

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE LA SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS QUE CONFORMAN EL GRUPO REDONDO DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR PARA UN PERIODO DE LARGO PLAZO, C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A., ESTADO BOLÍVAR

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Bolívar H., Enyerberth J.
para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, Noviembre del 2014

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE LA SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS QUE CONFORMAN EL GRUPO REDONDO DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR PARA UN PERIODO DE LARGO PLAZO, C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A., ESTADO BOLÍVAR

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Omar Márquez

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Adriana Bastardo

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Bolívar H., Enyerberth J.
para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, Noviembre del 2014

Caracas, 6 de Noviembre de 2014

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Enyerberth J. Bolívar H., titulado:

**“DISEÑO DE LA SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LOS
YACIMIENTOS QUE CONFORMAN EL GRUPO REDONDO DEL
DISTRITO FERRÍFERO PIAR PARA UN PERIODO DE LARGO PLAZO,
C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A., ESTADO BOLÍVAR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO

Profa. Aurora Piña

Jurado

Profa. Sasha Cazal

Jurado

Inga. Adriana Bastardo

Tutora Industrial

Prof. Omar Márquez

Tutor Académico

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a esas personas especiales que siempre me han brindado su apoyo sin condiciones, a esas personas que sin temor y con buena voluntad me han aconsejado y reprendido, a esas personas que han estado presentes en las situaciones adversas que se me han presentado y han sido diligentes para que pueda salir de ellas.

Se la dedico a ustedes:

Mi mama Teresa

Mi viejo Catire

Mi hermana Damaris

Mi hermano Yonhder

Mi hermano Juan Carlos

Mi cuñado Alexis

Mi cuñada Lady

Mi sobrina Karelys

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a:

La Universidad Central de Venezuela por brindarme sus instalaciones y servicios que me sirvieron de cuna para formarme como profesional.

Mi tutor académico el profesor Omar Márquez quien fue mi guía para elaborar esta tesis especial de grado.

Mi tutora industrial la ingeniera Adriana Bastardo, quien me ayudo enormemente en la realización de este trabajo, brindándome sus conocimientos y colaborando en lo que pudiera.

Los profesores y profesoras del Departamento de Minas, quienes a través de los años me impartieron sus conocimientos de minería.

Los miembros de la Jefatura de Área de Planificación de Mina de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., quienes siempre estuvieron a la orden para solventar mis dudas.

Mis familiares, quienes son los principales colaboradores en gran medida de que alcance mis metas.

Dios por bendecirme día tras día y permitirme lograr esta meta.

RESUMEN

Bolívar H., Enyerberth J.

DISEÑO DE LA SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS QUE CONFORMAN EL GRUPO REDONDO DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR PARA UN PERIODO DE LARGO PLAZO, C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A., ESTADO BOLÍVAR.

Tutor Académico: Prof. Omar Márquez. Tutor Industrial: Ing. Adriana Bastardo.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Año 2014, 148 p

Palabras claves: Explotación minera, Hierro, C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A., Minería a cielo abierto

Resumen: la presente investigación se desarrolló en la empresa C.V.G Ferrominera Orinoco CA., ubicada en Ciudad Piar, estado Bolívar. El objetivo principal del estudio fue diseñar la secuencia de explotación para los yacimientos que conforman el Grupo Redondo del Distrito Ferrífero Piar para un periodo de largo plazo (10 años).

El Grupo Redondo está conformado por tres (3) yacimientos que reciben el nombre de Cerro Redondo, Cerro Ricardo y Cerro La Estrella. Para el logro del objetivo se utilizó el *software* minero *Minesight®* para el diseño de las fosas de excavación y para obtener los reportes de reservas sobre los objetos diseñados, estos posteriormente fueron organizados en hojas de cálculo para su mejor interpretación. Para la generación de reservas se contó con los modelos de minas de cada yacimiento.

Los resultados obtenidos fueron las reservas, las vistas isométricas de la modificación de la topografía a través del tiempo así como las metas de producciones anuales y totales con sus respectivos grados químicos.

Al diseñar la fosa de excavacion para cada uno de los yacimientos se pudo establecer la secuencia de explotacion adecuada para cada uno de ellos, así como las metas de produccion anual con sus respectivos grados quimicos. Con los resultados obtenidos se constato que es recomendable instalar de concentracion de cuarcita friable para explotar los Cerros Ricardo y La Estrella, y de esta manera cumplir con los requisitos del mercado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE GRÁFICAS.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACION	5
1.4 ALCANCE	6
1.5 LIMITACIONES	6
CAPITULO II	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2 DISTRITO FERRÍFERO PIAR	11
2.2.1 Ubicación Geográfica.....	11
2.2.2 Geología	13
2.2.3 Vegetación.....	17
2.2.4 Clima Y Precipitación	17
2.2.5 Relieve.....	17
2.2.6 Hidrografía	19
2.3 TIPOS LITOLÓGICOS PRESENTES EN LOS YACIMIENTOS	
DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR	20
2.3.1 Menas de alto tenor	20
2.3.2 Menas de Bajo Tenor	23
2.4 COMPONENTES DEL MINERAL DE HIERRO.....	24
2.4.1 Hierro	24

2.4.2	Sílice.....	24
2.4.3	Alúmina.....	24
2.4.4	Pérdidas por Calcinación.....	25
2.4.5	Fósforo	25
2.4.6	Manganeso	25
2.5	GRUPO REDONDO	26
2.5.1	Cerro Redondo	27
2.5.2	Cerro Ricardo	28
2.5.3	Cerro La Estrella	29
2.6	CLASIFICACIÓN DE RESERVAS.....	29
2.6.1	Clasificación De Recursos y Reservas Mineras Según <i>Canadian Institute Of Mining</i> (CIM).....	29
2.6.2	Clasificaciones Marco De Las Naciones Unidas Para La Energía Fósil y Los Recursos y Reservas Minerales 2009 (CMNU-2009)	31
2.6.3	Sistema De Clasificación De Recursos Y Reservas Desarrollado Por La Firma <i>Muysquin</i> Consultoría Ltda. En Abril De 1995 Para La Empresa Colombiana Ecocarbon.....	32
2.7	MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	34
2.7.1	Fosa Abierta (<i>Open Pit</i>)	35
2.7.2	Rajo Abierto (<i>Open Cut</i>).....	37
2.7.3	Descubierta (<i>Open Cast</i>).....	37
2.7.4	Terrazas	37
2.7.5	Contorno.....	38
2.7.6	Cantera	38
2.7.7	Minería De Placeres	39
2.7.8	Lixiviación	40
2.7.9	Open Auger	40
2.7.10	Mixtos	41
2.8	SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN	41
2.9	MÉTODOS DE DEFINICIÓN PARA LOS LÍMITES	
	ECONÓMICOS DE UNA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO.....	41
2.9.1	Cono Móvil Optimizante	42
2.9.2	Método De Lerchs Y Grossman.....	48
2.10	ELEMENTOS UTILIZADOS PARA ACTUALIZAR Y	
	VISUALIZAR LA BASE DE DATOS DE UN YACIMIENTO	51
2.10.1	Sondeos Geoexploratorios	51
2.10.2	Secciones Verticales.....	52
2.10.3	Modelo De Bloques	52
2.11	ASPECTOS TÉCNICOS GEOMÉTRICOS DE UNA	
	EXCAVACIÓN MINERA.....	53
2.12	<i>MINESIGHT</i>®	54
2.12.1	Descripción	54
2.12.2	Utilidad de <i>MineSight</i> ®	54

2.12.3	Herramienta Pit Expansion Tolls de <i>MineSight</i> ®	57
2.12.4	Clasificación de recursos vigente de FMO, utilizado por <i>MineSight</i> ® para clasificar tipos de material (Archivo CPLZ1.611)	57
CAPITULO III.....		59
MARCO METODOLÓGICO.....		59
3.1	TIPO DE INVESTIGACION.....	60
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	60
3.4	RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.4.1	Cerro Redondo	61
3.4.2	Cerro Ricardo	62
3.4.3	Cerro La Estrella	62
3.5	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	63
3.5.1	Recolección Bibliográfica.....	64
3.5.2	Interpretación De Los Datos Iniciales.....	64
3.5.3	Parámetros De Diseño.....	67
3.5.4	Límites y Tipo De Excavación.....	67
3.5.5	Diseño De Fosa	68
3.5.6	Solido De La Fosa.....	72
3.5.7	Calculo de Reservas Totales	73
3.5.8	Calculo De Reservas Por Niveles	78
3.5.9	Secuencia De Excavación Por Año.....	85
3.5.10	Resultados	86
CAPITULO IV		87
4.1	Cerro Redondo.....	88
4.1.1	Reservas Recuperables Del Cerro Redondo Y Grados Químicos Correspondientes	88
4.1.2	Reservas Recuperables Para Cada Nivel De Excavación	89
4.1.3	Resumen De Las Reservas Recuperables Por Nivel De Excavación..	92
4.1.4	Secuencia De Excavación Anualizada.....	93
4.2	Cerro Ricardo.....	98
4.2.1	Reservas Recuperables Del Cerro Ricardo Y Grados Químicos Correspondientes	98
4.2.2	Reservas Recuperables Para Cada Nivel De Excavación	99
4.2.3	Resumen De Las Reservas Recuperables Por Nivel De Excavación..	101
4.2.4	Secuencia De Excavación Anualizada.....	101
4.3	Cerro La Estrella.....	109
4.3.1	Reservas Recuperables Del Cerro La Estrella Y Grados Químicos Correspondientes	109
4.3.2	Reservas Recuperables Para Cada Nivel De Excavación	110

