan los datos de los pozos Cr-4-83BDV, V-4-5BG, VED-9 y VED-2. El cuerpo de cromita yace inclinando hacia el SW, el pozo VED-9 fue prospectado vertical y el pozo V-4-5BG inclinado, ambos cortan la zona de mayor potencia del cuerpo, por lo que llamamos esta zona que ocupa este perfil, "la zona central del yacimiento". El pozo V-4-5BG muestra la potencia real de este en esa zona 9.80m.

La dunítica a sido desplazada, la peridotita contacta bruscamente con la serpentinita y los gabro se entretajan entre ellas. Los procesos tectónicos provocaron un desplazamiento de la peridotita en zonas interiores de la masa dunítica como se muestra entre el nivel 38-40 m del pozo V-4-5BG.

Existe una incertidumbre geológica entre el pozo V-4-5BG y el pozo Cr-4-83BDV, en esta zona el perfil indica una correlación de las dunitas entre el nivel 21.80-41.50 del pozo V-4-5BG y las dunitas del nivel 28.75-39.90 m del pozo Cr-4-83BDV y entre las peridotitas presentes dentro de la masa dunítica, así como del cuerpo cromífero.

No existe documentación más precisa que permita aclarar cual litología prevalece en esta zona, si la cromita o la dunita, al parecer una corta a la otra. Se correlacionó la cromita del pozo V-4-5BG y el pozo Cr-4-83BDV pues el grado de acuñaamiento de esta roca da a entender continuidad geológica del cuerpo. El perfil muestra un desplazamiento vertical de las dunitas, peridotitas, serpentinitas, el dique de gabro y el cuerpo cromífero a través de una falla de tipo normal

(bloque yacente con una posición mas alta sobre el colgante) con dirección de buzamiento 237 / 76.9° SW entre el pozo V-4-5BG y el pozo Cr-4-83BDV.

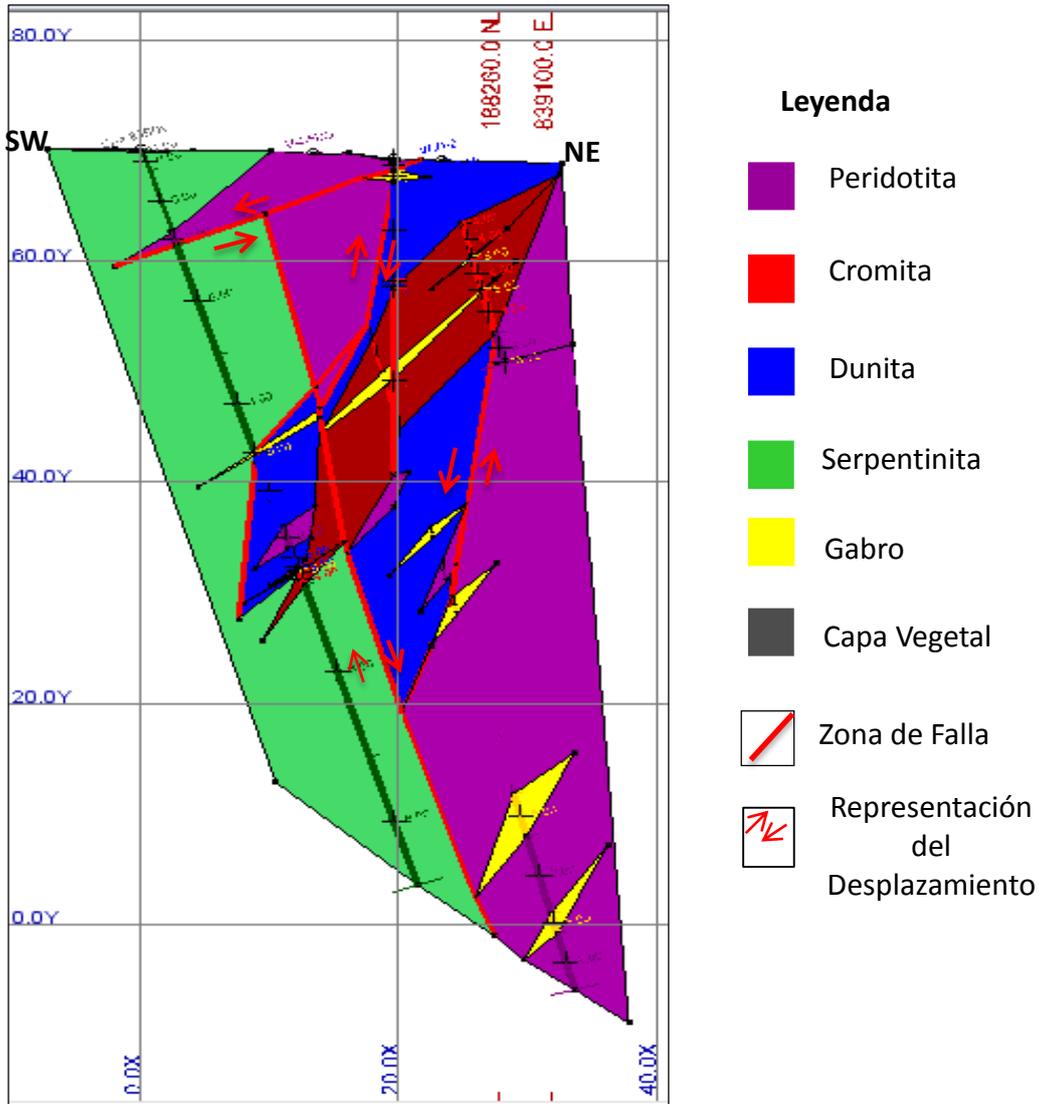


Figura No 15: Representación del Perfil III-vertical en 2D en dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000.

En (Ramírez-Durán; et. al., 2014) se había planteado la posible existencia de una falla y un posible cambio de rumbo del cuerpo de cromita en esta zona comprendida entre los perfiles I – I´ y el II - II´, en esta investigación perfiles II y III-verticales respectivamente. El perfil III-vertical vuelve a demostrar el enterramiento y emplazamiento del cuerpo de dunita y cromita dentro de la roca peridotítica, quedando dentro de la masa dunítica relictos peridotíticos, datado en la descripción litológica de los pozos.

El corrimiento de las rocas es demostrado por su buzamiento, si se observa en el perfil la dunita y la cromita tienen un buzamiento mayoritariamente más abrupto inclinado hacia el SW, en comparación con las peridotitas y serpentinita (ver anexo de tabla 3). El perfil demuestra el comportamiento en forma de bloques independiente de la dunita alrededor del cuerpo mineral que eran parte de un mismo cuerpo dunítico que ha sido afectado por la tectónica.

Según las direcciones preferenciales de las fallas (ver anexo de tabla 4) y el comportamiento de las rocas en el perfil, se plantea un posible orden de desplazamiento de las rocas. Para el yacimiento el proceso de cabalgamiento y emplazamiento del complejo ofiolítico en zonas superiores de la corteza terrestre posibilitó el sobrecorrimiento de las rocas una dentro de otras.

Según el perfil representado, fallas de primer orden con yacencia inclinada movieron al paquete dunítico-cromítico dentro del paquete peridotítico. Posteriormente una falla vertical de tipo normal de segundo orden, con yacencia casi vertical entre 70° y 80° desplazaron las rocas, en combinación con otras de tipo horizontal inclinadas de tercer orden.

Las fallas de tercer orden después de ser cortados los cuerpos por la falla de tipo normal, permitieron el descenso y ascenso de las rocas, por ejemplo la dunita y peridotita del nivel superior del corte entre el pozo Cr-4-83BDV y VED-9 descendieron según la representación del modelo geométrico aproximadamente 2.00 m.

La roca peridotítica del nivel superior del corte del pozo Cr-4-83BDV fue emplazada en esta zona por una falla de tercer orden que permitió el corrimiento y movió al paquete peridotítico dentro del serpentinitico. Si se observa el perfil IV-inclinado (ver anexo de figura 6) se puede evidenciar un comportamiento similar de la roca peridotítica con la serpentinita en el nivel superior.

El perfil III-vertical indica que esta falla de tipo normal falló al cuerpo de cromita y a un dique de gabro entre los pozos V-4-5BG y Cr-4-83BDV, no se conoce el comportamiento en los contenidos químicos del cuerpo mineral en esta zona de fallamiento. Podría existir cierto grado de milonitización en la roca y posiblemente la cromita se encuentre mayoritariamente del tipo diseminada.

La diseminación de la cromita en las zonas de borde es típico de estos tipos de yacimientos, debido a que durante el proceso de diferenciación magmática la masa fundida fue cristalizando gradualmente desde el interior al exterior, los mayores contenidos de cromita se manifiestan en la zona central, diseminándose hacia sus bordes.

Primeramente el magma cedió mayor cantidad de minerales ferrosos de las espinelas cromíferas y poco olivino en la zona que ha sido ocupada por el cuerpo cromífero. Luego al agotarse los minerales de las espinelas el magma empezó a ceder olivino y otros minerales acompañantes que constituyen el cuerpo de roca encajante ultrabásica.

Interpretación del perfil geológico IV-vertical

El perfil IV-vertical, representa una zona muy interesante del yacimiento, representado por los pozos VED-4, VED-5, Cr-4-89BDV y VED-3, en él permanece la dunítica alrededor del cuerpo cromífero, seguido de la peridotítica, típico de los yacimiento de cromitas de tipo refractarias. Para el yacimiento de manera general esta regla no se cumple, debido al gran tectonismo que poseen las rocas, solo parcialmente como en este caso.

La yacencia del cuerpo mineral sigue siendo inclinada hacia el SW, pero en esta zona no se acuña. Posee un aspecto de bolsa en su parte inferior, con comportamiento de cromita masiva y potencia de 14.9 m. La dunita se encuentra como un cuerpo circundante al cuerpo mineral en esta zona del yacimiento que se acuña hacia el SW.

La forma que posee el cuerpo de cromita en su borde da a entender que ha sido cortado tectónicamente, pero no se cuenta con información descriptiva litológica suficiente que permita demostrarlo. Aun así entre el pozo VED-4 y VED-5 no existe pozo de documentación que pruebe un acuñamiento de la cromita entre ellos dos y en el pozo VED-5 no se describe cromita en la documentación de pozos que permita correlacionarlos. Sucede que el pozo VED-5 constituye el único pozo de documentación en la línea del perfil III-inclinado (ver anexo de figura 5).

Comparando el perfil IV-vertical con el perfil III-vertical, para este último en el epígrafe anterior se había correlacionado la cromita del pozo Cr-4-83BDV con la del pozo V-4-5BG por el grado de acuñamiento de la roca. Sin embargo el pozo VED-5 que corresponde con la línea del perfil IV-vertical analizado muestra entonces que prevalece la dunita sobre la cromita en esta zona cortando una a la otra respectivamente.

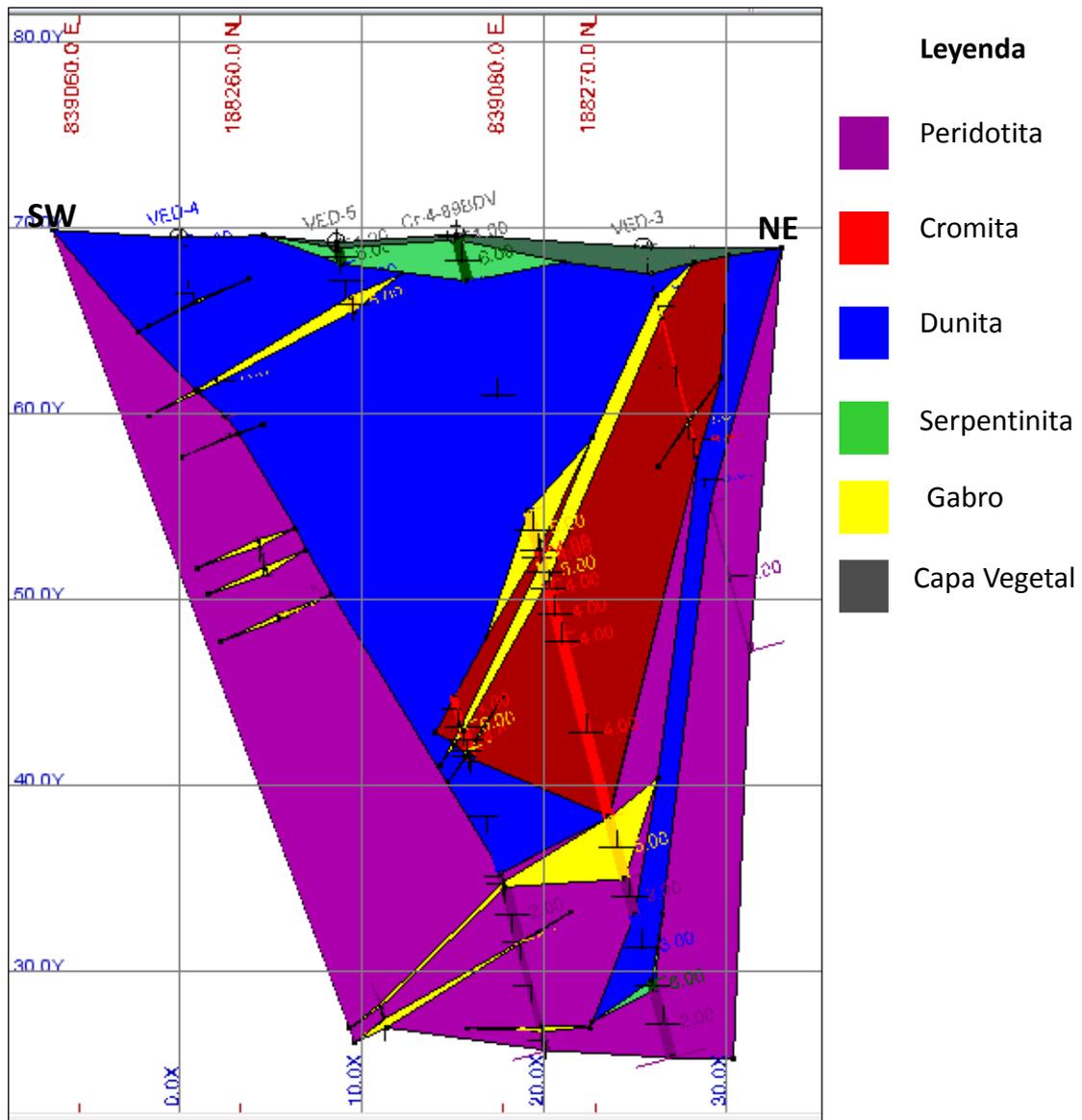


Figura No 16: Representación del Perfil IV-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala del modelo 1.1000.

Se dice entonces que la zona del yacimiento comprendida por los pozos VED-4, VED-5, Cr-4-83BDV y V-4-5BG constituye una zona de incertidumbre geológica entre el perfil III y IV-vertical. El contacto entre las dunitas y peridotitas aunque

sea bien definido en el perfil y al parecer no hubo desplazamiento, en los pozos VED-4 y VED-5 son descritos zonas de agrietamiento, rocas foliadas, tectonizadas y fracturadas lo que demuestra que el cuerpo de dunita estuvo sometido a esfuerzo. Además es notable como la dunita de la zona inferior del corte del pozo Cr-4-89BDV ha sido separada por procesos tectónicos de la masa dunítica original.

Esto se plantea pues en el nivel 37.90 - 41.50 m de este pozo el cuerpo dunítico posee cromita diseminada en su masa, lo que sugiere que estuvo en algún momento en contacto con la cromita. Por ello la peridotita entonces se adentra en la masa cromítica-dunítica sustituyendo tectónicamente a la dunita en la zona inferior que contacta con el cuerpo mineral.

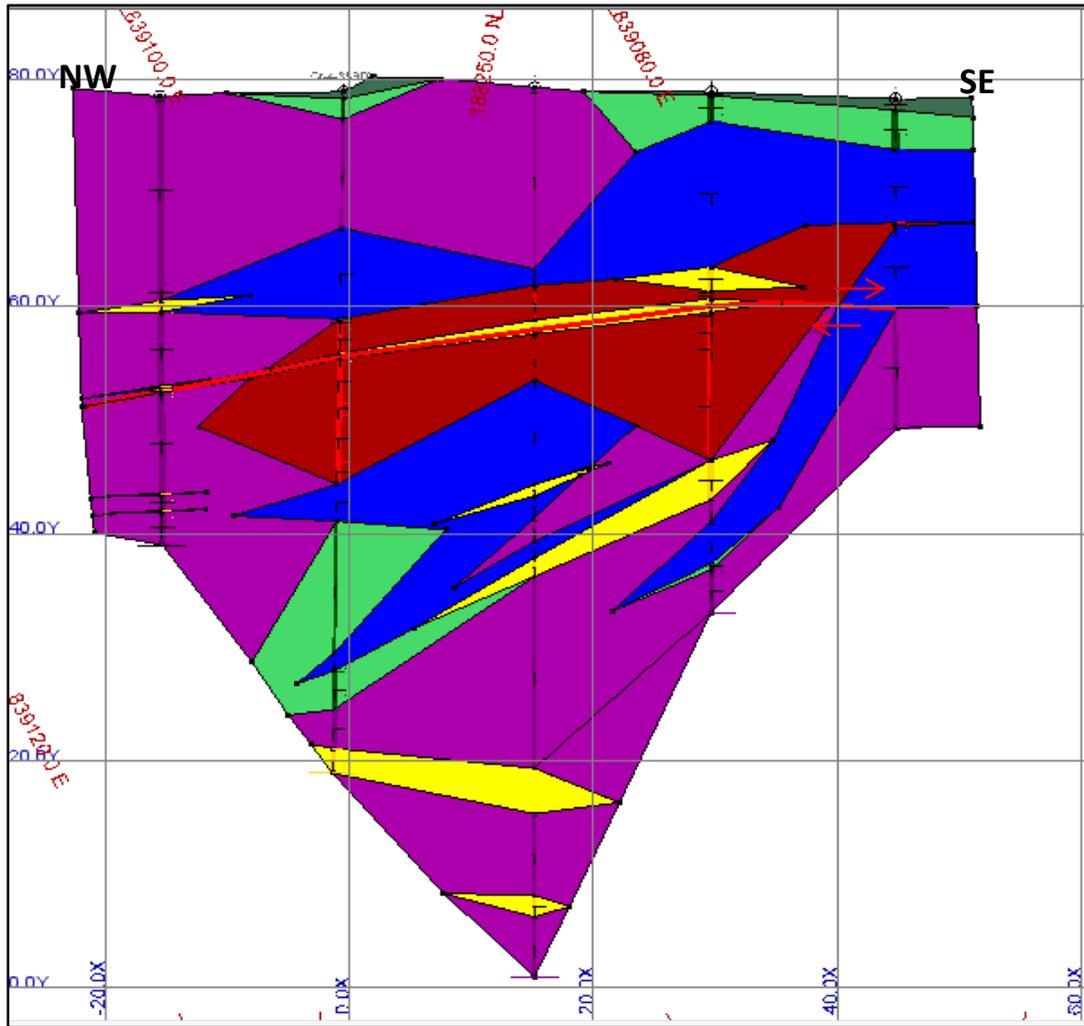
El cuerpo de cromita presenta milonitización y agrietamiento intenso al igual que la masa dunítica. La dunita en su parte superior transiciona a serpentinita donde su yacencia es casi horizontal con respecto a la superficie terrestre, en comparación con la zona de contacto con el cuerpo mineral que es inclinada.

Se representan diques de gabro de gran extensión que atraviesan al cuerpo mineral y que por tanto contienen cromita diseminada en su masa. Los diques han sido movidos a través de direcciones principales de agrietamiento y presentan cierto grado de exfoliación. También se encuentran milonitizados en esta zona siendo ellos una prueba fehaciente de los esfuerzos tectónicos a los que ha sido sometido el yacimiento.

El aspecto en forma de bolsa en la parte inferior del cuerpo mineral y la poca potencia de la masa dunítica en la zona inferior del perfil da a entender que durante los procesos de diferenciación magmática la masa fundida cedió para esta zona mayor cantidad de minerales de las espinelas cromíferas y poco olivino. El perfil V-vertical muestra la continuidad y hasta donde se acuña el cuerpo de cromita entre la dunita transicionando a serpentinita por encima y en contacto por debajo con la peridotita (ver anexo de figura 3).

Interpretación del perfil geológico II-inclinado

El perfil II-inclinado está representado de oeste a este por la información que brindan los pozos VED-6, Cr-4-85BDV, V-4-5BG, Cr-4-89BDV y VED-8. A diferencia de los anteriores perfiles este representa la extensión de los cuerpos de rocas por el rumbo. La dunítica ha sido desplazada entre el pozo Cr-4-89BDV y VED-8 unos metros por debajo del cuerpo mineral.



Leyenda

- | | | | |
|--|--|--|---|
|  Peridotita |  Dunita |  Gabro |  Zona de falla |
|  Cromita |  Serpentinita |  Capa Vegetal |  Representación del Desplazamiento |

Figura No 17: Representación del Perfil II-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala del modelo 1: 1000.

En el nivel 37.90-41.50 m del pozo Cr-4-89BDV el cuerpo dunítico posee cromita diseminada en su masa, lo que sugiere que estuvo en algún momento en contacto con la cromita. La serpentinita que subyace a la dunita en esta zona presenta espejos de fricción que es un criterio fehaciente de que la roca ha sido sometida a esfuerzo tectónico. Por ello la peridotita entonces se adentra en la masa cromítica-dunítica sustituyendo tectónicamente a la dunita en la zona inferior que contacta con el cuerpo mineral.

El desplazamiento del cuerpo mineral en su borde superior hacia el este indica la posible presencia de una falla de deslizamiento por el rumbo que cortó al cuerpo mineral. El cuerpo debería acuñarse entre el pozo Cr-4-89BDV y VED-8, en cambio lo hace siguiendo esa dirección de fallamiento hacia este entre el pozo VED-8, adentrando la masa cromítica entre la dunita bruscamente, donde la cromita se comporta de tipo diseminada.

Fueron representados en los perfiles anteriores para todo el yacimiento diques de gabro con dirección SW, este perfil muestra diques de gabros transversales que coinciden con el rumbo de los cuerpos de rocas a estos con dirección NW. La documentación en pozo corrobora la existencia de vetillas alargadas de material leucocrático transversales a la dirección que siguen los cuerpos de rocas. Las direcciones preferenciales que siguen los diques de gabro constituyen las direcciones principales de esfuerzo tectónico para el yacimiento.

Esfuerzos en dirección SW movieron al paquete dunítico dentro de la masa peridotítica, movimientos progresivos con dirección NW adentraron y enterraron a la masa peridotítica entrelazándola con la dunítica-serpentinítica. En (González; et. al., 1989) se había planteado que el cuerpo de cromita posiblemente se encontrara en un punto de cruce de fallas de diferente orientación.

Según muestra este perfil todos los cuerpos de rocas poseen un rumbo subordinado al del cuerpo de cromita preferentemente N33⁰W. Los anexos de figuras 4, 5 y 6 muestran la distribución por el rumbo de los diferentes cuerpos de rocas y su continuidad. El pozo VED-8 del perfil III-inclinado (ver anexo de figura 5) muestra como el cuerpo mineral se acuña en dirección SW pero es insuficiente la información que brinda con respecto a la extensión por el rumbo.

3.4 Presentación del modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II".

El propósito crucial del modelo geométrico es determinar los límites físicos, la forma, el grado de continuidad y acuñaamiento que caracterizan a los diferentes tipos de rocas del yacimiento en estudio. El conocimiento geomorfológico de las estructuras geológicas de los diferentes tipos de rocas influye directamente en el desarrollo de la explotación minera.

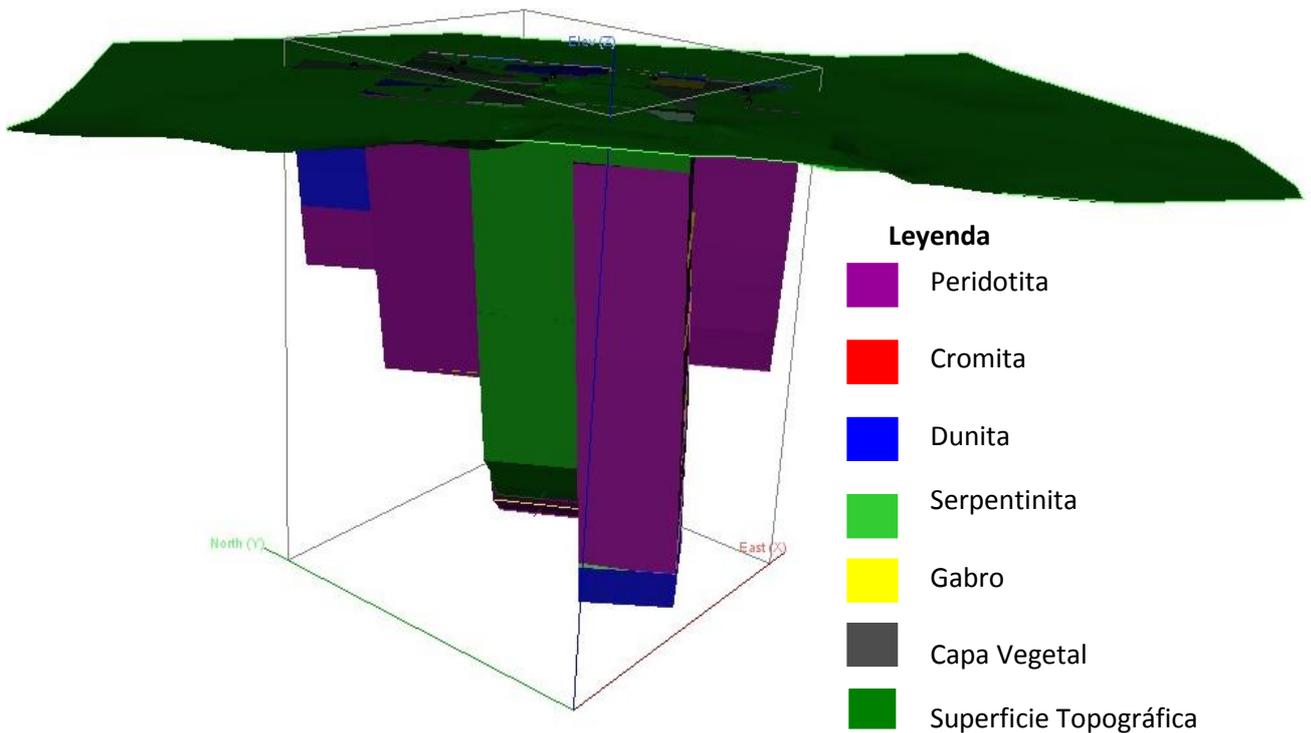


Figura No 18: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

Los sólidos reflejan el proceso de formación, cambios tectónicos consecuentes, la continuidad geológica de las rocas y el grado de complejidad del yacimiento. Predicen el rendimiento del yacimiento y forman parte del diseño de un esquema administrativo de la producción que optimiza la calidad de extracción del mineral. La optimización depende de manera crucial de la descripción geológica del yacimiento y la calidad del modelo geométrico. Lo anexos de figura 7 y 8 muestran la vista frontal y lateral del modelo.

Los sólidos creados le dan a la roca un aspecto de prismas rectangular y triangular dependiendo de su base, este tipo de sólidos permiten representar a las rocas según un área de influencia de 7.5 m dependiendo de la distancia media entre los pozos de perforación. El modelo representa un yacimiento donde la dirección de buzamiento de las rocas es subordinante unas a otras con una constitución compleja desde el punto de vista geólogo-estructural.

Las rocas están distribuidas de manera caótica donde la forma originaria de los cuerpos de rocas no se conserva debido al gran tectonismo a la que ha sido sometido el yacimiento. Por lo que se encuentran cuerpos de rocas separados por superficies de fallas. Este tipo de comportamiento caracteriza a los yacimientos que han sido emplazados de zonas profundas de la corteza a zonas superiores por los procesos de cabalgamiento.

El yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" se comporta como un melange ofiolítico en donde las rocas yacen imbricadas unas con otras. Se encuentra en condiciones de yacencia secundarias, controladas por elementos tectónicos que se desarrollaron después del emplazamiento de las ofiolitas en la corteza superior.

3.5 Morfología y estructura de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita

A continuación se presentan los diferentes tipos de roca modelados en 3D. Lo cual permite plantear aspectos como la forma, continuidad y yacencia de los cuerpos de rocas útiles para la proyección y planificación de la minería en el yacimiento. La forma en que se relacionan los diferentes cuerpos de rocas aclara aspectos relacionantes con el origen y formación de estos tipos de yacimientos.

Morfología y estructura del cuerpo de cromita

La potencia máxima aparente del cuerpo de cromita se alcanza en los pozos: VED-2, Cr-4-85BDV y Cr-4-89BDV con valores de 10.40 m, 14.5 m y 13.05 m respectivamente. Su configuración en el yacimiento tiene semejanza con la forma de cuerpo podiforme en forma de lente, como muchos cuerpos de cromita de la región se hace mayor en el centro acuniándose hacia sus bordes SW y NE.

La línea de máxima extensión del cuerpo posee dirección N33⁰W, dirección a la cual se subordinan los restantes cuerpo de rocas pertenecientes al yacimiento. El ángulo de buzamiento del cuerpo de cromita varía entre 60⁰ - 75⁰, manteniendo una dirección de buzamiento preferencial de 239 SW hacia donde se inclina. Se extiende según su buzamiento desde la superficie hasta los 59 m al SW (ver anexos de tablas donde se muestran las direcciones de buzamiento del cuerpo de cromita por perfiles geológicos).

La configuración geomorfológica del cuerpo de cromita en forma de lente podiforme no se cumple completamente, entre el pozo VED-5 y Cr-4-89BDV al NW, pierde un poco esta configuración comportándose en forma de bolsa en su base (ver anexo de figura 12). El aspecto que posee en esta zona indica la posible ocurrencia de movimientos tectónicos que cortaron al cuerpo mineralizado. De esta manera se interrumpe la mineralización y el cuerpo no se acuña en esta gradualmente como ocurre en otras áreas del yacimiento (ver anexos de figura 10, 11 y 12).

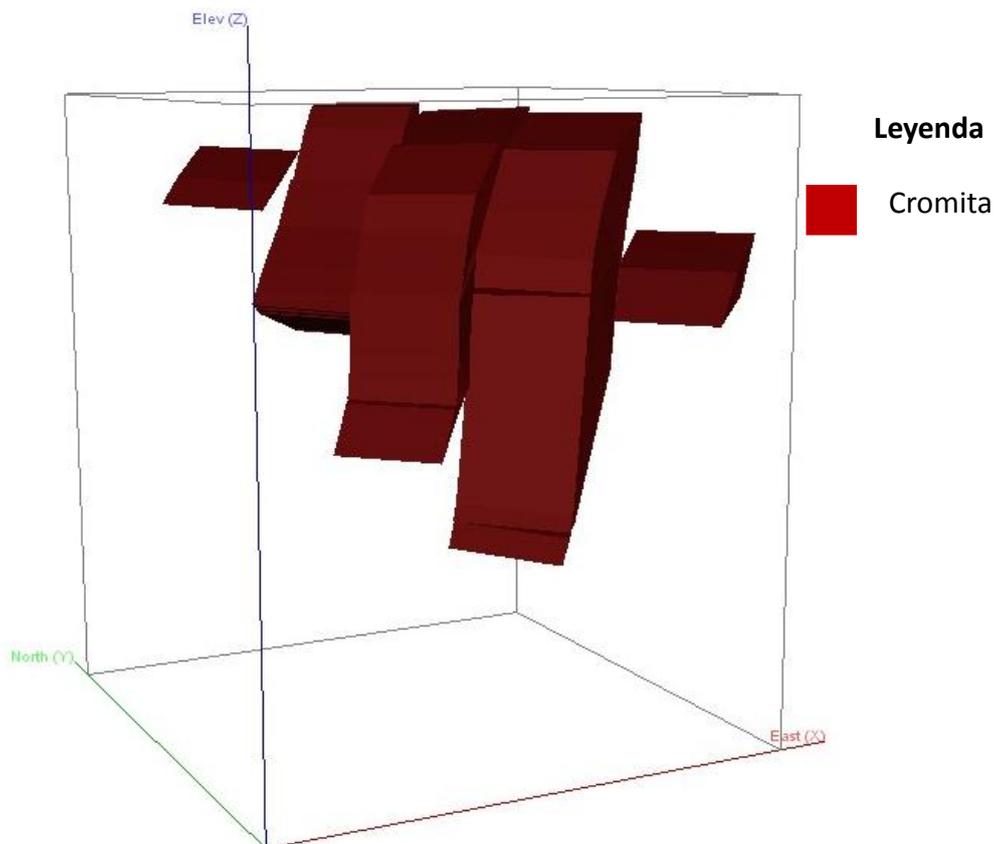


Figura No 19: Modelo geométrico del cuerpo de cromita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

Los sólidos modelados por perfiles geológicos verticales representan un solo cuerpo mineral que se acuña lateralmente en dirección NW y SE respectivamente y frontalmente hacia el SW y el NE. La separación del cuerpo en el modelo en forma de bloques no indica que se encuentre naturalmente yaciendo de esta manera, sino que la conformación y estructura que poseen estos tipos de sólidos le dan este aspecto.

Originalmente el cuerpo debería acuñarse gradualmente hacia los bordes pero en este caso el cuerpo cambia su configuración lateral, un grande cuerpo mineralizado que se acuña bruscamente. El anexo de figura 12 muestra otra vista frontal del cuerpo donde es notable un levantamiento en forma de bloque hacia el NW y el descenso hacia el SE, que pudo ser provocado como consecuencia de movimientos tectónicos que le dieron este aspecto.

De manera general el cuerpo de cromita presenta una constitución geológica en forma de lente podiforme modificado bruscamente por procesos tectónicos, relacionado espacialmente a litologías típicas del Complejo Peridotítico.

Morfología y estructura de la dunita

La roca encajante al cuerpo de cromita en estos tipos de yacimientos en su mayoría son dunitas. Los sólidos de representación muestran la roca dunítica desplazada por la tectónica presente en el yacimiento comportándose ella como bloques independientes.

Los cuerpos de rocas se alargan hacia el SW con dirección preferencial de buzamiento de 239 / 50⁰ acuñando sus bordes hacia esa zona entre las demás litologías del complejo. La roca no está desarrollada en su totalidad como un cuerpo circundante con una forma bien definida, sino que se ha desplazado a través de planos de agrietamiento, por ello la forma alargada que posee indicando entonces la dirección preferencial de la tectónica.

Los anexos de tabla muestran las direcciones de buzamiento de la roca dunítica por perfiles geológicos, es notable como la dirección de inclinación que poseen los cuerpos de dunita es subordinante a la dirección que posee el cuerpo de cromita. El anexo de figura 23 muestra el comportamiento geomorfológico de la dunita con respecto a la cromita donde ambas se acuñan hacia el SW.