4.3.3	Resumen De Las Reservas Recuperables Por Nivel De Excavación..	113
4.3.4	Secuencia De Excavación Anualizada	113
CAPITULO V		119
5.1	CERRO REDONDO	120
5.1.1	Análisis Sobre Las Reservas Recuperables Del Grupo Redondo .	120
5.1.2	Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro Redondo	121
5.1.3	Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro Redondo	125
5.2	CERRO RICARDO	129
5.2.1	Análisis Sobre Las Reservas Recuperables, Cerro Ricardo.....	129
5.2.2	Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro Ricardo	131
5.2.3	Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro Ricardo	133
5.3	CERRO LA ESTRELLA	136
5.3.1	Análisis Sobre Las Reservas Recuperables, Cerro La Estrella	136
5.3.2	Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro La Estrella	137
5.3.3	Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro La Estrella	140
CONCLUSIONES		143
RECOMENDACIONES.....		144
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE CVG-FMO	11
FIGURA 2.2 UBICACIÓN DEL MUNICIPIO BOLIVARIANO ANGOSTURA, ESTADO BOLÍVAR.....	12
FIGURA 2.3 MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DEL ESCUDO DE GUAYANA	14
FIGURA 2.4 MAPA GEOLOGICO DE VENEZUELA.....	15
FIGURA 2.5 LOCALIZACION DE LA FORMACION MESA.....	16
FIGURA 2.6 MAPA FÍSICO, RELIEVE E HIDROGRÁFICO DE VENEZUELA	18
FIGURA 2.7 MAPA HIDROLÓGICO DEL ESTADO BOLÍVAR	19
FIGURA 2.8 COLUMNA LITOLÓGICA DE LOS YACIMIENTOS DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR	20
FIGURA 2.9 UBICACION RELATIVA DE LOS YACIMIENTOS DEL GRUPO REDONDO	26
FIGURA 2.10 CATEGORIA Y EJEMPLOS DE CLASES DE LA CMNU	32
FIGURA 2.11 CLASIFICACION DE RECURSOS Y RESERVAS DESARROLLADA POR LA FIRMA MUYSQUIN CONSULTORIA LTDA.	34
FIGURA 2.12 PERFIL DE UN MODELO DE BLOQUES SOMETIDO AL ALGORITMO DEL CONO MOVIL OPTIMIZANTE	43
FIGURA 2.13 ESQUEMA DONDE SE REPRESENTA EL BENEFICIO QUE APORTA LA EXTRACCION DE CADA BLOQUE	44
FIGURA 2.14 ESQUEMA QUE REPRESENTA LA CONSTRUCCION DEL CONO EN EL BLOQUE UNO (1)	45
FIGURA 2.15 ESQUEMA QUE REPRESENTA LA CONSTRUCCION DEL CONO EN EL BLOQUE DOS (2).....	46
FIGURA 2.16 ESQUEMA QUE REPRESENTA LA CONSTRUCCION DEL CONO EN EL BLOQUE (3).....	47
FIGURA 2.17 ESQUEMA DE BLOQUES CON SOBRE CARGA ASOCIADA	47
FIGURA 2.18 ESQUEMA DONDE SE APRECIA LA CONVENIENCIA DE ANALIZAR LOS BLOQUES COMO UN CONJUNTO.....	48
FIGURA 2.19 REPRESENTACION DE UNA SECCION VERTICAL POR MEDIO DE UN MODELO DE BLOQUES	49
FIGURA 2.20 SECCION VERTICAL DESPUES DEL PROCEDIMIENTO DE BUSQUEDA	50
FIGURA 2.21 GEOMETRIA DE LA FOSA FINAL MAS OPTIMA APLICANDO EL METODO DE LERCHS Y GROSSMAN.....	51
FIGURA 2.22 SECCION GEOLOGICA VERTICAL DEL CERRO REDONDO.....	52
FIGURA 2.23 CLASIFICACION DE RECURSOS VIGENTE UTILIZADA POR FMO.....	58
FIGURA 3.1 PROCEDIMIENTO METODOLOGICO PARA REALIZAR LAS SECUENCIAS DE EXPLOTACION.....	63
FIGURA 3.2 VISTAS DE LA TOPOGRAFIA DEL CERRO REDONDO	65
FIGURA 3.3 VISTAS DE LA TOPOGRAFIA DEL CERRO RICARDO	65
FIGURA 3.4 VISTAS DE LA TOPOGRAFIA DEL CERRO LA ESTRELLA.....	66
FIGURA 3.5 VISTA DE UN MODELO DE MINA EN 3D	67
FIGURA 3.6 BARRA DE HERRAMIENTAS PRINCIPAL.....	68
FIGURA 3.7 VENTANA PIT EXPANSION	69
FIGURA 3.8 PESTAÑA "REQUIRED" DE LA VENTANA "PIT EXPANSION"	70
FIGURA 3.9 GENERACION DE LA FOSA DEL CERRO REDONDO UTILIZANDO "PIT EXPANSION TOOLS"	70

FIGURA 3.10 GENERACION DE LA FOSA DEL CERRO RICARDO, UTILIZANDO "PIT EXPANSION TOOLS"	71
FIGURA 3.11 GENERACION DE LA FOSA DEL CERRO LA ESTRELLA, UTILIZANDO "PIT EXPANSION TOOLS"	71
FIGURA 3.12 SOLIDO DE LA FOSA QUE REPRESENTA LAS RESERVAS A EXCAVAR DEL CERRO REDONDO, CREADO CON LA HERRAMIENTA "INTERSECT SURFACE TOOLS"	72
FIGURA 3.13 SOLIDO DE LA FOSA QUE REPRESENTA LAS RESERVAS A EXCAVAR DEL CERRO RICARDO, CREADO CON LA HERRAMIENTA "INTERSECT SURFACES TOOLS"	72
FIGURA 3.14 SOLIDO DE LA FOSA QUE REPRESENTA LAS RESERVAS A EXCAVAR DEL CERRO LA ESTRELLA, CREADO CON LA HERRAMIENTA "INTERSECT SURFACES TOOLS"	73
FIGURA 3.15 VENTANA <i>NEW PLAN</i>	73
FIGURA 3.16 VENTANA <i>IP SET CREATION</i>	74
FIGURA 3.17 VENTANA <i>IP TOOL</i>	75
FIGURA 3.18 VENTANA <i>IP CUT DESIGN</i>	75
FIGURA 3.19 SELECCION DE UN ELEMENTO PARA REALIZAR UN CORTE	76
FIGURA 3.20 VENTANA <i>IP CUT DESIGN</i> , SEÑALANDO EL <i>CUT NAME</i>	76
FIGURA 3.21 VENTANA <i>IP CUT DESIGN</i> , SEÑALANDO LOS <i>SCRIPTS</i>	77
FIGURA 3.22 HOJA DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL <i>SCRIPT REPORFLAT</i>	77
FIGURA 3.23 VENTANA AUTOSLICER	78
FIGURA 3.24 SELECCIONANDO UN ELEMENTO DE INTERES PARA EFECTUAR UN SLICER	79
FIGURA 3.25 VENTANA AUTOSLICER CON LOS PASOS PARA SELECCIONAR EL <i>GRID</i>	79
FIGURA 3.26 VENTANA <i>SELECT A GRID SET</i>	80
FIGURA 3.27 VENTANA DE AUTOSLICER CONFIGURANDO EL NAMING	80
FIGURA 3.28 MUESTRA DE SLICERS REALIZADOS AL ELEMENTO SELECCIONADO	81
FIGURA 3.29 VENTANA <i>IP CUT DESIGN</i> MOSTRANDO LOS CORTES DE LOS SLICERS	81
FIGURA 3.30 VENTANA DE AUTOSLICER PARA LA CREACION DE SOLIDOS POR NIVELES DE EXCAVACION	82
FIGURA 3.31 SOLIDO DE LOS NIVELES DE EXCAVACION DEL CERRO REDONDO..	83
FIGURA 3.32 SOLIDOS DE LOS NIVELES DE EXCAVACION DEL CERRO RICARDO	84
FIGURA 3.33 SOLIDOS DE LOS NIVELES DE EXCAVACION DEL CERRO LA ESTRELLA	84
FIGURA 3.34 CORTES REALIZADOS SOBRE DISTINTOS NIVELES DE LA FOSA DEL CERRO LA ESTRELLA PARA OBTENER LAS TONELADAS PARA EL PRIMER AÑO DE EXCAVACION	86
FIGURA 4.4.1 VISTA DE LA FOSA DE EXCAVACION Y DEL SOLIDO QUE REPRESENTA LAS RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO REDONDO	88
FIGURA 4.2 SOLIDO DE LA FOSA DEL CERRO REDONDO DIVIDIDO POR NIVELES DE EXCAVACION	89
FIGURA 4.3 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 1 HASTA EL AÑO 4, CERRO REDONDO	94