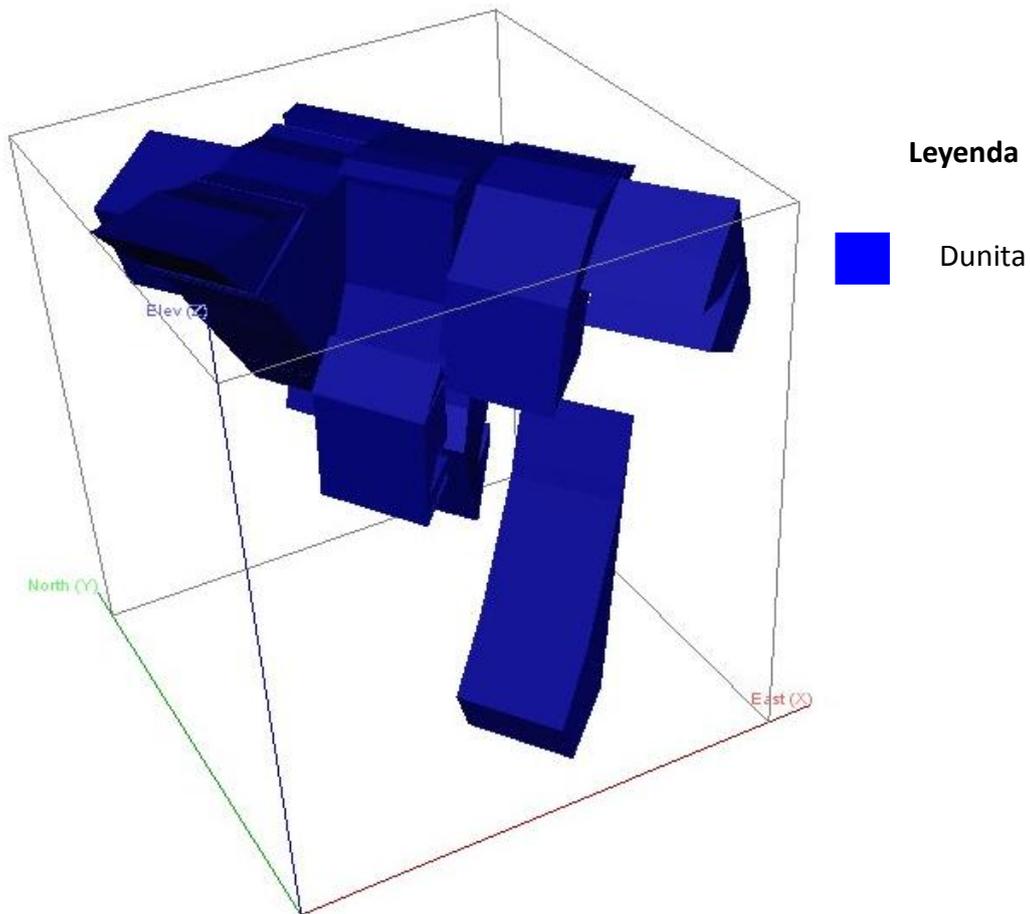


Figura No 20: Modelo geométrico del cuerpo de dunita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

Los anexos de figura 13, 14 y 15 muestran las vistas laterales y otra vista frontal del modelo de la roca dunitica. La forma originaria que tuvo el cuerpo de dunita fue como una masa circundante alrededor del cuerpo de cromita que se acuñaba hacia el NE y SW respectivamente.

Una prueba fehaciente de que la dunita ha sido desplazada de su forma original es la existencia de fragmentos pequeños de algunos centímetros de dunita en otras rocas del yacimiento, con diseminación de granos de cromita en las zonas que estuvieron en contacto con ella. Se dice entonces que el contacto entre la roca dunitica y la cromita es preferentemente magmático.

Morfología y estructura de la peridotita

En los alrededores del cuerpo mineral, encajando a la dunítica serpentinizada, se roca tectonizadas que constituye el tipo de roca que más prevalece en el yacimiento. El modelo de sólido muestra un cuerpo de peridotita casi tabular encerrando a las demás litologías del complejo. El cuerpo de roca crece morfológicamente en dirección vertical hacia arriba, haciéndose más extenso en su tope con respecto a su base.

La forma que presenta la roca peridotítica no se puede afirmar con certeza pues no existen pozos de documentación que permitan hacer una caracterización más amplia del yacimiento. Se comporta como un complejo de rocas que buzcan hacia el SW al igual que la roca dunítica y el cuerpo de cromita, determinado por elementos tectónicos que le dieron esta configuración (ver anexos de tablas que muestran las direcciones preferenciales de la peridotita por perfil geológico).

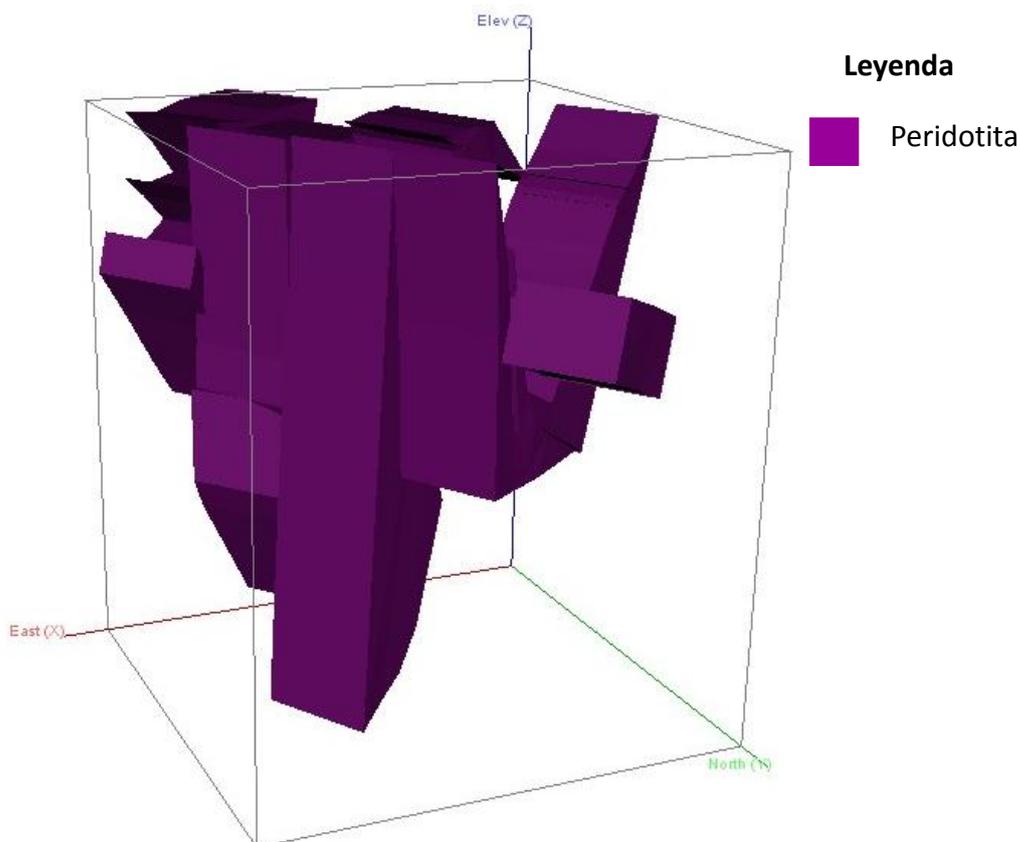


Figura No 21: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

Si se compara la forma de este tipo de roca con las dunitas, se plantea que la peridotita no ha sufrido mucho cambio estructural de su forma originaria. La correlación litológica entre pozos demostró que la roca que sufrió mayores desplazamientos durante los procesos de cabalgamiento fue la dunita con respecto a la peridotita que prevalece intacta.

La masa peridotítica por procesos tectónicos se adentra y entrelaza con la roca dunítica y el cuerpo de cromita. La cromita y dunita se acuñan hacia el SW entre la masa peridotítica y sin embargo esta última se acuña solo parcialmente hacia el NE entre la dunita y cromita. El anexo de figura 16, 17 y 18 muestran otras vistas del cuerpo de peridotita, el anexo 24 muestra la relación geólogo-estructural de la roca dunítica con el cuerpo de cromita mineralizado donde es visible el adentramiento e inclinación de la cromita que es cortante al cuerpo circundante peridotítico.

La peridotita constituye la roca que envuelve a todas las litologías del complejo, aunque ella se originó durante los procesos de diferenciación magmática, el contacto de la peridotita con el cuerpo cromítico es preferentemente tectónico, pues dicho contacto está determinado por estas estructuras. Prueba fehaciente es la existencia de fragmentos disgregados de material cromífero en la roca que lo encaja. En el pozo Cr-4-91BDV el cuerpo de cromita se acuña y dentro de la masa cromífera se encuentran pequeños fragmentos de peridotitas (roca que le rodea) y viceversa.

Morfología y estructura de la serpentinita

La serpentinita es un tipo de roca que se origina a partir de la alteración del mineral olivino presente en las dunitas. En el yacimiento las serpentinitas y dunitas se encuentran bien relacionadas transicionando de dunita a serpentinita en cualquier dirección alrededor del cuerpo de cromita.

La forma y yacencia que presenta la roca serpentinitica es subordinante a la que posee la dunita, preferentemente $237 / 60^{\circ}$ se encuentra en forma de cuerpos alargados siguiendo la dirección preferencial de agrietamiento de las rocas peridotíticas. Los anexos de tablas 2, 3, 5 y 6 muestran las direcciones de buzamiento de la serpentinita en los perfiles geológicos.

Las serpentinitas en comparación con las dunitas son menos duras lo que puede influir notablemente a la hora de explotar el yacimiento. En algunas zonas aflora la serpentinita, en otras esta capa ha sido erosionada y solo es visible la capa de dunita o peridotita serpentinizada que yacía por debajo de esta.

Preferentemente las rocas serpentínicas se encuentran en la superficie o cerca de esta, en este yacimiento se pueden encontrar rocas serpentínicas en zonas profundas en contacto con la dunita. El anexo de figura 19 y 20 muestran las vistas laterales con dirección SE y NW de los cuerpos de serpentinita.

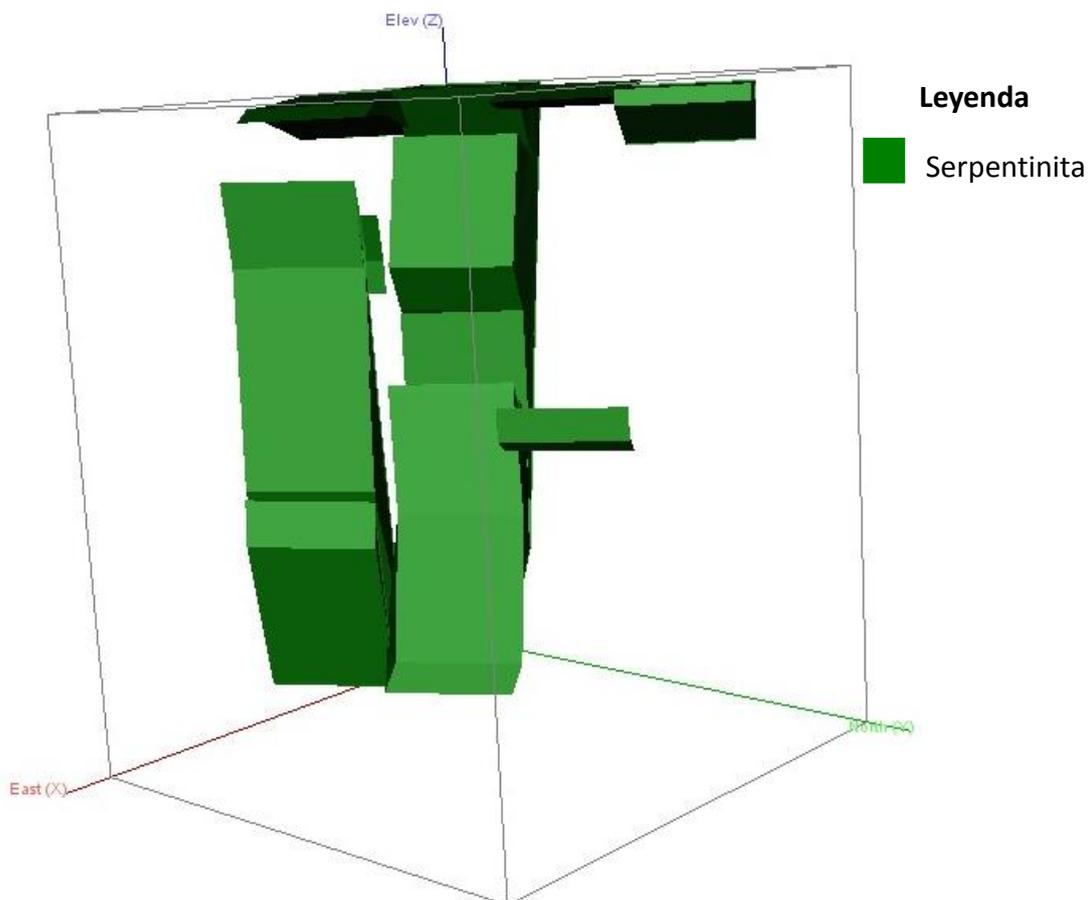


Figura No 22: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

El anexo de figura 26 muestra la relación geólogo-estructural del cuerpo de cromita con la serpentinita determinado por los procesos de alteración de la roca dunitica y por la tectónica. El contacto entre la dunita y serpentinita es preferentemente tectónico, esto se demuestra por las documentaciones de pozos,

los criterios básicos para su determinación son el grado de milonización de ambos tipos de rocas en las zonas de contacto, la presencia en la masa dunítica vetillas alargadas de serpentinitas relleno zonas de grietas y la existencia de espejos de fricción.

Morfología y estructura de los gabros

Los gabros del yacimiento se presentan como diques de leucogabros de variable espesor con granulometría de grano medio generalmente, que buzan cortantes a las demás litologías del complejo y al cuerpo de cromita. Se comportan como cuerpos lenticulares distribuidos casi completamente en el yacimiento, como lenticillos de pocos centímetros hasta grandes diques de más 1 m de potencia.

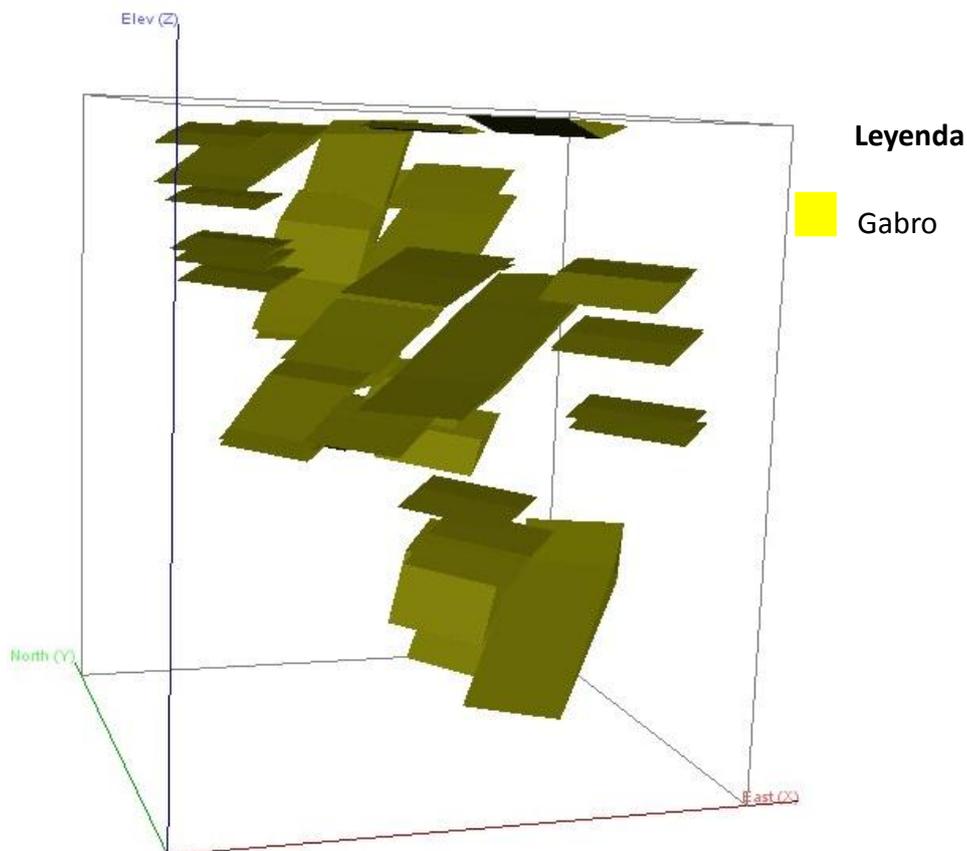


Figura No 23: Modelo geométrico de los cuerpos de gabro del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.

Aparece en algunas zonas alterado, serpentizado, en las zonas donde existe fallamiento el gabro se encuentra triturado y presenta espejos de fricción. En las zonas de contacto entre el gabro y el cuerpo cromífero, los lentes de gabro

contienen cromita diseminada en su masa debido a la fragmentación producto al fallamiento al que ha sido sometido el yacimiento. Los diques y cuerpos de gabro son tomados para todo el yacimiento como cuerpos que se originaron después de agotarse los minerales de las espinelas y el olivino durante la diferenciación magmática, donde se segregaron minerales de composición más básica que dio origen a dichos cuerpos.

Los cuerpos de gabros también pueden constituir restos de las partes más profundas de la antigua corteza oceánica embebidos entre rocas de la zona superior del manto, provocado por los propios procesos de emplazamiento del complejo ofiolítico. La forma de cuerpos alargados en una dirección es típica para aquellos cuerpos que se formaron entre rocas del complejo peridotítico (ver figura 3).

Según el modelo geométrico los gabros se subordinan al rumbo del cuerpo mineral, pero también son transversales a él. Se encuentran distribuidos en dos direcciones principales de agrietamiento, unos lentes en dirección SW y otros con dirección NW.

Se puede plantear entonces que el yacimiento estuvo sometido a una serie consecutiva de movimientos tectónicos evidenciados hoy en día por la forma y yacencia que poseen las rocas. La existencia de los diques de gabro según dos direcciones es una prueba que el yacimiento fue sometido a esfuerzos tectónicos en diferentes direcciones.

Conclusiones

1. Las condiciones hidrogeológicas del yacimiento son complejas, influenciado por el alto grado de complejidad tectónico que presenta.
2. El proceso de cabalgamiento de la secuencia ofiolítica provocó variaciones complejas en la continuidad de las rocas duníticas y las serpentinitas, induciendo a que se encuentren como bloques independientes alargados con yacencia inclinada hacia el SW.
3. Los gabros se encuentran en forma de lentes con dos direcciones preferenciales de yacencia SW y NW, paralelos a las zonas de agrietamiento.
4. Se constató que el cuerpo de cromita tiene forma de lente con una dirección de buzamiento $239 / 61^{\circ}$ que yace entre la superficie y 59 m en profundidad hacia el SW y una extensión por el rumbo de 78 m cambiando un poco su configuración en la sección NW a forma de bolsa.

Recomendaciones

1. Modelar matemáticamente los límites de los diferentes tipos de rocas que permita la validación del modelo geométrico.
2. Estimar los recursos teniendo en cuenta los límites del cuerpo de cromita dado en el modelo geométrico.
3. Realizar nuevos pozos de perforación en la etapa de explotación en zonas donde existe incertidumbre geológica.

Bibliografía

1. ARIOSIA-IZNAGA, J.D. 2002a: Apuntes sobre modelos de yacimientos minerales. En: Conferencias para el Curso de Posgrado "Modelos de Yacimientos Minerales" EGMO-MINBAS/UO-MES.
2. ARIOSIA-IZNAGA, J.D. 2002b: La modelación descriptiva en el ejemplo de los yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. Capítulo II: Problemática de la teoría y tipos de modelos de yacimientos minerales. (tutor). Tesis doctoral. Academia de Ciencias de Cuba.
3. ARIOSIA-IZNAGA, J.D. y R. DÍAZ-MARTINEZ. 2001: Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. Revista Minería y Geología. XVIII (2): 3-14.
4. BARTON, P.B. 1986: Commodity/geochemical index En: COX, D.P. y D.A. SINGER. Mineral deposit models, USGS Bulletin 1693, [en línea]. Disponible en: <<http://www.usgs.gov/>>
5. BLANCO-MORENO, J. y J. PROENZA-FERNÁNDEZ. 2000: Sistematización tectonoestratigráfica de Cuba centro oriental. Revista Minería y Geología. XVII (1): 35-45.
6. BLANCO, J. 1999: Estratigrafía y Paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba Centro Oriental. (tutor). Tesis doctoral. Departamento de Geología, SMMM.
7. BLISS, J.D. 1992: Developments in Mineral Deposit Modelling. U.S. Geological Survey, Bulletin 2004, p168
8. COX, D.P. y D.A. SINGER. 1986: Mineral deposit models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693 [en línea] 1986. Consultado: 15 de marzo del 2016. Disponible en: <<http://www.usgs.gov/>>.
9. CHICA, O.M. 1989: Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales. (tutor). Tesis doctoral. Universidad de Granada, Granada.
10. DAVID, M. 1977: Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier Scientific Publishing Company, Ansterdan Oxford New York, p364.
11. DAVID, M. 1984: Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation. Ansterdan Oxford New York copyright Michel David.

12. DAVID, M.; M. DAGBERT y M. VALLÉC. 1991: Guide to the evaluation of gold deposits. Clement Desrochers centre de recherches minerales de Quebec.
13. DÍAZ-DE-VILLALVILLA, L. y M. DILLA. 1985: Proposición para una división de la llamada Formación Toba. (Provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus). Serie Geológica del CIG. (1): 133-149p.
14. DÍAZ-MARTINEZ, R.; T. NJILA y J. PROENZA-FERNÁNDEZ. 2007: Modelación descriptiva y de ley-tonelaje para pronosticar depósitos de cromitas en Cuba. Revista Minería y Geología. 23 (1).
15. DÍAZ, C.; G. FURRAZOLA-BERMÚDEZ y M.A. ITURRALDE-VINENT. 1997: Estratigrafía de la zona de Remedios. En: FURRAZOLA-BERMÚDEZ, G. y K. NÚÑEZ-CAMBRA. Estudios sobre geología de Cuba, IGP marzo de 1998, 221-242p.
16. DICKEY, J.S. 1975: A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. Geochimica et cosmochimica. Acta Geológica Hispana. Vol.39.
17. DICKEY, J.S. y H.S. YODER. 1972: Partitioning of chromium and aluminium between clinopyroxene and spinel. Carnegie Institute, 71: 384-392.
18. FLINT, D.E.; J.F. DE ALBEAR y P.W. GUILD. 1948: Geology and chromite deposits of the Camagüey district Camagüey Province, Cuba. U.S. Geological Survey Bulletin. 954 B.
19. GONZÁLEZ-PONTÓN, R.B.; et. al. 2007: Nuevas perspectivas para la exploración de los depósitos de cromo refractario de Camagüey. En: II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana, 20-23 de Marzo de 2007.
20. GONZÁLEZ, R. y J. RICHTER. 1990: Informe Final de la Exploración en el Yacimiento de Cromita Victoria-I. La Habana: MINBAS, Unión Empresas Geológicas, GEOMINERA Camagüey, Archivo O.N.R.M. Inventario No. 3838.
21. GONZÁLEZ, R.; J. RICHTER y F. GÁLVEZ. 1993: Informe de la Prospección Detallada de Cromita en 40 Km². Tomos I y II. La Habana: MINBAS, Unión Empresas Geológicas, GEOMINERA Camagüey, Archivo O.N.R.M. Inventario No. 4197.

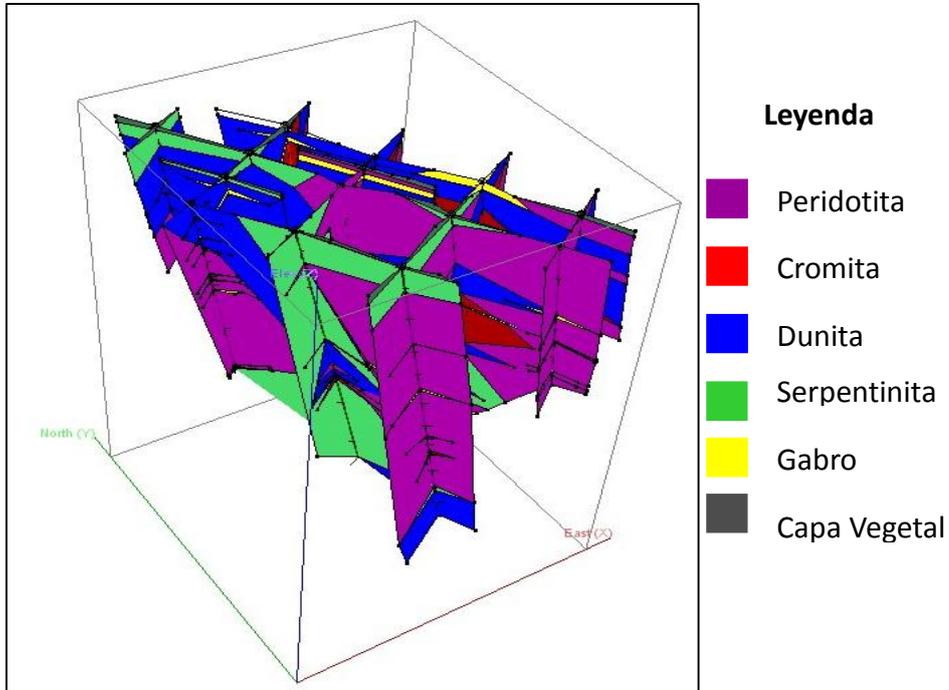
22. GONZÁLEZ, R.; et. al. 1989: Informe Final de la Búsqueda Detallada de Cromita en 20 Km² (1983-1987). Tomo I y II. La Habana: MINBAS, Unión Empresas Geológicas, GEOMINERA Camagüey, Archivo O.N.R.M Inventario No. 3731.
23. GRUNSKY, E.C. 1995: Grade-Tonnage Data form Mineral Deposit Models Geological Fieldwork 1994, BC-MEMPR, p417-423.
24. HENARES, S.; et. al. 2009: Las Cromititas Ricas en aluminio del Distrito de Camagüey, Cuba Central. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. (11): 103-104.
25. ITURRALDE-VINENT, M.A. 1990: Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio. (17): 8-26.
26. ITURRALDE-VINENT, M.A. 1996a: Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico En: ITURRALDE-VINENT, M.A. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, IGCP Project 364, 179-189.
27. ITURRALDE-VINENT, M.A. 1996b: Geología de las Ofiolitas de Cuba En: ITURRALDE-VINENT, M.A. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, IGCP Project 364. Special Contribution n.1, Miami, USA, 83-254.
28. ITURRALDE-VINENT, M.A. 1998: Sinopsis de la Constitución Geologica de Cuba. Acta Geológica Hispana. 33 (1-4): 9-56.
29. ITURRALDE-VINENT, M.A. 2012: Compendio de Geología de Cuba y del Caribe. Segunda Edición, DVD-ROM. Editorial CITMATEL, La Habana, Cuba.
30. KILBY, W.E. 1995: The Mineral Potential Project: An Overview. En: GRANT, B. y J.M. NEWELL. Geological Fieldwork 1994, B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1.
31. LAGO, B.L.; M. RABINOWICZ y A. NICOLAS. 1982: Podiform chromite ore bodies a genetic model. Journal of Petrology. Vol.23 (1).
32. LINARES-CALA, E.; et. al. 2014: Léxico Estratigráfico de Cuba. Tercera Edición, Memorias CD-ROM. Editorial Centro Nacional de Información Geológica, La Habana: IGP; SGC y MINEM.
33. MANN, P.; et. al. 1995: Actively Evolving Microplate Formation by Oblique Collision and Sideway Motion Alog Strike-Slip Faults: An Example from the Northeastern Caribbean Plate Margin. Tectonophysics. 246 1-69p.

34. MARTÍNEZ-CARDESO, Y.S. 2007: Dominios Geológicos del yacimiento Moa Oriental. CORDOVEZ-PEDRIANES, J.M.; F. QUINTAS-CABALLERO y C. LEIVA-PEÑA (tutor). Trabajo de Diploma. Departamento de Geología, ISMMM.
35. MARTÍNEZ-VARGAS, A. y Y. PEREZ-MARTINEZ. 2000: Metodología para la modelación de yacimientos residuales de Niquel. LEGRÁ-LOBAINA, A.A. y F. QUINTA-CABALLERO (tutor). Tesis de ingeniería. Departamento de Geología, ISMMM.
36. MATHERON, G. 1963: Principles Of Geostatistics. *Economic Geology*. vol 58: 1246-1266.
37. MATHERON, G. 1971: The Theory of Regionalized Variables And Its Applications. Centre of Morphologie Mathematique of Fontainebleau. (Cahier No 5): 211.
38. MOSIER, D.L. y N.J. PAGE. 1988: Descriptive and grade-tonnage models for volcanogenic manganese deposits in ocean environments - A modification. U. S. Geological Survey, Bulletin 1811, p28.
39. MUÑOS-GÓMEZ, J.N. 2002: Modelo Genético Teórico de la mineralización cromífera del yacimiento Potosí, Moa, Cuba. ISMMM.
40. MUÑOZ GÓMEZ, J.N. 1998: Yacimientos de cromita asociados a rocas máficas y ultramáficas Moa: Departamento de Geología, ISMMM.
41. MURASHKO, V.I.; E. ESCOBAR y L. GONZÁLEZ. 1985: Informe de los trabajos complementarios de la exploración detallada del yacimiento de cromita Camagüey II. Categoría de Reserva. C. F.G.N. Inv. 3349.
42. PAVLOV, M.V. y C. GRIGORIEVA. 1973: Regularidades de la formación de los yacimientos cromíticos. Nauka, Moscu.
43. PÉREZ-CISNERO, F.E. 2014: Modelo Geométrico Litológico del yacimiento Yagrumaje Oeste. JOHNSON SANTIAGO, A.Y. y Y. VALDÉS MARIÑO (tutor). Tesis de Ingeniería. Departamento de Geología, ISMMM.
44. PINDELL, J.L. 1994: Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean. En: DONOVAN, S.K. y T.A. JACKSON. *Caribbean Geology an introduction*, Jamaica, 13-40p.
45. PROENZA, J.A.; et. al. 2010 Las cromititas del Complejo Ofiolítico de Camagüey, Cuba: un ejemplo de cromitas ricas en Al. *Sociedad Geológica de Mexico*. 62 (1).

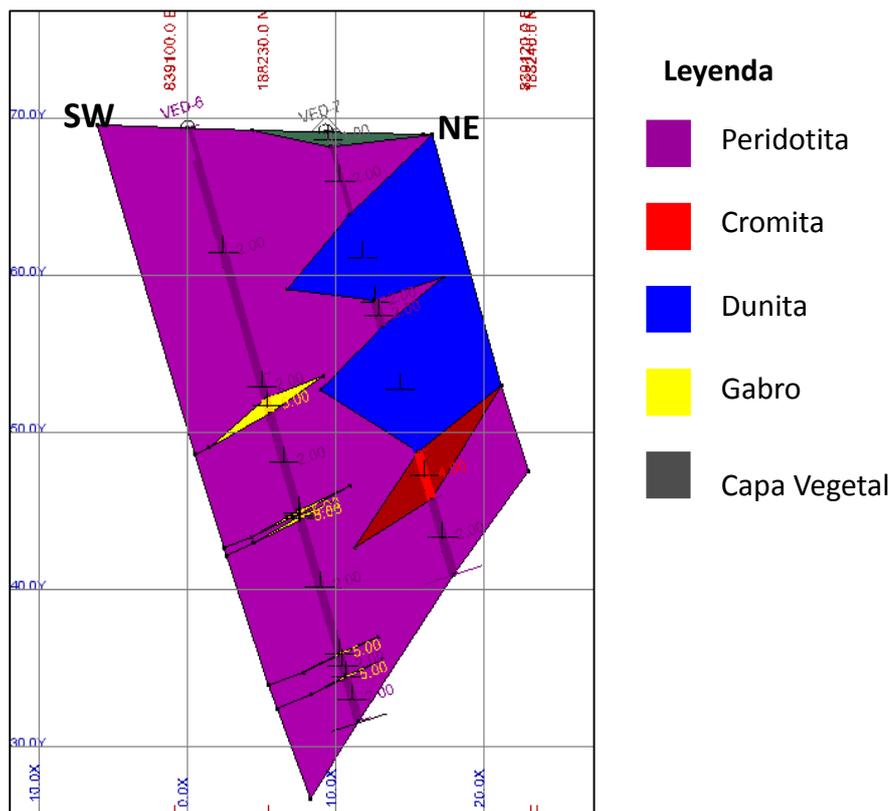
46. RAMÍREZ-DURÁN, J.; et. al. 2014: Informe de la Exploración Detallada del Prospecto de Cromita Victoria II. MINEM, Grupo Empresarial GEOMINSAL, Empresa GEOMINERA Camagüey, Archivo O.N.R.M.
47. SEMENIOV, Y.L. 1968: Yacimientos cromíticos de Cuba. Revista Tecnológica. vol. 3 (4): 17- 30.
48. SINGER, D.A.; D.L. MOSIER y W.D. MENZIE. 1993: Digital Grade and Tonnage Data for 50 Types of Mineral Deposits, Macintosh Version. U.S. Geological Survey, Open File Report 93-280, 1 disk, 52 files.
49. THAYER, T.P. 1942: Chrome Resources of Cuba. U. S. Geological Survey Bulletin.
50. THAYER, T.P. 1964: Principal Features and Origin of Podiform Chromite Deposits, and Some Observations on the Guleman-Soridag District, Turkey. Economic Geology. (59): 1497- 1524.
51. TORRES-VIAMONTES, J.; et. al. 2011: Proyecto para la Exploración Detallada del Prospecto de Cromita Victoria II. Ministerio de la Industria Basica, Grupo Empresarial GEOMINSAL, Empresa GEOMINERA Camagüey.
52. YOHNSON-SANTIAGO, A.Y. 2009: Modelo de recursos del sector CRIII-1 del yacimeinto ferroniquelífero Cantarrana. LEGRÁ LOBAINA, A.A. y L.A. ROJAS PURÓN (tutor). Tesis de ingeniería. Departamento de Geología, ISMMM.

Anexos de figura

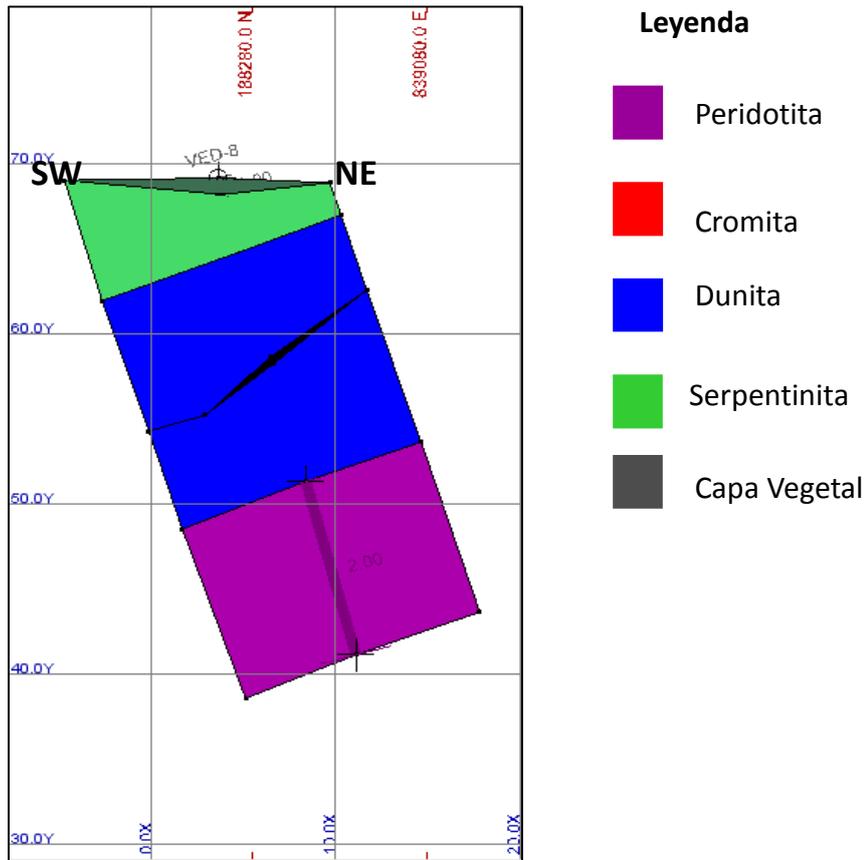
Anexo de figura 1: Representación de los perfiles verticales y transversales con direcciones SW-NE y SW-NE respectivamente.