FIGURA 4.4 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 5 HASTA EL AÑO 8, CERRO REDONDO	95
FIGURA 4.5 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 9 HASTA EL AÑO 10, CERRO REDONDO	96
FIGURA 4.6 MODIFICACION DE LA TOPOGRAFIA UNA VEZ CULMINADA LA FOSA DE EXCAVACION, CERRO REDONDO.....	96
FIGURA 4.7 VISTA DE LA FOSA DE EXCAVACION Y DEL SOLIDO QUE REPRESENTA LAS RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO RICARDO.....	98
FIGURA 4.8 SOLIDO DE LA FOSA DEL CERRO RICARDO DIVIDIDO POR NIVELES DE EXCAVACION	99
FIGURA 4.9 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 1 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	102
FIGURA 4.10 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 2 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	102
FIGURA 4.11 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 3 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	103
FIGURA 4.12 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 4 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	103
FIGURA 4.13 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 5 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	104
FIGURA 4.14 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 6 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	104
FIGURA 4.15 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 7 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	105
FIGURA 4.16 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 8 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	105
FIGURA 4.17 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 9 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	106
FIGURA 4.18 VISTA DEL CORTE PARA EL AÑO 10 DE EXCAVACION, CERRO RICARDO.....	106
FIGURA 4.19 MODIFICACION DE LA TOPOGRAFIA UNA VEZ CULMINADA LA FOSA DE EXCAVACION, CERRO RICARDO	107
FIGURA 4.20 VISTA DE LA FOSA DE EXCAVACION Y DEL SOLIDO QUE REPRESENTA LAS RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO LA ESTRELLA	109
FIGURA 4.21 SOLIDO DE LA FOSA DEL CERRO LA ESTRELLA DIVIDIDO POR NIVELES EXCAVACION	110
FIGURA 4.22 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 1 HASTA EL AÑO 3, CERRO LA ESTRELLA.....	114
FIGURA 4.23 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 4 HASTA EL AÑO 7, CERRO LA ESTRELLA.....	115
FIGURA 4.24 SECUENCIA DE EXCAVACION DESDE EL AÑO 8 HASTA EL AÑO 10, CERRO LA ESTRELLA.....	116
FIGURA 4.25 MODIFICACION DE LA TOPOGRAFIA UNA VEZ CULMNADA LA FOSA, CERRO LA ESTRELLA.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO REDONDO	89
TABLA 2 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 565, CERRO REDONDO	90
TABLA 3 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 550, CERRO REDONDO	90
TABLA 4 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 535, CERRO REDONDO	90
TABLA 5 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 520, CERRO REDONDO	90
TABLA 6 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 505, CERRO REDONDO	91
TABLA 7 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 490, CERRO REDONDO.....	91
TABLA 8 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 475, CERRO REDONDO.....	91
TABLA 9 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 460, CERRO REDONDO	91
TABLA 10 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 445, CERRO REDONDO	92
TABLA 11 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 430, CERRO REDONDO	92
TABLA 12 RESUMEN DE RESERVAS RECUPERADAS POR NIVEL DE EXCAVACIÓN, CERRO REDONDO	92
TABLA 13 CORTES REALIZADOS POR AÑO DE EXCAVACIÓN, CERRO REDONDO...	97
TABLA 14 RESUMEN DE LAS TONELADAS Y GRADOS QUÍMICOS POR AÑO DE EXCAVACIÓN, CERRO REDONDO	98
TABLA 15 RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO RICARDO	99
TABLA 16 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 535, CERRO RICARDO	100
TABLA 17 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 520, CERRO RICARDO.....	100
TABLA 18 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 505, CERRO RICARDO.....	100
TABLA 19 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 490, CERRO RICARDO	100
TABLA 20 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 475, CERRO RICARDO.....	100
TABLA 21 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 460, CERRO RICARDO.....	101
TABLA 22 RESUMEN DE RESERVAS RECUPERABLES POR NIVEL DE EXCAVACIÓN, CERRO RICARDO.....	101
TABLA 23 CORTES POR AÑO DE EXCAVACION, CERRO RICARDO.....	107
TABLA 24 RESUMEN DE LAS TONELADAS Y GRADOS QUÍMICOS POR AÑO DE EXCAVACIÓN, CERRO RICARDO	108
TABLA 25 RESERVAS RECUPERABLES DEL CERRO LA ESTRELLA	109
TABLA 26 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 590, CERRO LA ESTRELLA	110
TABLA 27 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 575, CERRO LA ESTRELLA	110
TABLA 28 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 560, CERRO LA ESTRELLA	111
TABLA 29 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 545, CERRO LA ESTRELLA	111
TABLA 30 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 530, CERRO LA ESTRELLA	111
TABLA 31 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 515, CERRO LA ESTRELLA	111
TABLA 32 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 500, CERRO LA ESTRELLA	112
TABLA 33 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 485, CERRO LA ESTRELLA	112
TABLA 34 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 470, CERRO LA ESTRELLA	112
TABLA 35 RESERVAS RECUPERABLES DEL NIVEL 455, CERRO LA ESTRELLA	112
TABLA 36 RESUMEN DE LAS RESERVAS RECUPERABLES POR NIVEL DE EXCAVACION, CERRO LA ESTRELLA	113
TABLA 37 CORTES POR AÑO DE EXCAVACIÓN, CERRO LA ESTRELLA	117
TABLA 38 RESUMEN DE LAS TONELADAS Y GRADOS QUÍMICOS POR AÑO DE EXCAVACIÓN, CERRO LA ESTRELLA	118
TABLA 39 TONELADAS POR NIVEL DE EXCAVACION, CERRO REDONDO.....	125
TABLA 40 RESUMEN DE TONELADAS POR AÑO, CERRO REDONDO.....	127

TABLA 41 RESUMEN DE TONELADAS POR AÑO DE EXCAVACION	141
---	-----

ÍNDICE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS TIPOS DE MATERIAL PRESENTES EN EL CERRO REDONDO.....	120
GRÁFICA 2 GRADOS QUÍMICOS DE LAS RESERVAS RECUPERABLES TOTALES, CERRO REDONDO	121
GRÁFICA 3 GRADOS QUIMICOS DEL NIVEL 565 HASTA EL NIVEL 520, CERRO REDONDO	122
GRÁFICA 4 GRADOS QUIMICOS DEL NIVEL 505 HASTA EL NIVEL 430, CERRO REDONDO	123
GRÁFICA 5 GRADOS QUIMICOS POR NIVEL, CERRO REDONDO.....	124
GRÁFICA 6 EXTRACCION A TRAVES DE LOS AÑOS, CERRO REDONDO.....	126
GRÁFICA 7 GRADOS QUIMICOS DE LA SECUENCIA DE EXCAVACION ANUALIZADA	128
GRÁFICA 8 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS TIPOS DE MATERIAL PRESENTES EN EL CERRO RICARDO	129
GRÁFICA 9 GRADOS QUIMICOS DE LAS RESERVAS RECUPERABLES, CERRO RICARDO	131
GRÁFICA 10 GRADOS QUIMICOS POR NIVELES	132
GRÁFICA 11 GRADOS QUIMICOS POR NIVEL, CERRO RICARDO.....	133
GRÁFICA 12 EXTRACCION A TRAVES DE LOS AÑOS, CERRO RICARDO	134
GRÁFICA 13 GRADOS QUIMICOS DE LA SECUENCIA DE EXCAVACION ANUALIZADA	135
GRÁFICA 14 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS TIPOS DE MATERIAL PRESENTES EN EL CERRO LA ESTRELLA.....	136
GRÁFICA 15 GRADOS QUIMICOS DE LAS RESERVAS RECUPERABLES TOTALES, CERRO LA ESTRELLA.....	137
GRÁFICA 16 GRADOS QUIMICOS DESDE EL NIVEL 590 HASTA EL NIVEL 455	138
GRÁFICA 17 GRADOS QUIMICOS POR NIVEL DE EXCAVACION	139
GRÁFICA 18 EXTRACCION A TRAVES DE LOS AÑOS, CERRO LA ESTRELLA.....	140
GRÁFICA 19 GRADOS QUIMICOS DE LA SECUENCIA DE EXCAVACION ANUALIZADA	142

INTRODUCCIÓN

Ferrominera Orinoco C.A. (FMO), se encarga de extraer, beneficiar, transformar y comercializar el mineral de hierro con productividad, sustentabilidad y calidad, beneficiando primordialmente al sector siderúrgico nacional. Para lograr esta misión cuenta actualmente con una gran cantidad de yacimientos ferrífero ubicados en las cercanías de Ciudad Piar, localidad que se encuentra en el estado Bolívar, algunos de estos yacimientos están siendo explotados mediante operaciones mineras a cielo abierto, mientras otros fueron evaluados en términos de recursos y reservas pero están inactivos.

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad diseñar la secuencia de explotación de los yacimientos que conforman el Grupo Redondo del Distrito Ferrífero Piar para un periodo de largo plazo (10 años), dicho estudio servirá de base para generar planes de explotación a corto, mediano y largo plazo en estos yacimientos.

El Trabajo está organizado mediante capítulos, en el primero de ellos se plantean los fundamentos de la investigación, mediante el Planteamiento del Problema, los Objetivos de la Investigación, su justificación y alcance de la misma; el Capítulo II es el Marco Teórico en él se describe el Distrito Ferrífero Piar y los fundamentos teóricos necesarios para ejecutar el estudio, luego el Capítulo III representa el Marco Metodológico, en este se exponen los pasos de cómo se realizó la investigación, la cual, es de campo-correlacional, no experimental, seguidamente en el Capítulo IV se presentan los Resultados y en el Capítulo V, la Discusión de los mismos, por último se muestran las Conclusiones y Recomendaciones de la investigación en función de los objetivos planteados.

También en un apartado se pueden visualizar las referencias bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO I
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo tiene como finalidad dar a conocer los fundamentos que dieron origen a que se llevará a cabo esta investigación, en este se describe el problema a solucionar, los objetivos y se plantea la justificación, el alcance y limitaciones de la investigación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente Ferrominera Orinoco C.A. (FMO) tiene en operación cinco (5) minas y ellas son: San Isidro, Los Barrancos, Las Pailas, Altamira y Cerro Bolívar estos yacimientos vienen siendo explotados desde hace mucho tiempo, lo que ha provocado una disminución de su cantidad de reservas y la calidad del material, generando un problema, ya que, FMO tiene la obligación de suministrar un mineral de hierro de buena calidad y garantizar una alta producción para satisfacer la demanda existente de su producto.