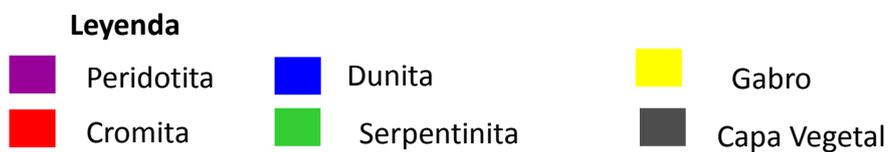
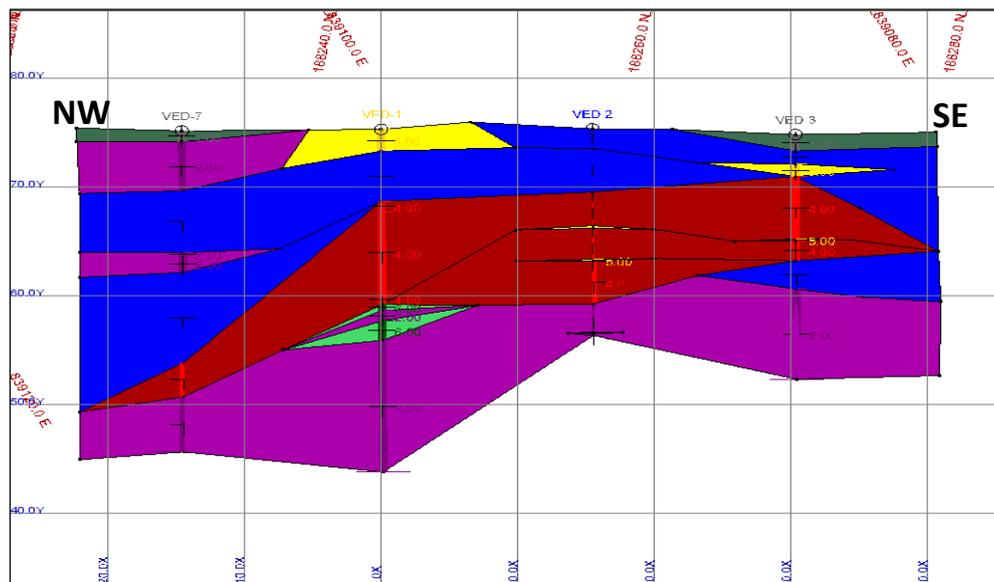
Anexo de figura 2: Representación del Perfil I-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala 1:1.000.



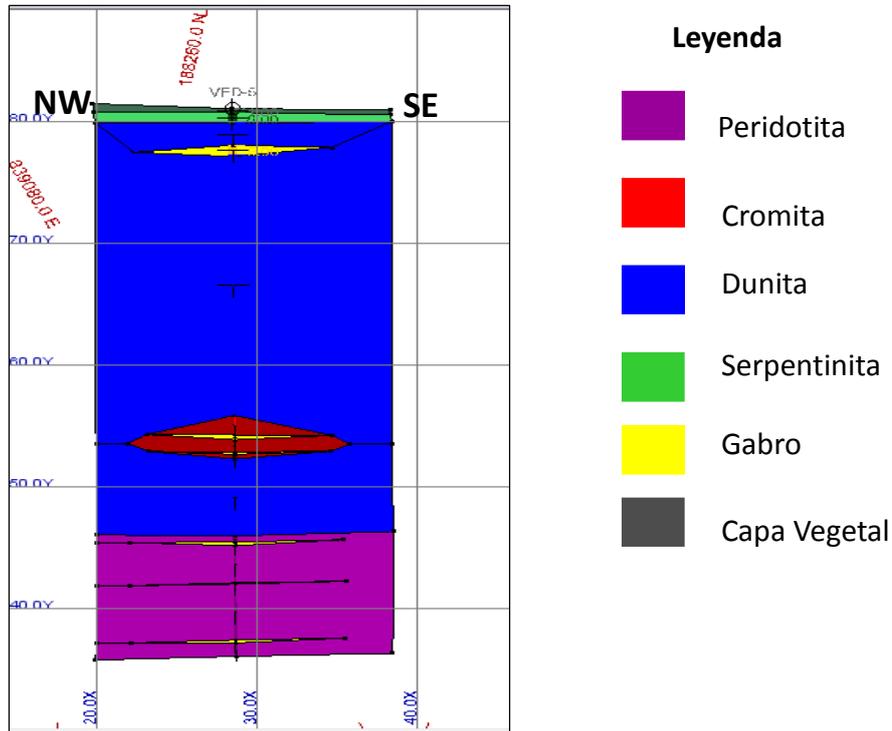
Anexo de figura 3: Representación del Perfil V-vertical en 2D con dirección SW-NE. Escala 1:1.000.



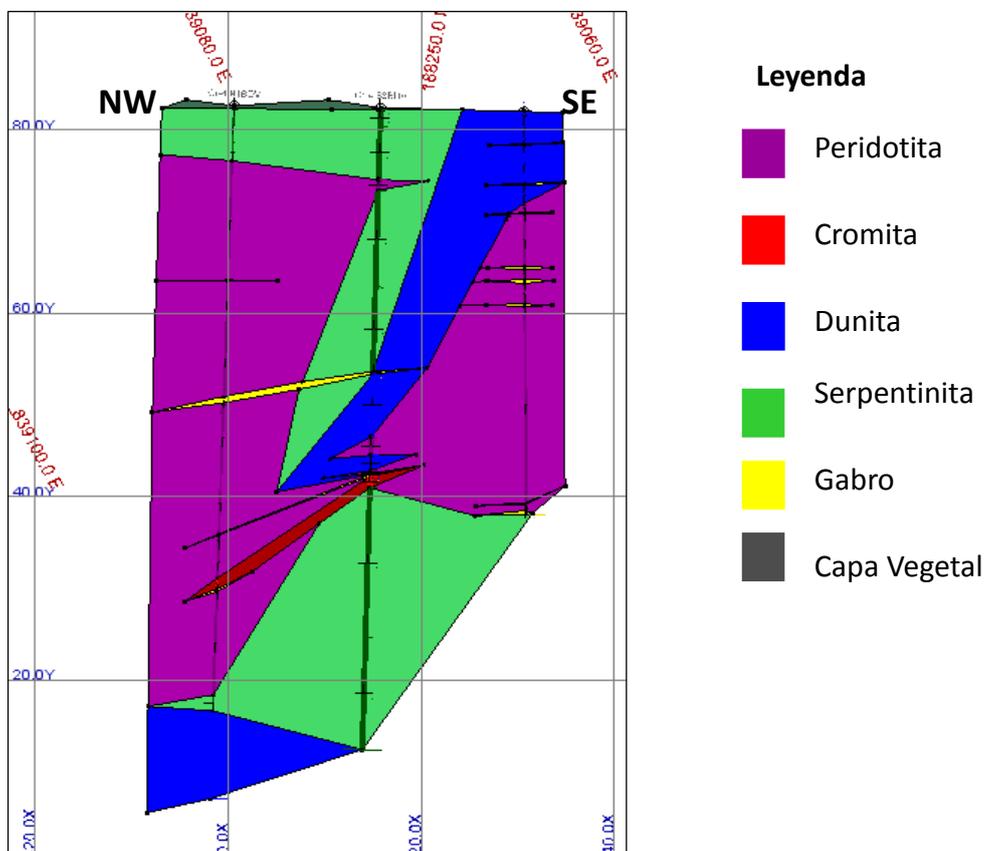
Anexo de figura 4: Representación del Perfil I-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000.



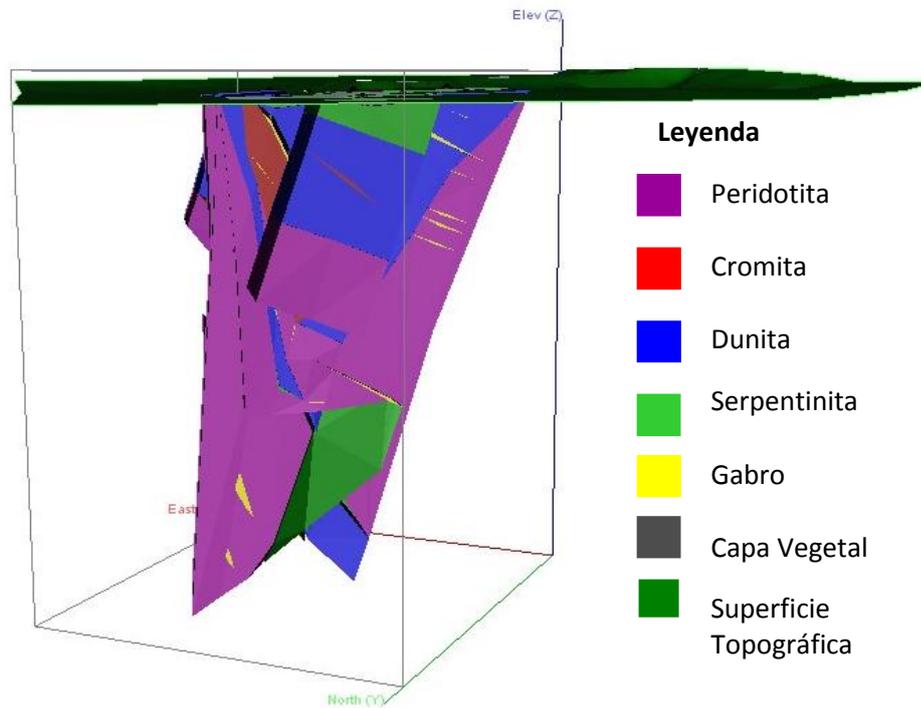
Anexo de figura 5: Representación del Perfil III-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000.



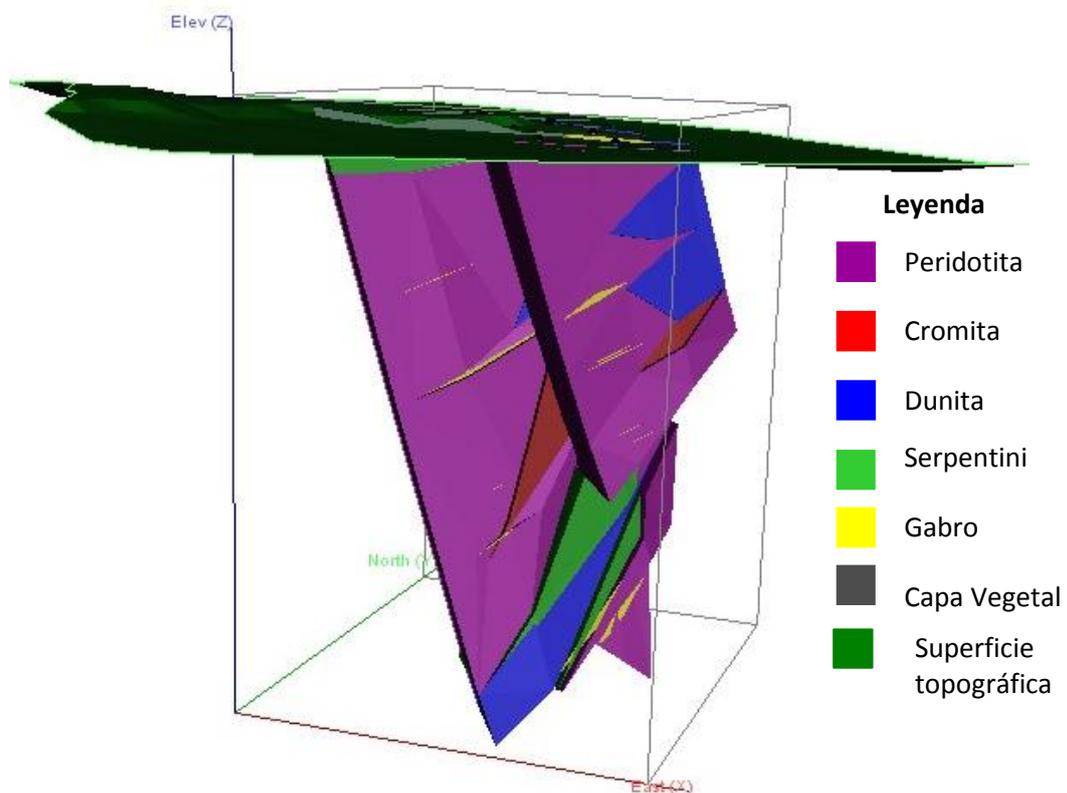
Anexo de figura 6: Representación del Perfil IV-inclinado en 2D con dirección NW-SE. Escala 1:1.000.



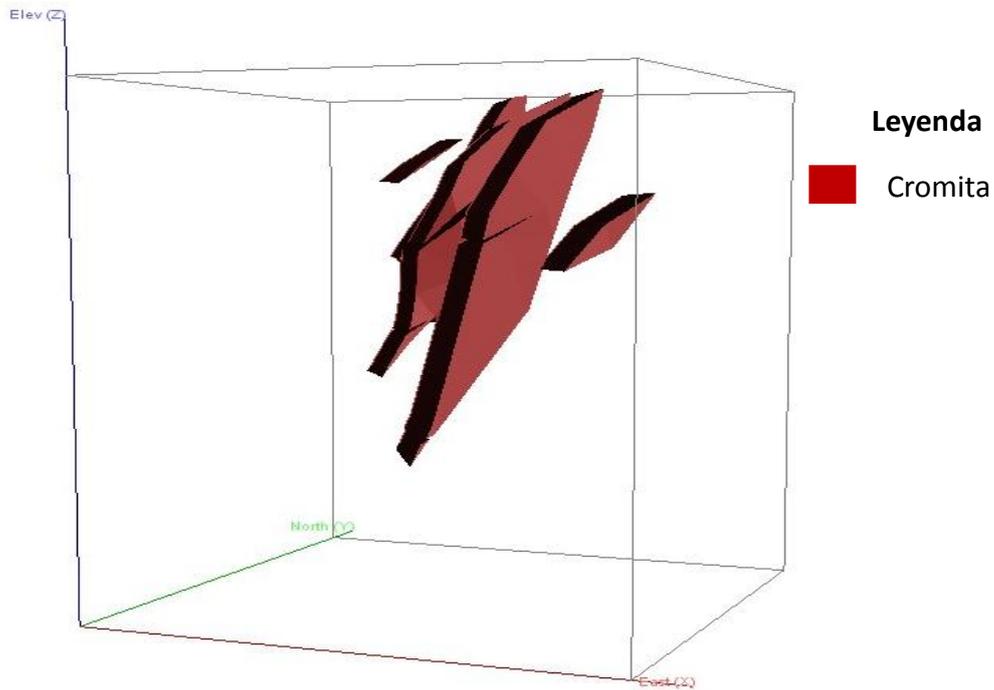
Anexo de figura 7: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1: 1000.



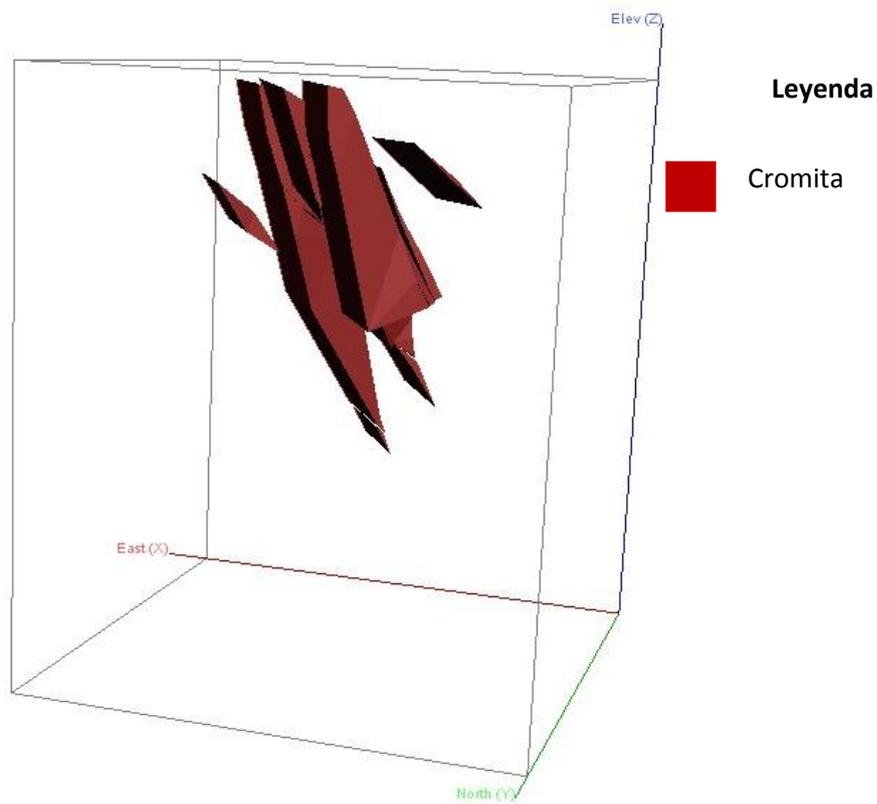
Anexo de figura 8: Modelo geométrico del yacimiento de cromita podiforme "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1:1000.