Dada las circunstancias en las que FMO se encuentra, se ve en la necesidad de aumentar su producción garantizando una buena calidad de mineral, por lo tanto, se necesita iniciar la operación y explotación de nuevas minas. Para este fin, se dispone de tres (3) yacimientos que ya fueron evaluados en términos de reservas y poseen su modelo de bloques bien definido, estos yacimientos en conjunto son conocidos como Grupo Redondo, el cual está conformado por Cerro Ricardo, Cerro La Estrella y Cerro Redondo. Ahora bien, para la puesta en operación de estos yacimientos en primer lugar, es necesario diseñar la secuencia de explotación de cada uno de ellos para un periodo de largo plazo; de esta forma se tendrá una base para calcular la viabilidad del proyecto y la posterior creación de la planificación a corto, mediano y largo plazo que cumplan con las exigencias del mercado en términos de calidad y cantidad.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Diseñar la secuencia de explotación para los yacimientos que conforman el Grupo Redondo del Distrito Ferrífero Piar para un periodo de largo plazo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las características físico-naturales presentes en los yacimientos del Grupo Redondo.
- ✓ Realizar el cálculo de reservas recuperables, basado en los recursos geológicos disponibles.
- ✓ Establecer las metas de producción para el periodo de largo plazo.
- ✓ Establecer una secuencia de explotación adecuada tomando como base los criterios necesarios o aplicables a los yacimientos de estudio.
- ✓ Determinar el comportamiento de la excavación, según el tenor y el grado químico del mineral que se extraerá.
- ✓ Generar la vista isométrica de la topografía y del área de excavación una vez culminado el periodo de largo plazo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La investigación tiene como propósito diseñar las secuencias de explotación adecuadas para cada uno de los yacimientos que conforman el Grupo redondo específicamente para un periodo de largo plazo (10 años), esto se traduce en que además de establecer las sucesiones anuales de extracción de mineral e ir proyectando como se va modificando la topografía a través del tiempo, se obtendrá un estudio de reservas completo de cada yacimiento, estableciendo el total de reservas recuperables, determinando las reservas que posee cada nivel de excavación y reflejando en cada paso el comportamiento de los tenores o grados químicos asociados al material que se va a excavar, con esto se podrán obtener las metas de producción anuales en términos de toneladas y la calidad del producto que se extraerá.

Por lo antes expuesto se considera que este estudio es de gran utilidad para la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., específicamente para el Departamento de Planificación de Minas, ya que, el estudio les servirá de base para evaluar la futura explotación de estos yacimientos, considerando los cálculos de reservas y a la secuencias realizadas como un indicativo de que será viable desarrollar proyectos a corto, mediano o largo plazo.

Por otro lado, esta investigación pretende establecer un patrón o procedimiento para realizar el diseño y evaluación de secuencias de explotación utilizando el Software *MineSight*® pudiendo beneficiar no solo a los planificadores de la empresa, sino también a los estudiantes y profesionales de la minería que desean familiarizarse con las ventajosas herramientas que nos brinda este *software*.

1.4 ALCANCE

El desarrollo del proyecto se ejecutó sobre la base de datos de tres yacimientos de mineral de hierro que están en jurisdicción de la empresa CVG Ferrominera Orinoco C.A., estos son conocidos con los nombres de: Cerro Redondo, Cerro Ricardo y Cerro La Estrella, dicho proyecto tiene como finalidad diseñar digitalmente las secuencias de explotación a largo plazo (10 años) para cada uno de los yacimientos mencionados.

1.5 LIMITACIONES

Se tuvo como limitante no poseer los suficientes conocimientos previos de las herramientas del *Software Minesigth®*, lo que produjo una demora en el desarrollo del estudio, ya que, se debió establecer un tiempo adicional para la capacitación y adiestramiento en el uso de dicho *Software*.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

Este capítulo que es el marco teórico, ofrece al lector toda la información necesaria e indispensable para comprender la investigación, como los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y conceptuales del tema que se está investigando.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ De Abreu G. Juan C., (2002) “DISEÑO DE UN PLAN DE EXPLOTACIÓN YACIMIENTO DE CALIZA, CANTERA LA GAMARRA, MAGDALENO, ESTADO ARAGUA.”

Resumen: El yacimiento de caliza que se encuentra ubicado en la zona conocida como el Zamuro, en el cerro Los Perros de Agua, Magdalena estado Aragua, es un depósito de pequeñas dimensiones que puede ser explotado por el método minero convencional de cantera. El total de recursos mineros limitados por el conocimiento geológico de superficie y evaluados mediante el método de secciones verticales arrojó un volumen cercano a los 6.000.000 de m³, pero las condiciones generales del yacimiento reducen el alcance de la explotación y sumado a una baja relación límite estéril / mena de un 20% solo se logró el diseño de la misma para una cantidad de cercana a los 479.840 m³. Se estima que la explotación debe alcanzar un periodo de cuatro (4) años a un rendimiento de 25.000 t/mes debido a la baja recuperación de los recursos.

- ✓ Peña, María Alejandra (2007) “DISEÑO DEL LÍMITE FINAL DE EXCAVACIÓN DE LA MINA SAN ISIDRO PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS CUARCITAS FRIABLES”, MUNICIPIO RAÚL LEONI, ESTADO BOLÍVAR.

“El presente Trabajo de Grado fue desarrollado en la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., específicamente en el área de Planificación y Desarrollo de Minas, y corresponde a un plan de excavación asumiendo como objetivo principal el Diseño del límite final de excavación de la Mina San Isidro para la recuperación de cuarcitas friables, con el propósito de presentar una estrategia mediante un diseño del *Pit Limit* (límite final de excavación) con rampas elaborado a través del método convencional (manual) para maximizar y aprovechar las amplias reservas de cuarcitas friables. Este se diseñó a través del método de las secciones verticales.

Para diseñar un *Pit Limit* mediante el método convencional inicialmente se tomaron las secciones verticales a las cuales se dividió a la mina San Isidro, en este caso solo se tomó una muestra de 47 secciones verticales, a cada una se le realizó una interpretación de banqueos de acuerdo con los parámetros dados, los niveles deben poseer una altura de 15 metros, bermas de 10 metros de ancho, ángulo de talud de 70° y un ángulo de fosa de 45° , luego se elaboró un mapa de piso, este sirvió como base para la elaboración del *Pit Limit*, seguidamente se digitaliza el diseño del *Pit Limit* y con ayuda del *software Medsystem/Minesight* el diseño se puede observar en 3-D y también con esta herramienta tecnológica se obtuvo el cálculo de reservas recuperables del *Pit*, el cual, permite realizar un bosquejo general de la mina San Isidro cuando inicie la explotación de las cuarcitas friables.”

- ✓ Richard E., Monsalve J. (2004) "CÁLCULO DE RESERVAS GEOLÓGICAS DEL CERRO RICARDO UBICADO EN EL DISTRITO FERRÍFERO PIAR, CON EL USO DEL *SOFTWARE MEDSYSTEM*".

“El presente trabajo de grado consiste en el cálculo de reservas del Cerro Ricardo con el uso del *software* minero *Medsystem*.

El Cerro Ricardo está ubicado al Este de Ciudad Piar, aproximadamente a 100 Km al sur de Ciudad Bolívar y a 115 al Sureste de Puerto Ordaz. Este cerro está constituido por una formación de hierro de grano fino plegado en forma de un sinclinorio, alojado en la parte superior de la columna estratigráfica expuesta. Las formaciones de hierro son lenticulares y además según el plano geológico se encuentra atravesado por varias fallas.

Para la elaboración de este proyecto de grado, se dispuso de la información de 36 sondeos geoexploratorios realizados por la empresa *Orinoco Mining Company*, asentada en el Distrito Ferrifero Piar en los años 50. Los sondeos se encuentran ploteados en el plano geológico de superficie a escala 1:2000; están distribuidos en 25 secciones verticales las cuales fueron agrupadas, digitalizadas y posteriormente incorporadas al modelo geológico creado en el *Medsystem*. Los sondeos antes mencionados fueron realizados con taladros de percusión y de rotación a diamante.

Al elaborar el modelo geológico de un yacimiento podemos obtener información estadística y por ende estimar el comportamiento físico, químico y litológico de este, a fin de calcular las reservas geológicas presentes para su posterior extracción.

2.2 DISTRITO FERRÍFERO PIAR

2.2.1 Ubicación Geográfica

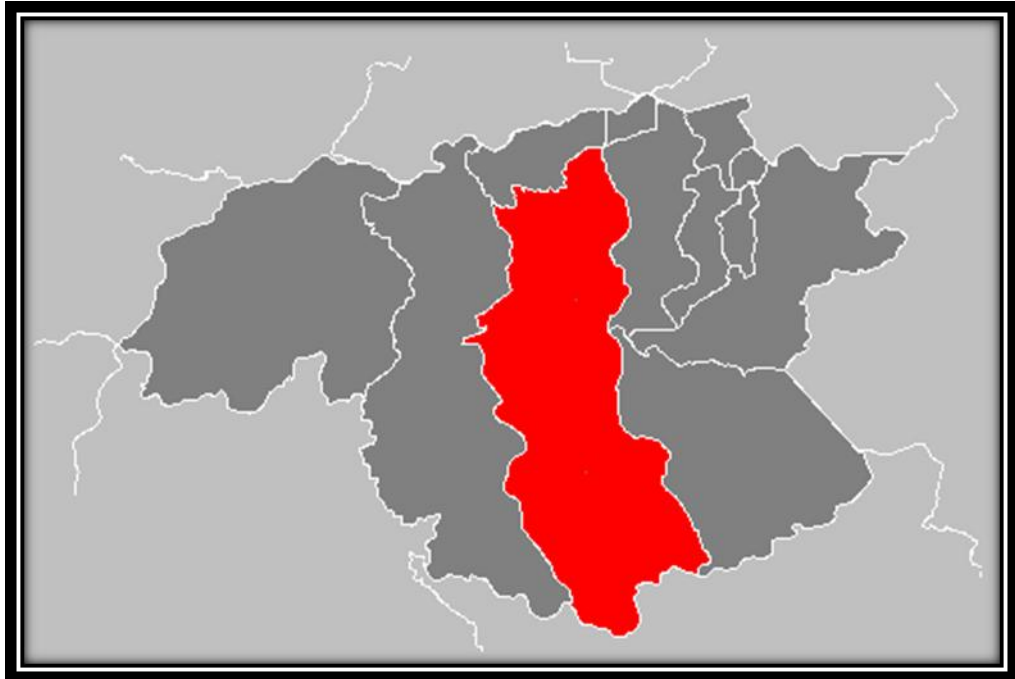
En Venezuela, el mineral de hierro se encuentra concentrado mayormente en una zona denominada Distrito Ferrífero Piar (DFP), en donde se encuentran muchos yacimientos de hierro y está localizado en el estado Bolívar con una extensión de 80 Km de ancho por 500 de largo. Por el Norte limita desde la confluencia del río Orinoco con el río Apure, siguiendo su curso hasta llegar a los comienzos de El Delta, su límite Sur lo define la falla de Santa Bárbara y su eje desde el Oeste hasta el Este, lo constituye el paralelo 7° 22' que pasa a 10 Km. al Sur del Cerro Bolívar y continúa por el Noreste de Upata, hasta el cruce del paralelo 8° con el meridiano 61° (Anónimo, “Mineral de Fe en Latinoamérica-Venezuela, s.f.). (Ver fig. 2.1).



Fuente: S/A. “Mineral de hierro en Latinoamérica-Vzla., 2003.

FIGURA 2.1 Ubicación de los Yacimientos de CVG-FMO.

Ciudad Piar se fundó en 1952 y fue creada inicialmente como un complejo habitacional para los trabajadores de FMO. En la actualidad es la capital del municipio Bolivariano Angostura, anteriormente llamado municipio Raúl Leoni, posee una superficie aproximada de 54.386 Km². Ver figura 2.2



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_Bolivariano_Angostura

FIGURA 2.2 Ubicación del Municipio Bolivariano Angostura, estado Bolívar

Vías de Acceso

El DFP se encuentra interconectado al sistema nacional de vialidad mediante carreteras asfaltadas que parten desde Ciudad Bolívar (100 km) y Puerto Ordaz (110 km) hasta Ciudad Piar. Las áreas de explotación igualmente se comunican con Ciudad Piar a través de 18 km de vialidad; además, existe una pista de aterrizaje que permite la llegada de aviones pequeños, conjuntamente con el sistema ferroviario que se extiende desde el Complejo Ferrífero San Isidro (CFSD) hasta Puerto Ordaz (136 km), (CVG–FMO, 1991).

2.2.2 Geología

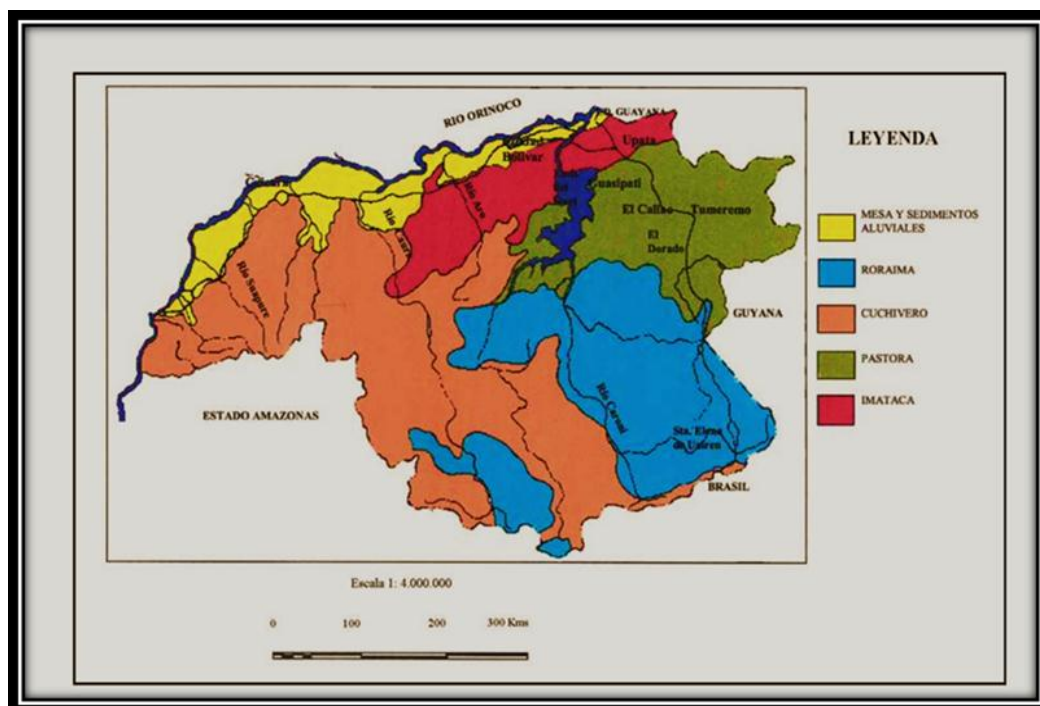
La geología regional asociada al Distrito Ferrífero Piar comprende escudos de rocas precámbricas (Escudo de Guayana), que no fueron cubiertos completamente por el mar en el transcurso del tiempo geológico, debido a un tectónica activa durante el Precámbrico y movimientos terrestres relativamente estables al comienzo del Cámbrico.

Basándose en los caracteres petrológicos y tectónicos, el Escudo de Guayana en Venezuela está integrado por: el Complejo Imataca, Supergrupo Pastora, Grupo Cuchivero y Grupo Roraima; unidades que se diferencian en sus direcciones estructurales, los estilos de deformación tectónica, asociaciones litológicas, metalogénicas y en sus edades. Petrológicamente, el Complejo Imataca pertenece al denominado cinturón granulítico, el Supergrupo Pastora a los cinturones de rocas verdes, el Grupo Cuchivero se caracteriza por grandes extensiones de granitos (1.800 ± 200 m.a.) y granitos post-tectónicos (1.500 m.a.), y el Grupo Roraima es una cobertura discordante sobre rocas pertenecientes a Pastora o Cuchivero.

Los depósitos de mineral del DFP se describen a través de las formaciones de hierro del Complejo de Imataca y a la Formación Mesa; por lo cual, se detallan dichas unidades geológicas a continuación (Chase, R., 1965):

2.2.2.1 Complejo Imataca

Se localiza en el estado Bolívar dentro del cuadrilátero de Las Adjuntas situado en el municipio Raúl Leoni; hoja de Cartografía Nacional 7740, escala 1:100.000. Es por esto, que Ascanio (1975) recomienda como localidad, la expuesta en la carretera Puerto Ordaz - La Paragua. Por lo tanto, alcanza dimensiones hectokilométricas, tanto en ancho, como en su extensión W-E; ocupando una faja al norte del escudo de rumbo E-NE, con un límite occidental a unos 15 km al este de Maripa y hacia el sur se extiende al oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharó y el salto Pará en el río Caura (PDVSA-INTEVEP, 1997). En la (figura 2.3) se puede apreciar de color rojo la extensión del Complejo Imataca.



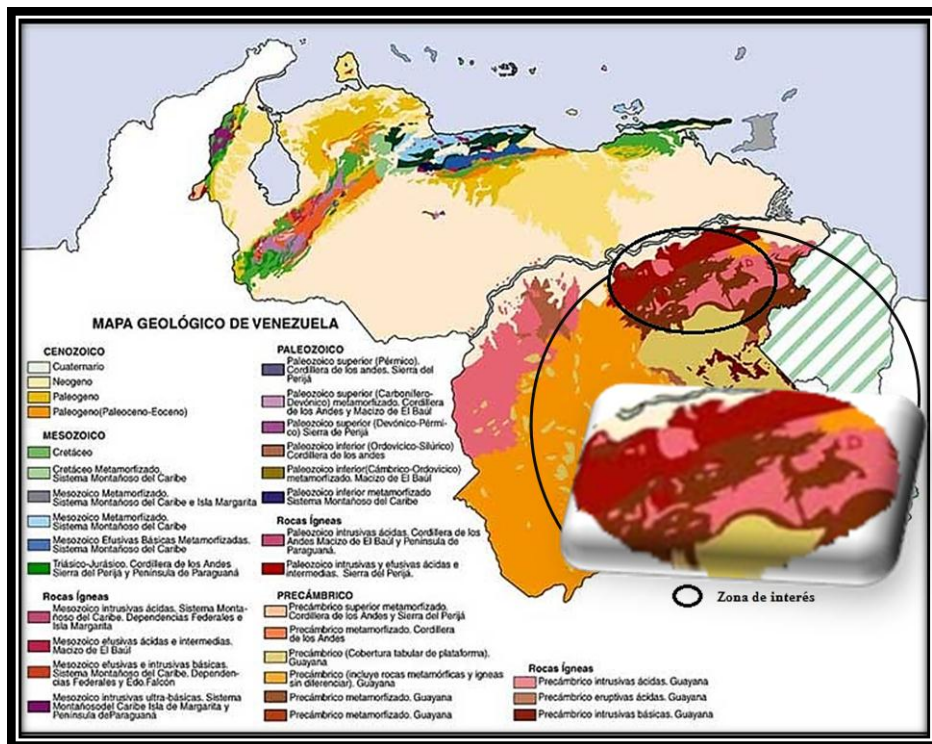
Fuente: Mendoza, V. 2000

FIGURA 2.3 Mapa Geológico Generalizado del Escudo de Guayana

El Complejo de Imataca consiste en orden de abundancia decreciente, de una secuencia, de granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitos microclínicas-cuarzo-plagioclásicas-piroxénicas, gneis cuarzo –feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico-silimanítico-grafítico y formaciones de hierro, con las siguientes litologías secundarias: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquistos bronzítico-hornabléndico-biotítico. La secuencia está intrusionada por cuerpos graníticos básicos (PDVSA–INTEVEP, 1997).