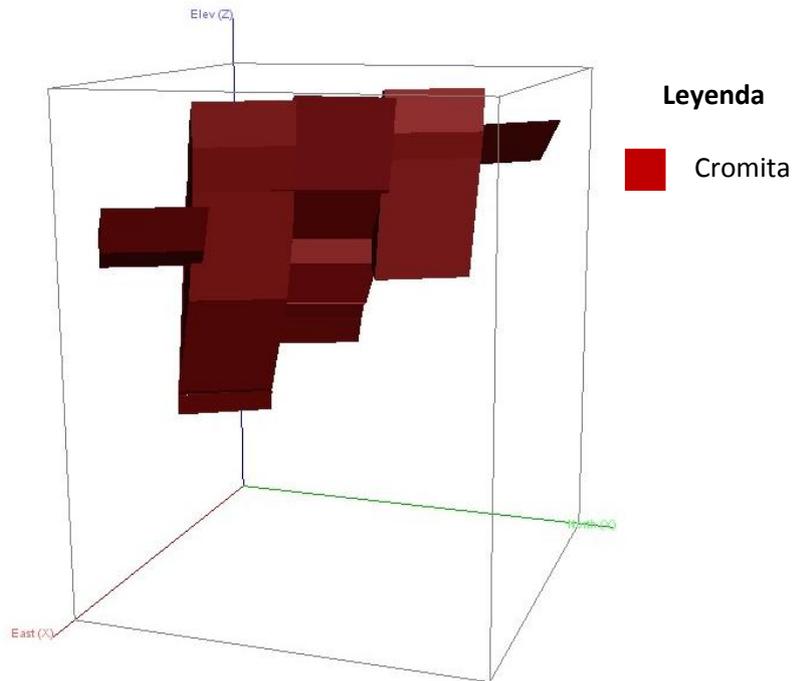
Anexo de figura 9: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



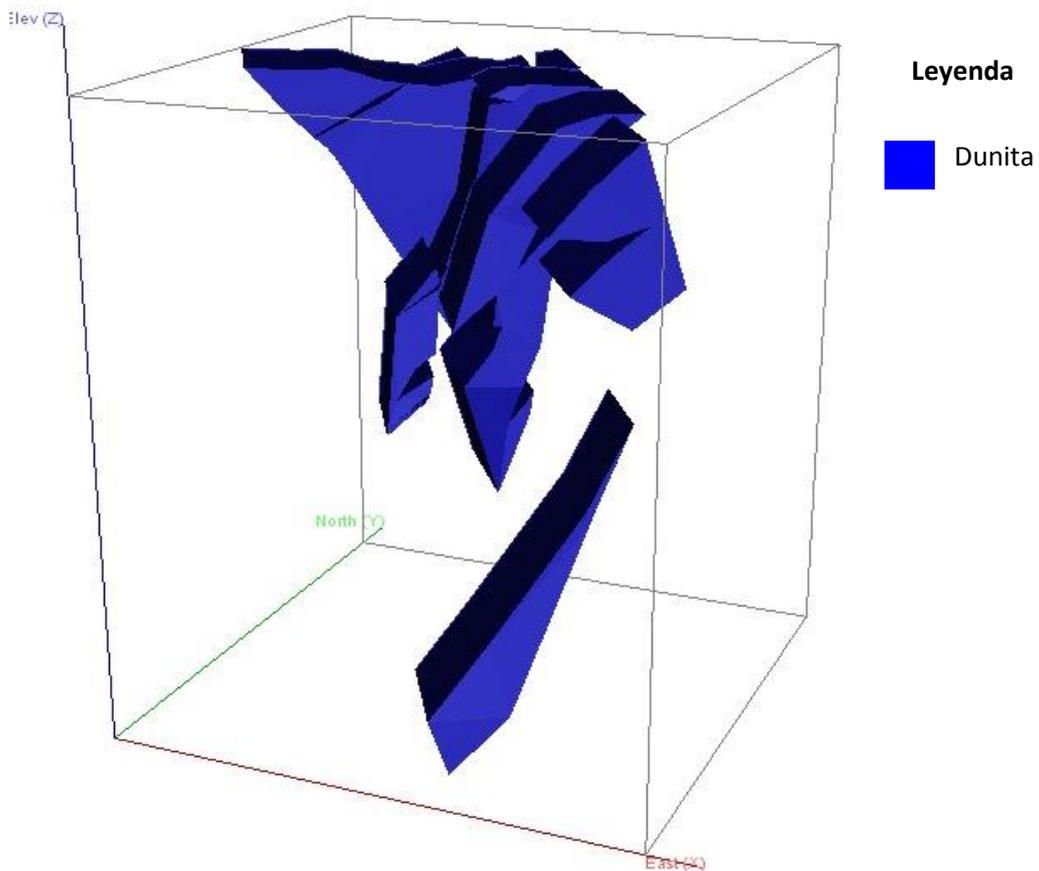
Anexo de figura 10: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



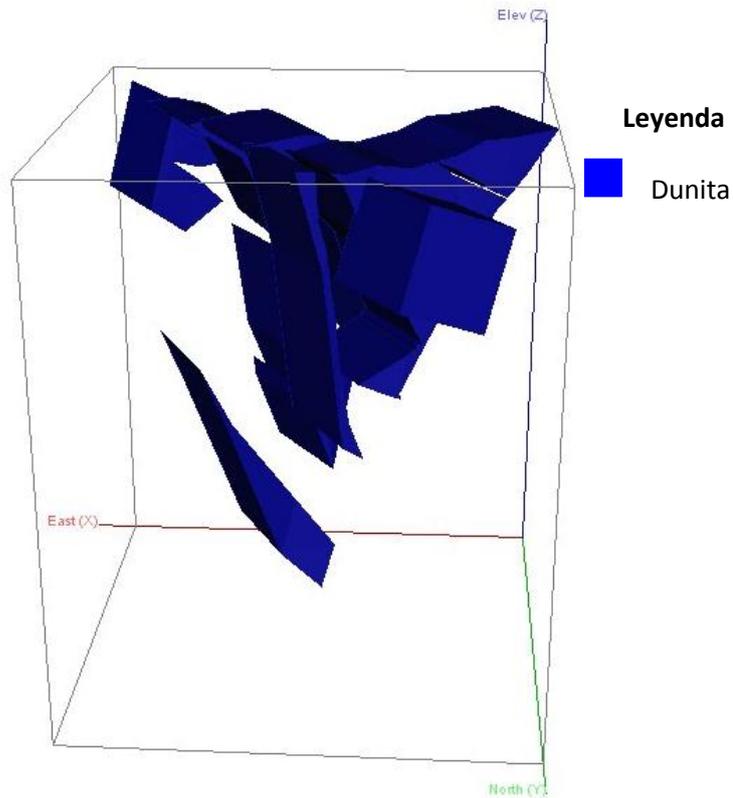
Anexo de figura 11: Modelo geométrico del cuerpo de cromita en el yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.



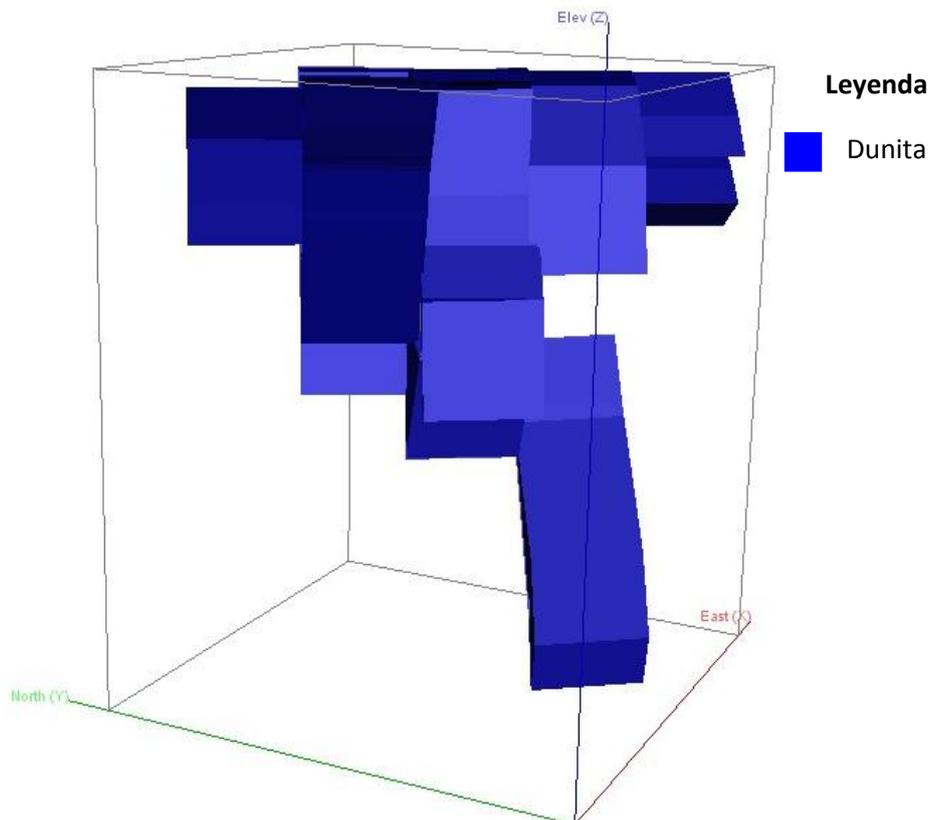
Anexo de figura 12: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



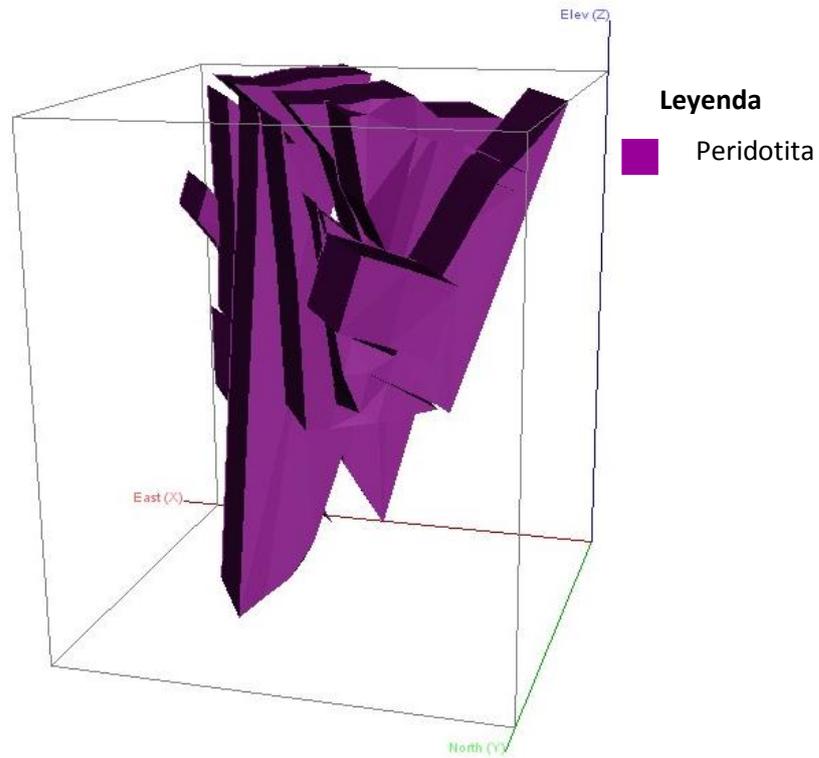
Anexo de figura 13: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



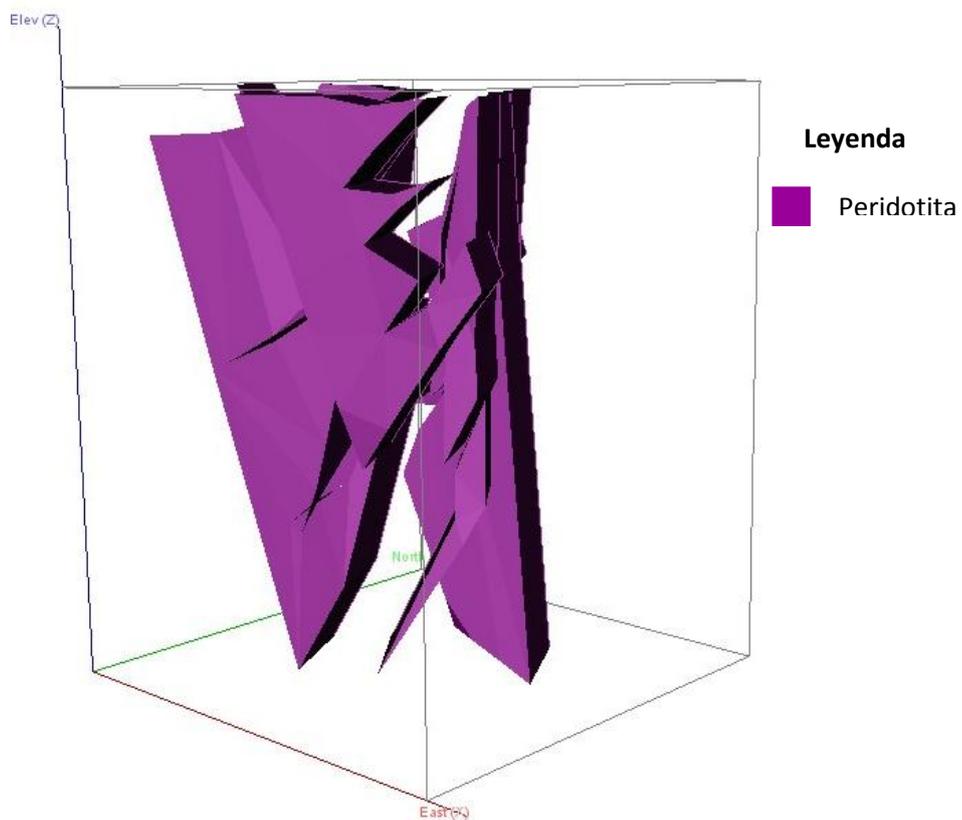
Anexo de figura 14: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en el yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.



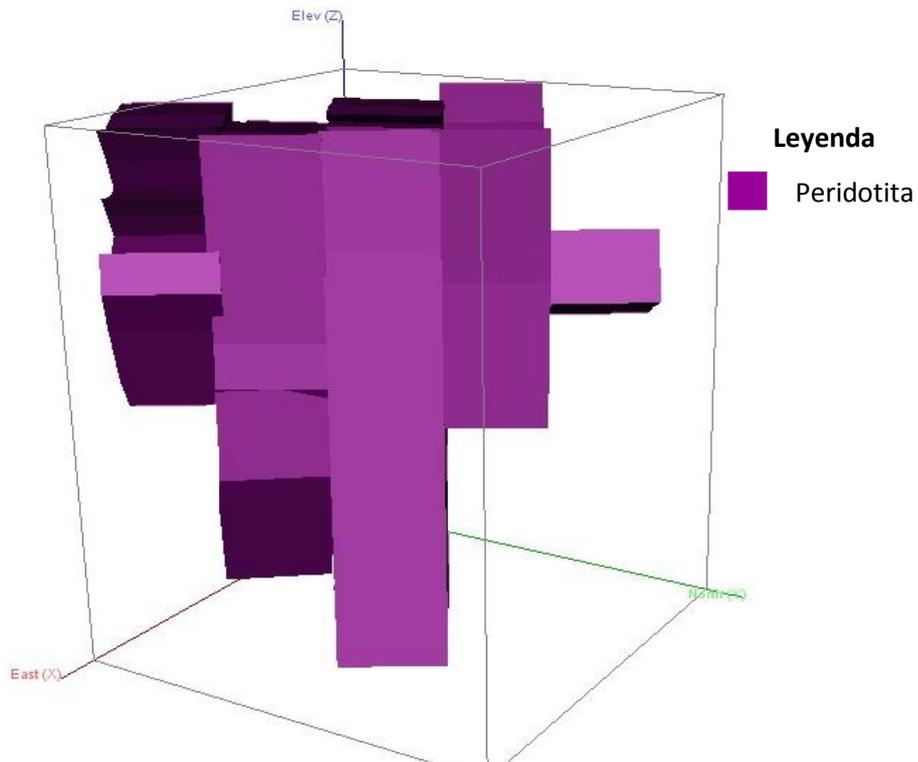
Anexo de figura 15: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



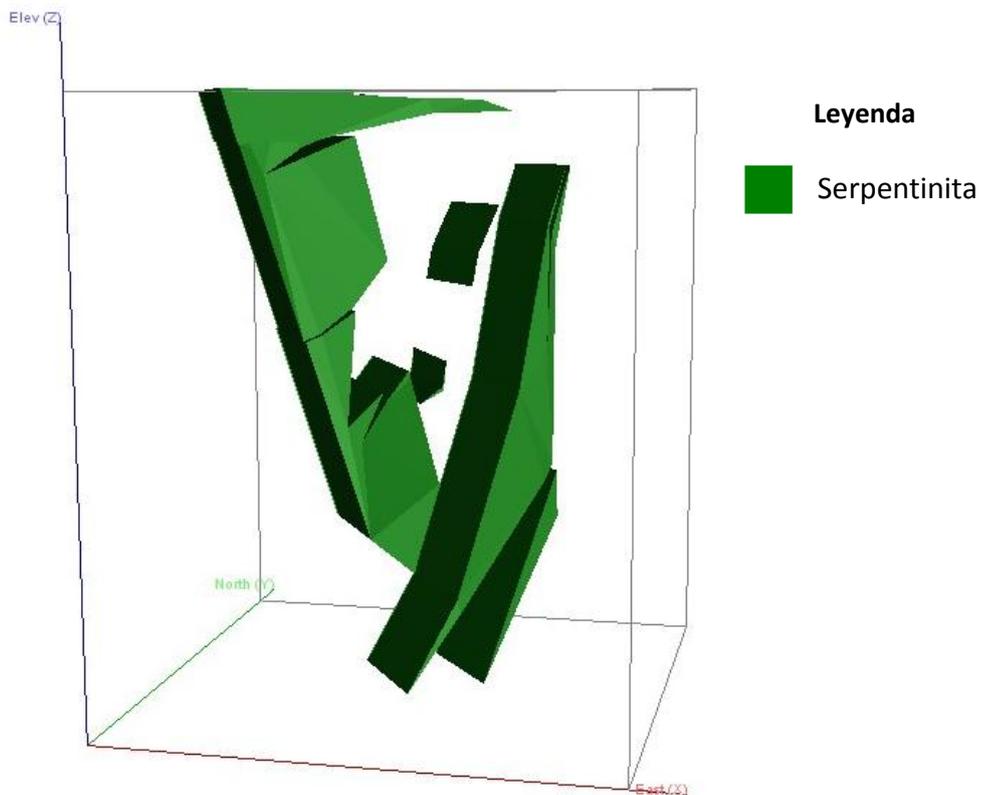
Anexo de figura 16: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



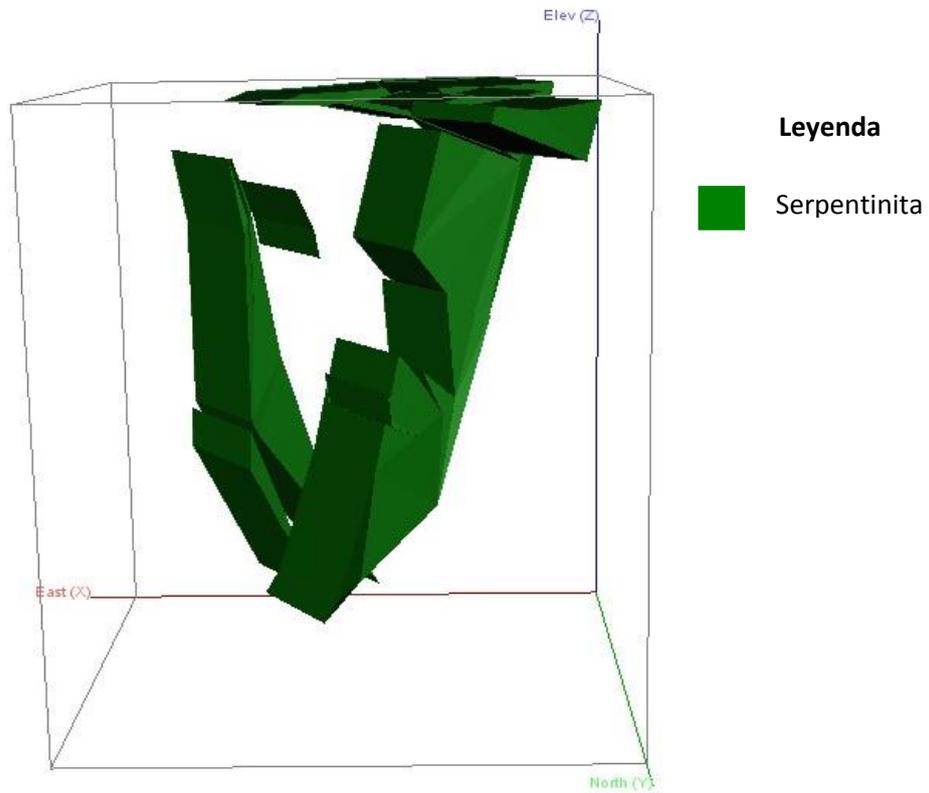
Anexo de figura 17: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW-SE. Escala del modelo 1.1000.



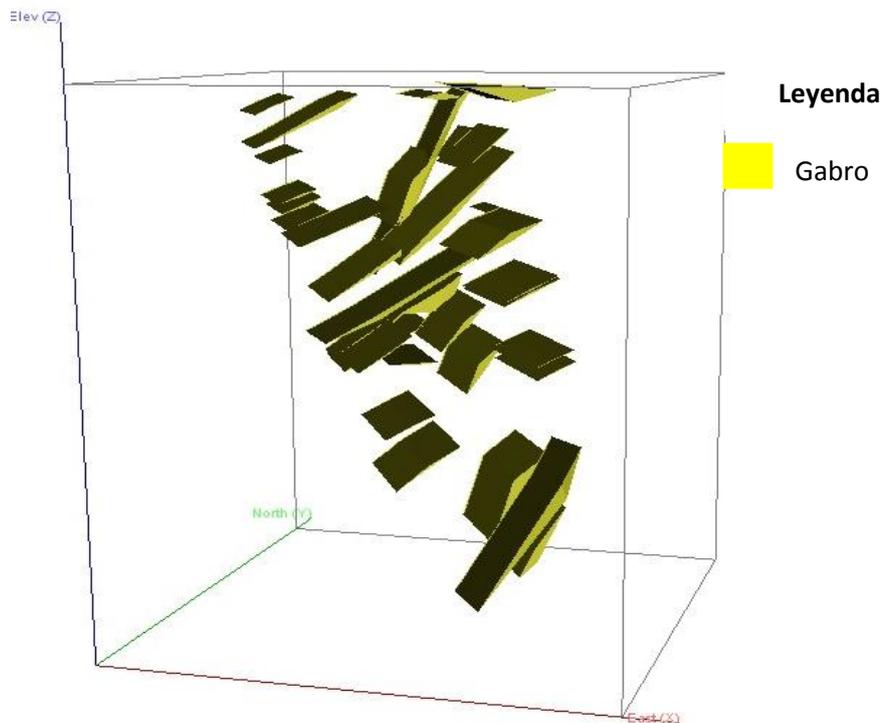
Anexo de figura 18: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



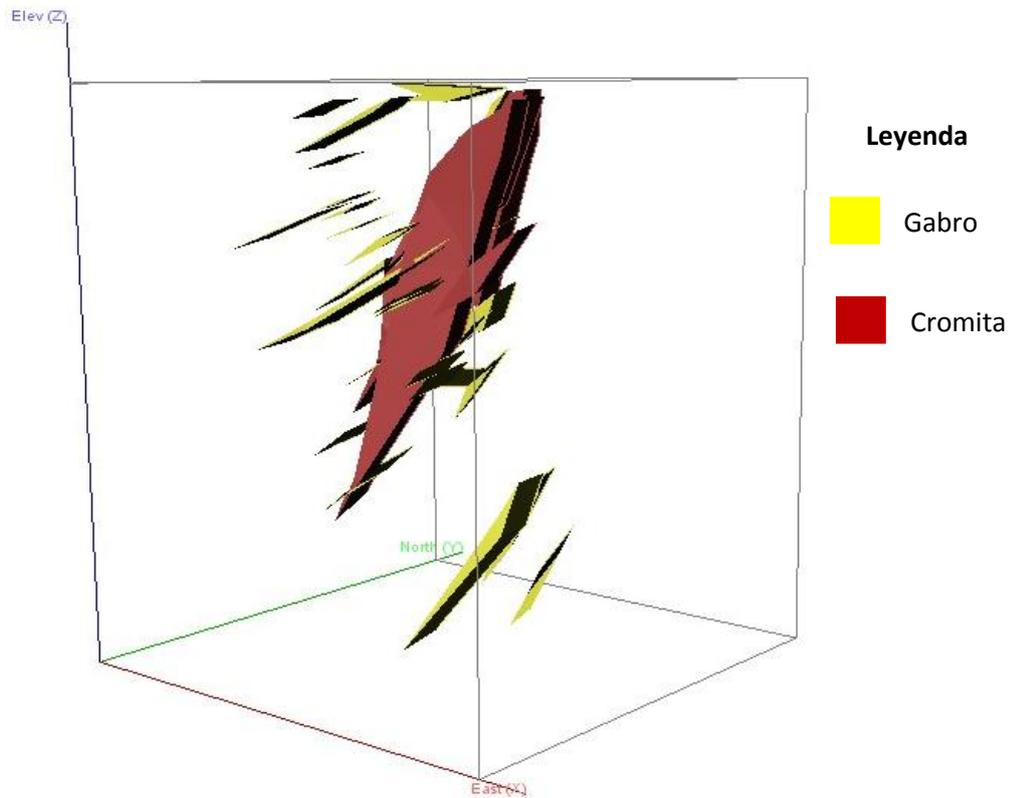
Anexo de figura 19: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita del yacimiento "Victoria II" vista frontal con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



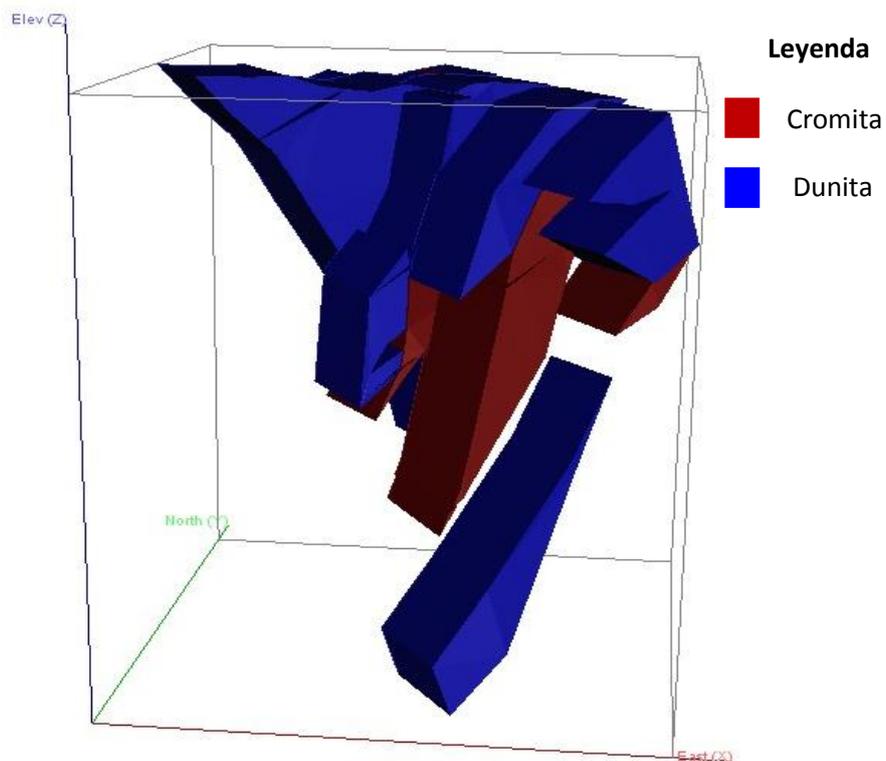
Anexo de figura 20: Modelo geométrico de los cuerpos de gabros del yacimiento "Victoria II" vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



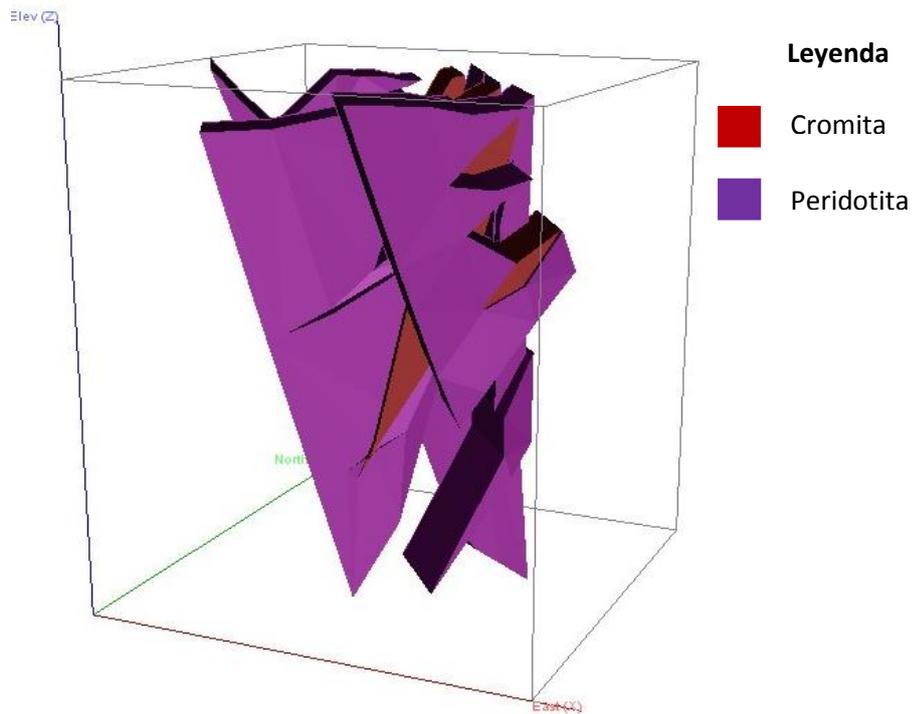
Anexo de figura 21: Modelo geométrico de los cuerpos de gabros en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



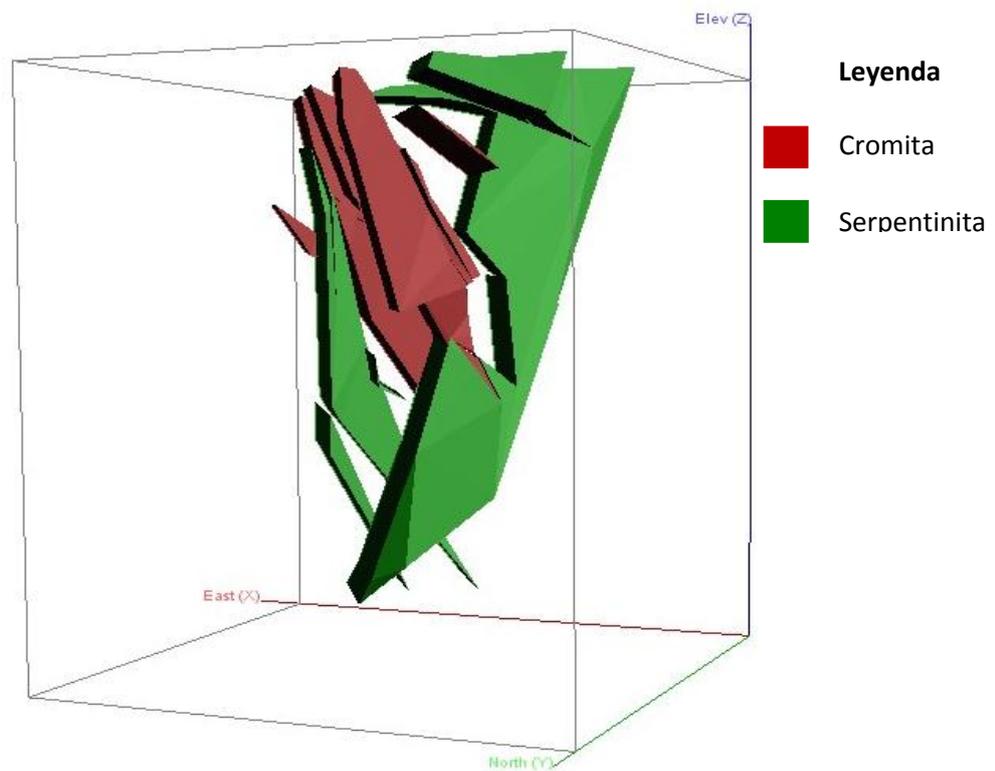
Anexo de figura 22: Modelo geométrico del cuerpo de dunita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



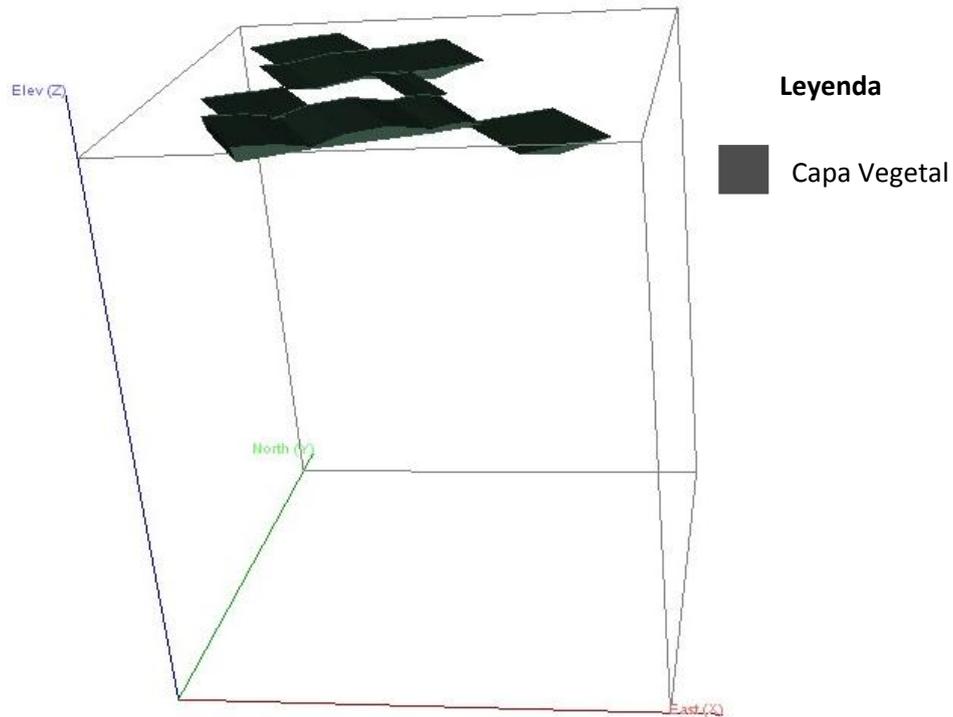
Anexo de figura 23: Modelo geométrico del cuerpo de peridotita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección SE. Escala del modelo 1.1000.