Su edad se ubica en el precámbrico Temprano. Sin embargo, (Hurley, et al, 1977) señalan edades más viejas que 3.000 m.a., con base en los datos Rb/S en roca total, obtenidas de muestras del sitio de la represa de Gurí, representadas por rocas granulíticas. Además, el Complejo de Imataca puede correlacionarse con las granulitas y gneises del Grupo Kanuku en Guyana, con las granulitas del Río Falsino en Brasil, con las granulitas y rocas asociadas de las montañas Bakhuy en Surinám y con la Serie Isla de Cayena de la Guayana Francesa. (PDVSA–INTEVEP, 1997). Martín Bellizzia reseñó las determinaciones radiométricas de edad efectuadas en rocas del complejo, por diferentes autores. Hurley y otros

(1977), señalan edades más viejas que 3.000 m.a. y quizás tan antiguas como 3.400 m.a., en base a datos Rb/S en roca total, obtenidas de muestras del sitio de la represa de Gurí, representadas por rocas granulíticas. Las rocas de Imataca han sufrido rejuvenecimiento y movilización parcial, originando emplazamiento de cuerpos intrusivos y desarrollo de zonas migmatíticas. En cuanto a edades relativas se refiere, algunos de estos cuerpos como la Migmatita de La Ceiba, muestran edades del orden de 2.700 m.a. En muestras del Granito de La Encrucijada se determinaron 2.153 m.a. por Rb/Sr y 2.900 m.a. por Rb/Sr y 2.900 m.a. por Rb/Sr. en una muestra tomada siete (7) Km al oeste del borde de este plutón. (PDVSA-INTEVEP, 1997). En la (figura 2.4) se observan las edades asociadas a la zona de estudio, la cual está enmarcada en un área de borde negro.



Fuente: Mendoza (2000)

FIGURA 2.4 Mapa Geológico De Venezuela

2.2.2.2 Formación Mesa

Según PDVSA-INTEVEP (1997), la Formación Mesa se extiende por los llanos Centro-Orientales y Orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al sur del río Orinoco. (Ver la figura 2.5)



Fuente: PDVSA-INTEVEP, (1997)

FIGURA 2.5 Localización de la Formación Mesa

La Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso y muy duro; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limonita. Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de Norte a Sur, de más gruesos a finos al alejarse de las cadenas montañosas del Norte y, desde la parte central de Monagas al Macizo de Guayana, gradan de finos a gruesos (PDVSA-INTEVEP, 1997).

El espesor de la Formación Mesa es muy variable, pero en términos generales disminuye de Norte a Sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltáica y aumenta de Oeste a Este, por el avance de los sedimentos deltáicos (González de Juana et al., 1980). En la Mesa de Maturín, la Formación Mesa tiene un espesor máximo de 275 m, mientras que en el estado Bolívar llega a los 20 m. además con base en la relación transicional con la Formación Las Piedras (Plioceno), se ha postulado una edad del Cuaternario (Pleistoceno) para la Formación Mesa (PDVSA–INTEVEP, 1997).

2.2.3 Vegetación

Según CVG-TECMIN (1991), la vegetación sobre las menas de costras de yacimientos del DFP es escasa, formadas por arbustos achaparrados, por lo que la misma ha sido clasificada como de “bosques tropósfitos macrotérmicos” y bosques pluviales. El arbusto que más abunda sobre los suelos de la región es una especie denominada “Copey”, sobre todo una de ellas, exclusiva de la de zona, la *Clusia Lakeli*, indicativa de la existencia de menas ferríferas.

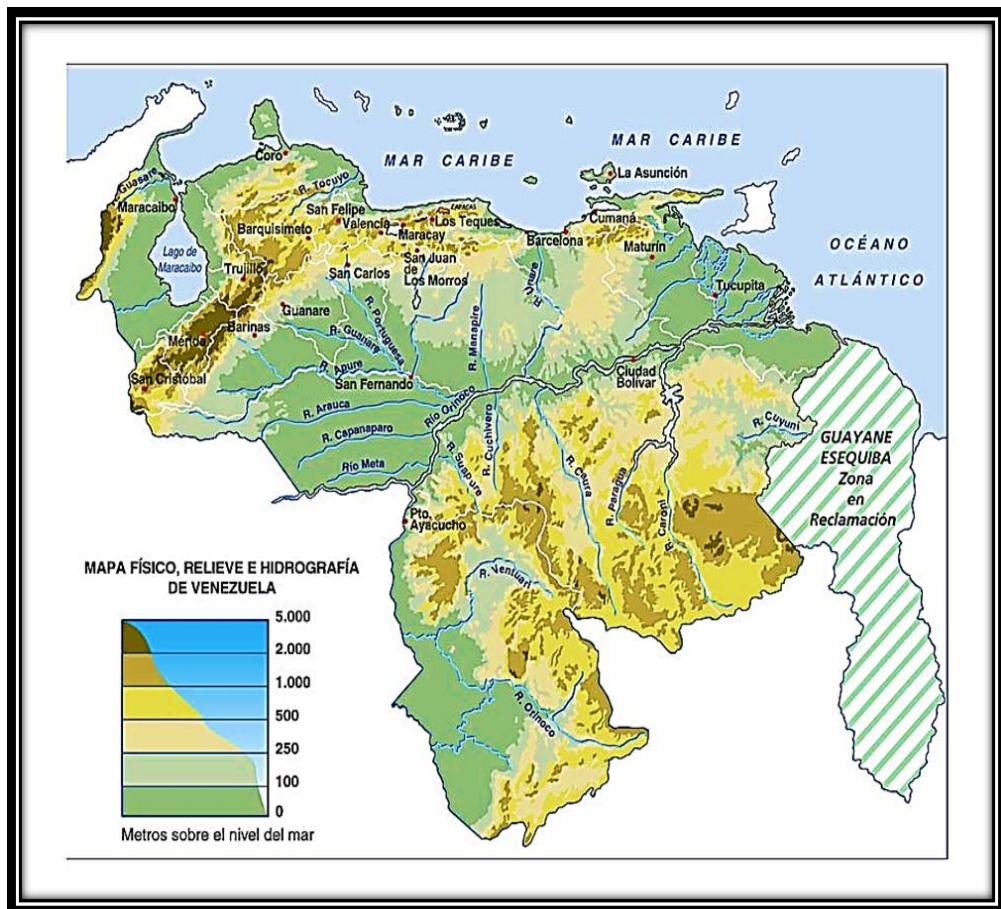
2.2.4 Clima Y Precipitación

El clima de la Guayana septentrional puede clasificarse como clima tropical seco. La temperatura media de la región es de 26 °C (tomada en Cd. Piar), con un máximo de 32 °C y un mínimo de 21 °C respectivamente, caracterizado por fuertes y torrenciales lluvias durante el invierno y prolongadas sequías durante el verano. La precipitación media es de 1.375 mm por año (Cd. Piar). Las lluvias se producen durante los meses de marzo y octubre, con mayor intensidad entre julio y agosto (CVG–FMO “Plan a 25 años”, 2001).

2.2.5 Relieve

Se presentan serranías y diversas formaciones rocosas propias del Complejo de Imataca y de la Formación Mesa, comprendidas entre el río Orinoco al norte, la falla de Santa Bárbara al sur, el río Caroní al este y el río Aro al oeste; es decir, acantilados característicos de formaciones sedimentarias horizontales. En la faja del Cerro Bolívar al sur de la falla de Gurí, la topografía está caracterizada por afloramientos de formación de hierro entre los Cerros Arimagua y el Trueno. En la faja de Santa Rosa se desarrolla un grupo de colinas alargadas y paralelas

controladas por gneises cuarzos feldespáticos bandeados (CVG–FMO, 1991). En general, las características fisiográficas de las sabanas en la región del DFP son típicas de superficies erosionales de escudo. Con topografía suavemente ondulada y de relieve bajo, representa un peniplano con suelos arenosos, arcillosos y frecuentemente lateríticos producto de la descomposición de las rocas originales. (Ver figura 2.6)