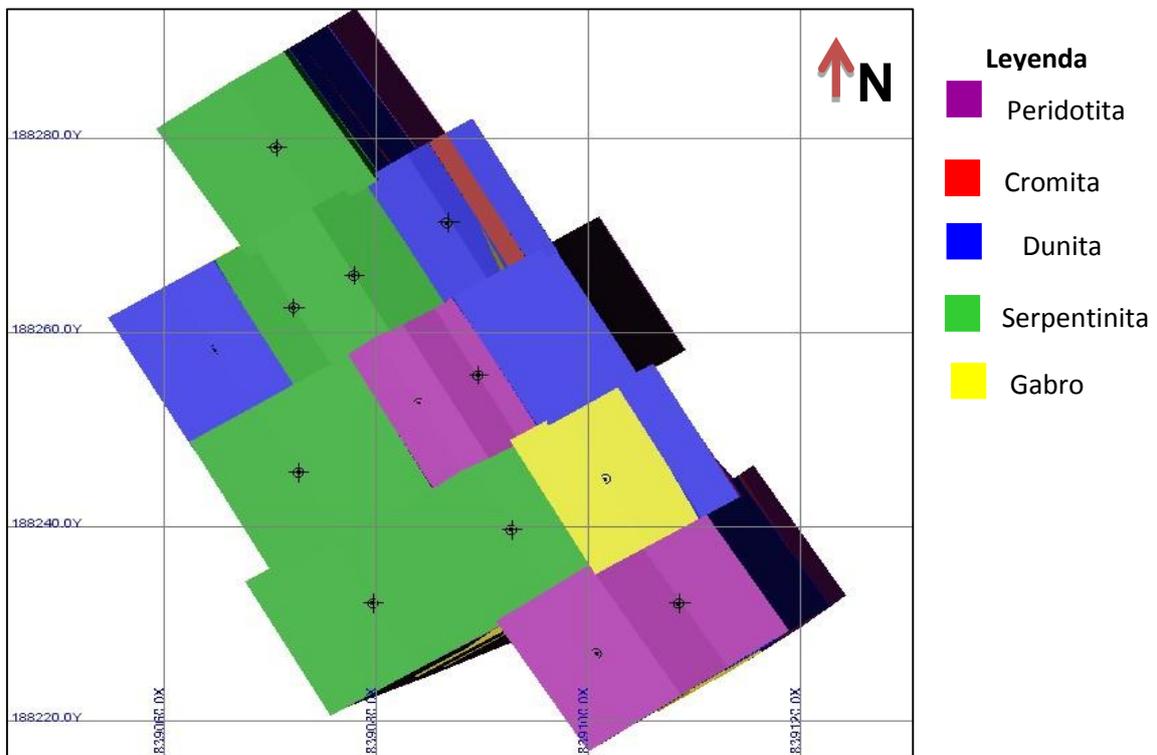
Anexo de figura 24: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



Anexo de figura 25: Modelo geométrico del cuerpo de serpentinita en relación con el cuerpo cromífero del yacimiento "Victoria II", vista lateral con dirección NW. Escala del modelo 1.1000.



Anexo de figura 26: Mapa geológico del área que ocupa el yacimiento de cromita podiforme "Victoria II". Escala del mapa 1.1000.



Anexos de tabla

Anexo de tabla 1: Direcciones de buzamientos preferenciales de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil I-vertical.

| Gabro | Pozo VED-6 Desde-Hasta (m) | | Azimut / Dip |
|-------|-------------------------------|-------|----------------|
| 1 | 18.00 | 19.00 | 236 / 30.8° SW |
| 2 | 25.50 | 25.70 | 236 / 26.2° SW |
| 3 | 25.85 | 26.10 | 236 / 25.9° SW |
| 4 | 35.00 | 35.10 | 236 / 24.2° SW |
| 5 | 36.50 | 36.60 | 236 / 24.9° SW |

| Dunita | Pozo VED-6 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-7 Desde-Hasta (m) | | Azimut / Dip |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------|----------------------------------|
| 1 | Se acuñan entre ambos pozos | 5.50 | 11.20 | 236 / 45.0° SW |
| 2 | | 13.00 | 21.30 | 236 / 40.9° SW |
| | | 21.30 | 24.45 | 236 / 46.2° SW |
| Cromita | Tope del cuerpo mineral | | | 233 / 36.8° SW 240 / 54.8° SW |
| | Base del cuerpo mineral | | | 232 / 56.9° SW 239 / 30.7° SW |

| Peridotita | Pozo VED-6 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-7 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.00 | 1.00 | 236 / 1.93° SW |
| 2 | Pozo completo es peridotita. | 1.00 | 236 / 6.5° SW 236 / 11.5° SW |
| | | 5.50 | 236 / 45.1° SW |
| 3 | | 11.20 | 234 / 17.4° SW 237 / 6.6° SW |
| | | 13.00 | 236 / 40.8° SW |
| 4 | | 24.45 | 232 / 56.9° SW 239 / 30.7° SW |
| | | 29.50 | 232 / 52.5° SW |
| 5 | | 39.50 | 29.50 |

Anexo de tabla 2: Direcciones de buzamientos preferenciales de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil II-vertical.

| Dunita | Pozo Cr-4-91 BDV Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-85 BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-1 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|
| 1 | Se acuña entre ambos pozos | 12.0 | 2.0 | 239 / 3.0° SW 239 / 16.2° SW 237 / 51.7° SW 236 / 66.1° SW |
| | | 20.0 | 6.6 | 239 / 35.3° SW 236 / 63.1° SW 238 / 27.6° SW |
| 2 | Se acuña | 49.4 | Se acuña | 229 / 74.5° SW |
| | | 51.0 | | 229 / 78.9° SW 229 / 70.9° SW |
| 3 | 66.0 | 49.4 | Se acuña entre ambos pozos | 230 / 62.0° SW 242 / 53.9° SW |
| | 75.6 | 51.0 | | 229 / 67.7° SW |

| Serpentinita | Pozo Cr-4-91 BDV Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-85 BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-1 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 0.30 | 0.60 | Se acuña | 239 / 1.8° SW |
| | 6.00 | 2.40 | | 238 / 1.0° SW 240 / 11.8° SW 239 / 2.4° SW |
| 2 | 64.25 | 37.80 | 16.10 | 241 / 73.9° SW 229 / 78.9° SW 229 / 70.9° SW 258 / 58.50 SW |
| | 66.00 | 49.40 | 16.65 | 188 / 87.8° SW 242 / 53.8° SW |
| 3 | Se acuña | 51.00 | 17.60 | 241 / 74.1° SW 197 / 87.4° SW 242 / 53.8° SW |
| | | 54.40 | 19.40 | 241 / 79.6° SW 154 / 88.2° SE 230 / 62.7° SW |

| Peridotita | Pozo BDV Desde-Hasta (m) | Cr-4-91 Desde-Hasta (m) | Pozo BDV Desde-Hasta (m) | Cr-4-85 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-1 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 6.00 | | 2.4 | | Se acuña | 238 / 1.0° SW 240 / 11.8° SW 239 / 2.4° SW |
| | 64.25 | | 34.55 | | | 227 / 74.6° SW 258 / 58.6° SW |
| 2 | | | | | 16.65 | 241 / 73.9° SW 194 / 87.6° SW |
| | | | | | 17.60 | 241 / 74.1° SW 207 / 86.5° SW |
| 3 | Se acuña | | 54.40 | | 19.40 | 241 / 80.6° SW 154 / 88.2° SE 230 / 62.3° SW |
| | | | 57.80 | | 31.50 | 239 / 89.3° SW 229 / 56.6° SW |

| Gabro | Pozo BDV Hasta (m) | Cr-4-91 Desde-Hasta (m) | Pozo BDV Hasta (m) | Cr-4-85 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-1 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|-------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | 19.0 | 19.15 | | | | 239 / 23.6° SW |
| 2 | 31.7 | 32.4 | 23.0 | 23.5 | | 239 / 30.8° SW |
| 3 | 46.70 | 46.80 | | | | 253 / 26.2° SW |
| 5 | 52.70 | 53.00 | | | | 239 / 35.3° SW |
| 6 | Se acuña | | 57.8 | | Se acuña | 229 / 56.6° SW |
| | | | 60.0 | | | 214 / 70.8° SW 232 / 50.9° SW |
| 7 | | | | | 0.00 | 239 / 3.3° SW |
| | | | | | 2.00 | 239 / 16.3° SW 239 / 19.1° SW |

| Cromita | Pozo BDV Hasta (m) | Cr-4-91 Desde-Hasta (m) | Pozo BDV Hasta (m) | Cr-4-85 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-1 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|---------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|---|
| | 51.50 | | 20.20 | | 6.60 | Borde superior 239 / 34.6° SW 236 / 63.6° SW 228 / 76.6° SW 279 / 63.3° NW |
| | 52.70 | | 34.55 | | 16.10 | Borde inferior: 240 / 74.8° SW 231 / 74.1° SW 233 / 57.7° SW 276 / 55.0° NW |

Anexo de tabla 3: Direcciones preferenciales de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil III-vertical.

| Dunita | Pozo Cr-4-83BDV Desde-Hasta (m) | Pozo V-4-5BG Desde-Hasta (m) | Pozo VED-9 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-2 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|--------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 29.05 | 16.0 | 2.00 | 0.00 | 238 / 1.9° SW 234 / 43.1° SW 247 / 80.7° SW 233 / 64.5° SW 228 / 50.8° SW 274 / 83.7° SW |
| | 40.20 | 17.45 | 11.70 | 5.70 | 238 / 29.5° SW 237 / 49.0° SW 249 / 69.4° SW 235 / 65.9° SW 214 / 84.5° SW 254 / 40.2° SW |
| 2 | Se acuña | 25.80 | 31.50 | 16.10 | 239 / 49.4° SW 205 / 82.6° SW 231 / 48.5° SW |
| | | 38.0 | | 16.10 | 240 / 81.8° SW 237 / 69.7° SW |
| | | 40.0 | | 16.10 | 240 / 81.7° SW 237 / 56.7° SW |
| | | 41.50 | | 16.10 | 239 / 81.9° SW 238 / 69.4° SW |

| Peridotita | Pozo Cr-4-83BDV Desde-Hasta (m) | Pozo V-4-5BG Desde-Hasta (m) | Pozo VED-9 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-2 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 7.85 | 0.00 | 0.00 | | 240 / 2.9° SW 237 / 43.4° SW 242 / 34.40 SW |
| | 9.00 | 16.00 | 1.00 | | 248 / 81.4° SW 233 / 64.5° SW 238 / 76.1° SW 240 / 21.9° SW |
| 2 | 35.90 | | 28.50 | | 229 / 62.6° SW 214 / 34.7° SW 266 / 56.8° SW |
| | 37.90 | | 31.50 | | 227 / 70.6° SW 231 / 48.5° SW 248 / 33.0° SW |
| 3 | | 38.00 | | 16.10 | 240 / 81.8° SW 237 / 69.7° SW |
| | | 40.0 | | 16.10 | 240 / 81.7° SW 237 / 56.7° SW |
| | | 41.50 | | 16.10 | 239 / 81.9° SW 238 / 69.4° SW |
| | | 78.35 | | 19.00 | 240 / 84.5° SW 232 / 37.0° SW |

| | | | |
|--------------|------|--|----------------|
| Serpentinita | 0.20 | | 238 / 0.7° SW |
| | 7.85 | | 238 / 40.5° SW |
| | 9.00 | | 240 / 21.9° SW |
| | 70.0 | | 242 / 39.2° SW |

| Gabro | Pozo Cr-4-83BDV Desde-Hasta (m) | Pozo V-4-5BG Desde-Hasta (m) | Pozo VED-9 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-2 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|-------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1 | | | 1.0- 2.0 | | 238 / 0.55° SW |
| 2 | | | | 8.90 - 9.15 | 238 / 42.5° SW |
| 3 | 28.75 - 29.05 | 20.5 - 21.75 | | 12.0 - 12.2 | 238 / 45.0° SW 242 / 33.1° SW |
| 4 | | 35.0 - 36.0 | | | 238 / 47.8° SW |
| 5 | | 41.5 - 43.1 | | | 238 / 55.5° SW |
| 6 | | 60.0 - 64.0 | | | 238 / 59.7° SW |
| 7 | | 71.2 - 73.1 | | | 238 / 57.9° SW |
| 8 | 40.0 - 40.2 | | | | 245 / 35.1° SW |

| Cromita | Pozo Cr-4-83BDV Desde-Hasta (m) | Pozo V-4-5BG Desde-Hasta (m) | Pozo VED-9 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-2 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| Borde superior del cuerpo | 40.20 | 17.45 | 11.70 | 5.70 | 238 / 29.5° SW 237 / 49.0° SW 249 / 69.5° SW 235 / 65.9° SW 211 / 83.0° SW 263 / 62.9° SW |
| Borde inferior del cuerpo | 41.45 | 25.80 | 28.50 | 16.10 | 239 / 71.1° SW 239 / 47.9° SW 205 / 82.6° SW 229 / 62.6° SW 245 / 54.4° SW |

Anexo de tabla 4: Direcciones preferenciales de buzamiento de las fallas geológicas por orden de formación en la zona del perfil III-vertical.

| Fallas | Pozo Cr-4-83BDV (m) | Pozo V-4-5BG (m) | VED-9 (m) | VED-2 (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|-----------|---------------------|------------------|-----------|-----------|--|
| 1er Orden | 1 | 28.75 | 16.00 | 2.00 | 247 / 80.7° SW 231 / 52.6° SW 274 / 83.7° NW |
| | 2 | | 41.50 | 16.10 | 239 / 81.9° SW 238 / 69.5° SW |

| | | | | | | |
|------------------|----------|----------------------------------|-------|------|--|--|
| 2do Orden | 3 | Falla vertical entre ambos pozos | | | | 240 / 71.8° SW 255 / 80.5° SW 238 / 76.1° SW |
| 3er Orden | 1 | | 16.00 | 2.00 | | 247 / 80.7° SW 233 / 64.5° SW |
| | 2 | 9.00 | | 1.00 | | 238 / 21.6° SW 240 / 21.9° SW |

Anexo de tabla 5: Dirección preferencial de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil IV-vertical.

| Cromita | Pozo VED-4 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-5 Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-89BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-3 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 SW) |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| 1 | | 25.20 | 17.55 | 3.85 | 239 / 58.9° SW 236 / 59.7° SW 237 / 63.8° SW 240 / 60.2° SW |
| | | 28.77 | 30.45 | 11.60 | 239 / 86.6° SW 236 / 75.4° SW 240 / 22.5° SW |

| Dunita | Pozo VED-4 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-5 Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-89BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-3 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 NW) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| 1 | 0.00 | 1.20 | 2.60 | 1.50 | 239 / 11.0° SW 237 / 11.0° SW 239 / 7.5° SW 239 / 19.5° SW 239 / 1.4° SW |
| | | 35.10 | 15.40 | 2.70 | 236 / 65.3° SW 238 / 48.2° SW 244 / 71.7° SW 237 / 62.1° SW |
| | | 28.77 | 32.45 | | 240 / 25.5° SW |
| | 10.00 | 35.10 | 32.45 | | 241 / 26.9° SW 239 / 58.3° SW |
| 2 | | Se acuña | 37.95 | 11.60 | 239 / 86.6° SW 224 / 72.8° SW 239 / 81.9° SW |
| | | | 41.55 | 14.20 | 239 / 74.0° SW 233 / 83.3° SW 241 / 26.5° SW |

| Peridotita | Pozo VED-4 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-5 Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-89BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-3 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 NW) |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 10.00 | 35.10 | 32.45 | 11.60 | 239 / 75.8° SW 241 / 26.9° SW |

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|---|
| | | | | | 239 / 58.3° SW |
| | 43.50 | 45.00 | 45.85 | 22.50 | 233 / 86.5° SW 240 / 2.6° SW 239 / 7.8° SW 235 / 82.1° SW 241 / 3.3° SW |

| Gabro | Pozo VED-4 Desde-Hasta (m) | Pozo VED-5 Desde-Hasta (m) | Pozo Cr-4-89BDV Desde-Hasta (m) | Pozo VED-3 Desde-Hasta (m) | Azimut / Dip (0 NW) |
|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 3.50- 3.63 | | | | 239 / 24.6° SW |
| 2 | 7.80 | 3.00 | | | 239 / 28.9° SW |
| | 8.10 | 3.80 | | | |
| 3 | 11.0 - 11.1 | | | | 239 / 21.8° SW |
| 4 | 16.8 - 17.2 | | | | 239 / 21.7° SW |
| 5 | 18.3-18.74 | | | | 239 / 24.0° SW |
| 6 | 21.0-21.3 | | | | 239 / 22.7° SW |
| 7 | 42.65 | 35.60 | 32.45 | | 240 / 33.5° SW 239 / 43.0° SW |
| | 42.83 | 35.90 | 35.90 | | 236 / 71.7° SW 241 / 3.7° SW 239 / 41.6° SW |
| 8 | 43.5 | 38.95 | | | 239 / 30.6° SW |
| | 44.0 | 39.05 | | | |
| 9 | | 43.65-43.9 | | | 240 / 0.6° SW |
| 10 | | | 15.4-17.5 | | 240 / 61.5° SW |
| | | 26.80 | 18.20 | 2.70 | 239 / 40.1° SW 237 / 66.2° SW 240 / 63.1° SW |
| | | 28.40 | 19.40 | 3.85 | 239 / 59.9° SW 237 / 66.3° SW |

| | | | | | |
|----|--|-----------|--|----------|----------------|
| | | | | | 240 / 59.1° SW |
| 11 | | | | 9.6-9.75 | 239 / 53.9° SW |
| 12 | | 28.2-28.4 | | | 239 / 57.2° SW |

| Serpentinita | Pozo VED-4 Desde- Hasta (m) | Pozo VED-5 Desde- Hasta (m) | Pozo Cr-4- 89BDV Desde- Hasta (m) | Pozo VED-3 Desde- Hasta (m) | Azimut / Dip (0 NW) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|---|
| 1 | | 0.30 | 0.30 | | 237 / 11.5° SW 239 / 3.7° SW 239 / 9.3° SW |
| | | 1.20 | 2.60 | | 239 / 11.0° SW 239 / 7.5° SW 239 / 19.5° SW |
| 2 | | | 41.55 | | 232 / 83.8° SW 241 / 26.5° SW |
| | | | 42.10 | | |

Anexo de tabla 6: Dirección preferencial de buzamiento de los diferentes tipos de rocas y del cuerpo de cromita en la zona del perfil V-vertical.

| Tipo de roca | Pozo VED-8 Desde- Hasta (m) | Azimut / Dip (0 NW) |
|--------------|--------------------------------|------------------------|
| Serpentinita | 1.0 | 237 / 6.7° SW |
| | 4.50 | 236 / 21.2° SW |
| Dunita | 4.50 | 236 / 21.2° SW |
| | 18.45 | 236 / 21.4° SW |
| Cromita | 10.90-11.30 | 236 / 39.9° SW |
| Peridotita | 18.45 | 236 / 21.4° SW |
| | 29.0 | 236 / 21.7° SW |