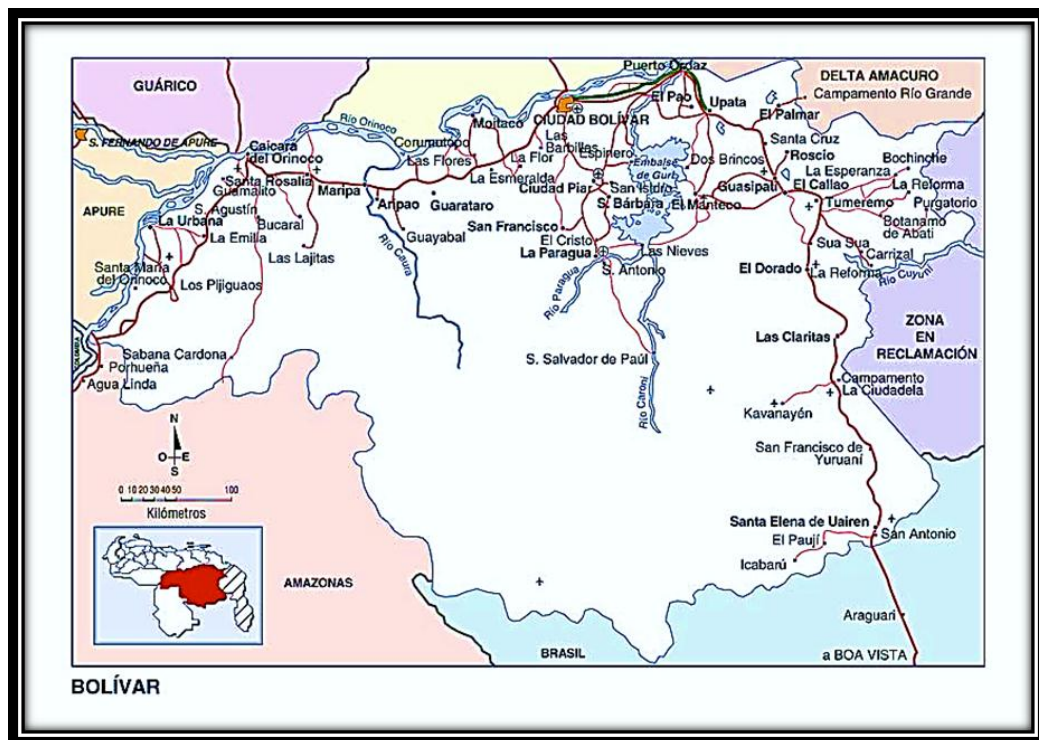
Fuente: <http://www.tuwebvenezuela.com/mapas.php>

FIGURA 2.6 Mapa físico, relieve e hidrográfico de Venezuela

2.2.6 Hidrografía

La red hidrográfica de la región pertenece a la “Hoya Hidrográfica del Orinoco”, por lo cual, los ríos principales drenan según el rumbo de la foliación de gneises y formaciones de hierro. Los cursos de agua en esta región son en su mayoría intermitente y torrenciales, mientras que las quebradas: Tocoma, Mereicito, Purgatorio y Araciana son permanentes (CVG–FMO, 2001).

Una de las referencias más importantes de la hidrografía de la zona es el embalse de Gurí, el cual es el embalse de agua más grande de Venezuela. Por su extensión y volumen de agua almacenada es el segundo cuerpo lacustre más grande del país, sólo superado por el lago de Maracaibo. Este embalse se encuentra formado y delimitado por la presa de Gurí, donde se encuentra la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar y debe su origen a la construcción en el río Caroní de dicha represa. (Ver figura 2.7)



Fuente: <http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/viales/bolivarv.html>

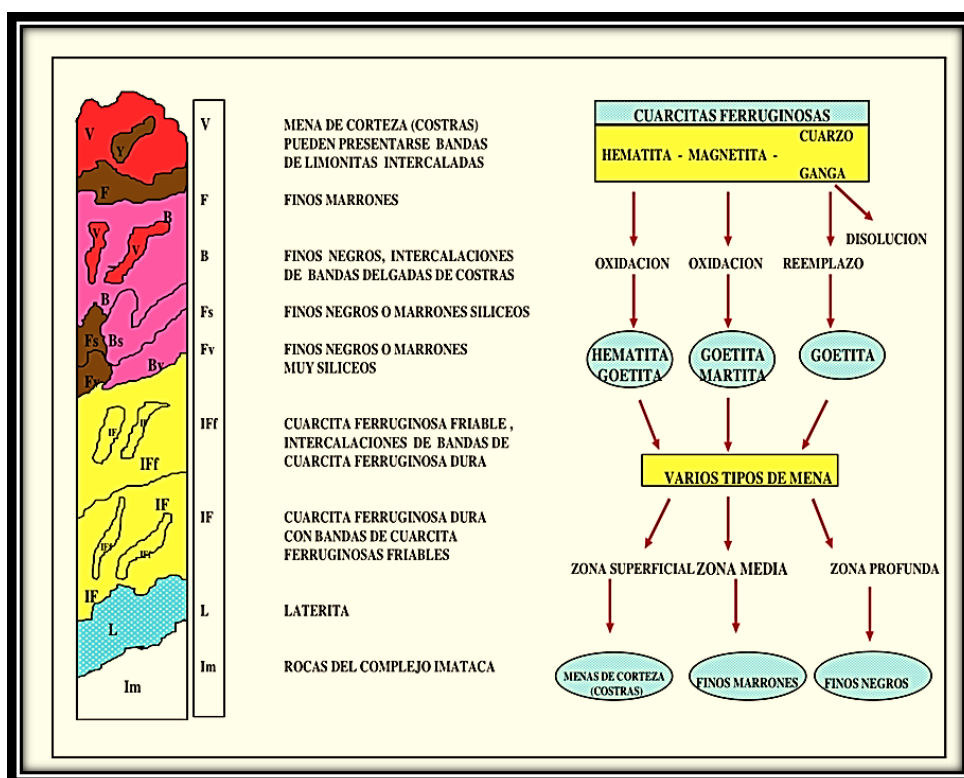
FIGURA 2.7 Mapa Hidrológico del estado Bolívar

2.3 TIPOS LITOLÓGICOS PRESENTES EN LOS YACIMIENTOS DEL DISTRITO FERRÍFERO PIAR

Según el informe de CVG–FMO sobre Menas y Rocas del Distrito (s/f), el proceso de enriquecimiento supergénico de las cuarcitas ferruginosas ha dado origen a distintos tipos litológicos de menas según la intensidad o naturaleza del proceso, proporcionando como resultado menas de alto tenor ($Fe > 55\%$) y menas de bajo tenor ($Fe < 55\%$); que a su vez se subdividen sobre la base de sus características físicas, químicas y de textura en diferentes subtipos; divisiones que se presentan a continuación:

2.3.1 Menas de alto tenor

Son aquellas que contiene Fe seco $> 55\%$, $SiO_2 < 6\%$, $P < 0,120\%$, y se subdividen en: blandas y duras (Ver fig. 2.8).



Fuente: CVG-FMO “Menas y Rocas del DFP”, s.f.

FIGURA 2.8 Columna Litologica de los Yacimientos del Distrito Ferrífero Piar

2.3.1.1 Menas blandas o friables [B, F, Y]

Se agrupan bajo el término de finos y tienen aspecto de arena suelta, moderadamente hidratadas, con porosidad alta, frecuentemente se muestran finamente laminadas. Se presentan con un bajo contenido de sílice (0-2%) y un tenor promedio de 64% de Fe seco. En este grupo podemos distinguir:

Finos negros (B): están formados fundamentalmente por granos sueltos que se derivan de cuarcitas con alto contenido de hematita, probablemente sin ferrosilicatos. Debido a una alta porosidad, tienen la consistencia de arenas sueltas de color gris acerado o negro. Alcanzan tenores hasta 69% de Fe seco.

Finos marrones (F): presentan una pequeña variación química con respecto a los finos negros, traducida en un aumento en el contenido de la alúmina y de la pérdida por ignición (PPR) que se debe a un incremento en el contenido de gohetita y minerales alumínicos. Tienen un color marrón claro a oscuro. Suelen encontrarse en el yacimiento por encima de los finos negros e infrayacentes a las costras superficiales.

A su vez, tanto los finos negros como los finos marrones se subdividen de acuerdo al contenido de sílice en finos silíceos (Bs-Fs) y finos muy silíceos (Bv-Fv). Estos son semejantes a los finos simples pero con mayor proporción de sílice remanente, que va en los finos silíceos de 2 a 6% y en los finos muy silíceos es mayor al 6%, limitado a un contenido de Fe (seco) mayor al 55%. En el yacimiento suelen ocurrir en contacto directo con la cuarcita ferruginosa (CVG-FMO, 2004).

Limonita (Y): constituida mayormente por limonita térrea, blanda, porosa, de color ocre amarillo, y en menor proporción por minerales de arcilla. Mineralógicamente está formada por gohetita críptocristalina y agua capilar o de absorción. Se considera como el producto de meteorización de formaciones ferríferas muy ricas en ferrosilicatos. Se caracteriza por alto contenido de agua de cristalización (más del 8%) y tenor de 56 a 60% de Fe seco.

2.3.1.2 Menas duras: de acuerdo a lo expuesto en CVG-FMO “Menas y Rocas del DFP” (s.f.)

Estas se agrupan bajo el término de Costras (V) y suelen localizarse en las zonas superficiales del yacimiento a manera de casquetes que recubren las bolsadas de finos, aunque ocurren también interestratificadas con los finos en profundidad. En general, muestran texturas porosas y cavernosas, contienen fragmentos rodados de otras menas y puede ser laminada, bandeada o masiva. Mineralógicamente están compuesta por aportes variables de hematita, gohetita y limonita; con pequeñas proporciones de aluminio-silicatos alterados. Su tenor promedio es de 64% aproximadamente, entre los subtipos se tiene:

Costra Masiva (V): muestra textura porosa, contiene fragmentos de otras menas y no presenta laminación remanente. Corresponde a un proceso avanzado de meteorización superficial con precipitación intensa de hidróxidos de hierro coloidales y relleno parcial del espacio poroso. Suele recubrir bolsadas de finos con alta proporción de bandas de limonita amarilla. El tenor en Fe seco es de 62 a 67%.

Costra Laminada (Vp): típicamente se desarrolla en los flancos superiores de los yacimientos cerca del contacto con las cuarcitas ferruginosas, alcanza hasta 67% de Fe seco, donde la limonita se presenta distribuida en láminas alternadas de poco espesor, a veces frágiles y desmenuzables.

Costra Hematítica (Vh): compuesta principalmente por hematita especular (oligisto), diferenciándose de los finos negros por presentar un mayor contenido de alúmina, sílice y pérdida por ignición. La costra hematítica va desde homogénea hasta cristales desarrollados, ocurriendo a diferentes niveles del yacimiento, en especial, interestratificada con las menas friables en profundidad; alcanzando un tenor entre 64 y 69% de Fe.

Costra Gohetítica (Vg): constituida de gohetita macrocristalina o amorfa, masiva, dura y frágil, de color pardo de brillo mate o negro de brillo adamantino. Mineralógicamente esta gohetita es bastante pura, en pequeñas cantidades, se presenta limonita cementada, cristales de gohetita y cuarzo. Presenta alto

contenido de fósforo y el contenido de alúmina se eleva en ésta, posiblemente por la presencia de hidróxido de aluminio (Gibsita). Los minerales distintos a los óxidos e hidróxidos de hierro están en un porcentaje inferior al 5% aproximadamente. Tiene un tenor entre 58-63% de Fe seco.

Costra Limonítica (Vy): presenta un color amarillento y está constituida por limonita como componente mayoritario, el cuarzo, el caolín, la gibsita y otros minerales se encuentran en proporciones menores al 5%. Químicamente presentan alúmina, con porcentaje de pérdida por ignición y fósforo elevado. Desarrollándose por encima de los finos marrones muy hidratados.

2.3.2 Menas de Bajo Tenor

Según CVG-FMO (2004), son aquellas que contiene un porcentaje menor o igual al 55% de Fe seco, y se subdividen en:

2.3.2.1 Cuarcita Ferruginosa Dura (IF)

Constituye la roca primaria fresca a partir de la cual se originan las menas de hierro. Es de color gris a gris oscuro, presenta estructura bandeada bien definida con espesores de bandas que van desde 0.5 mm a varios centímetros, con granos minerales uniformemente diseminados, otras presentan estructuras ojasas con lentejones irregulares de cuarzo y óxido de hierro como resultante de intensa reorganización metamórfica. También, se encuentran cuarcitas macizas, sin esquistosidad ni bandeamiento definido. Mineralógicamente están compuestas de magnetita, hematita, poca gohetita y proporciones menores de mica, anfíbol, calcita y apatito.

2.3.2.2 Cuarcita Ferruginosa Friable (Iff)

Es una cuarcita parcialmente lixiviada por remoción incipiente de sílice. Según el grado de meteorización su tenor varía entre 45% y 55% de hierro seco. En profundidad pasa a cuarcita ferruginosa dura (fresca) o se encuentra en contacto directo con la laterita. Mineralógicamente se compone por granos de hematita, martita (magnetita parcialmente oxidada a hematita), algo de gohetita y la ganga es principalmente cuarzo.

2.3.2.3 Laterita (Lat)

Es producto residual de la meteorización profunda de gneises, esquistos y rocas intrusivas adyacentes intercaladas con las cuarcitas ferruginosas y menas de hierro. Presenta color blanco, rosado o pardo y estructura bandeada remanente de la foliación de las rocas primarias. Su alto contenido en sílice (30%), alúmina y bajo contenido de hierro (10 a 15%) la clasifica como mineral estéril. Ocurre principalmente en los flancos de los yacimientos.

2.4 COMPONENTES DEL MINERAL DE HIERRO

Parte de esta información fue extraída de (Salazar, 2009)

2.4.1 Hierro

Es un metal de transición muy abundante en nuestro planeta, también es conocido como Fierro (Fe), presenta características magnéticas, es maleable, duro y denso, se encuentra en la naturaleza formando parte de numerosos minerales, generalmente se presenta como óxido. Es metal pesado más usado en el mundo a nivel industrial y su principal aplicación es la de crear productos siderúrgicos como el acero en sus diferentes presentaciones.

Es el elemento de interés para CVG-FMO, a un mineral con alto contenido de Hierro se le da la clasificación de material de Alto Tenor, que es el mineral ideal para extraer en las minas de dicha empresa.

2.4.2 Sílice

Es un óxido de silicio (SiO_2), es muy común en nuestra corteza terrestre, es el componente principal de la cuarcita. Un alto contenido de sílice implica un alto contenido de escoria en el proceso de aceración y requiere un consumo mayor de energía, por lo que en la medida de lo posible se debe evitar extraer material con alto contenido de Sílice.

2.4.3 Alúmina

Es un óxido de aluminio (Al_2O_3) muy común en suelos lateríticos. No es conveniente un alto contenido de alúmina en el material, puesto que esta pasa a

ser totalmente escoria cuando se está produciendo el acero e influye fuertemente en las propiedades de este, ya que eleva su temperatura de fusión.

2.4.4 Pérdidas por Calcinación

Es la cantidad de agua de cristalización que posee el mineral. A mayor pérdida por calcinación mayor cantidad de impurezas contiene la muestra. Para determinar las pérdidas por calcinación (PPC) se somete un gramo de mineral a altas temperaturas hasta que alcance la homogenización y luego se dejar enfriar y se pesa nuevamente para determinar las pérdidas obtenidas, las cuales se expresan en porcentaje.

2.4.5 Fósforo

Es un elemento químico cuyo símbolo es (P), es No metal, perteneciente al grupo del Nitrógeno. Se considera una influencia perjudicial en la elaboración del acero, puesto que se disuelve en cantidades considerables.

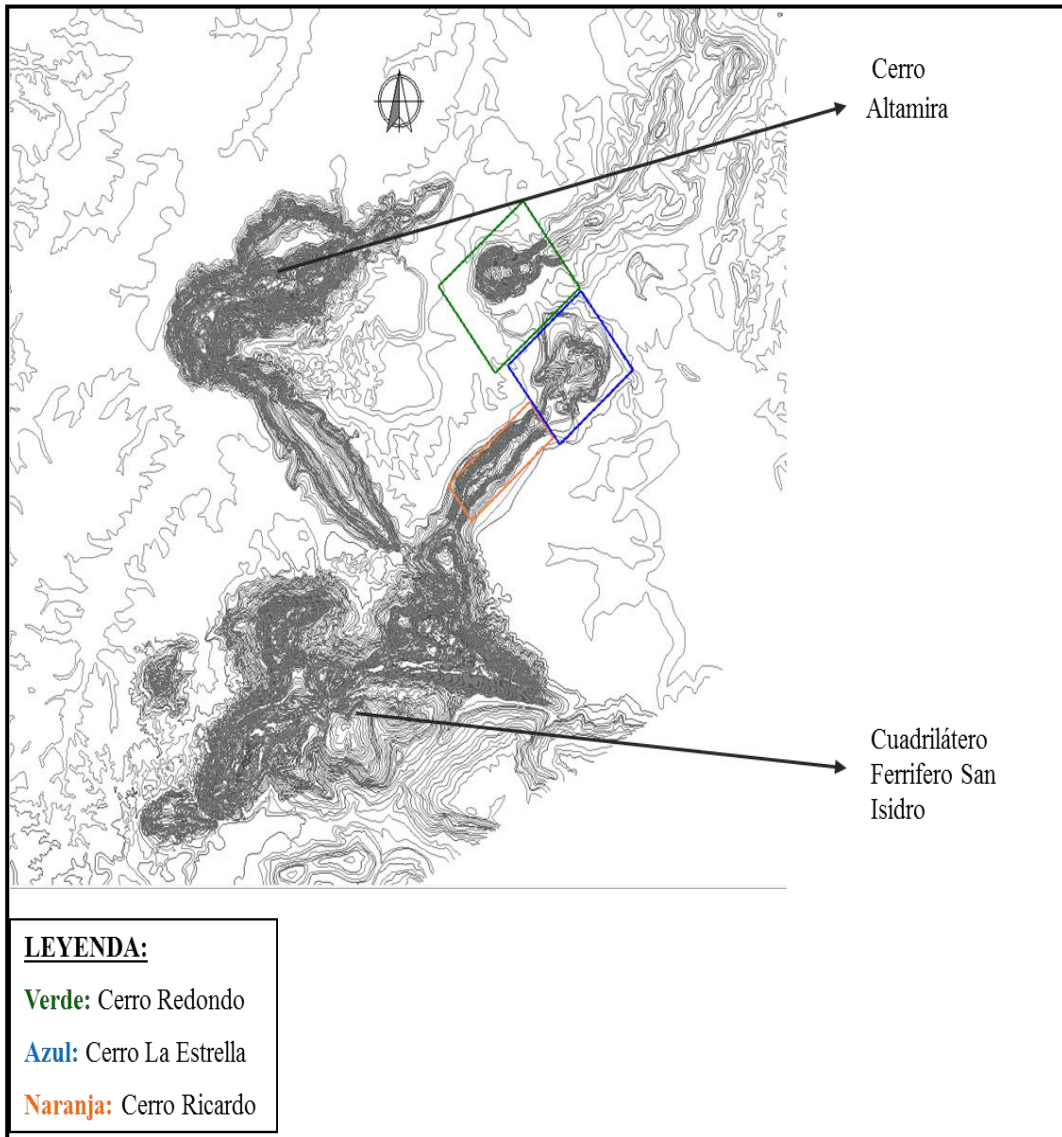
Cuando existe un exceso de fósforo en el acero el mismo se resulta frágil, característica que no resulta conveniente puesto que el acero es un material de construcción.

2.4.6 Manganeso

Es un mineral refractario y de fácil oxidación, puede ser ferromagnético. Se encuentra en forma libre en la naturaleza, comúnmente asociado al Hierro, se simboliza (Mn) y se emplea sobre todo aleado con el hierro por sus características de dureza y para evitar la oxidación en los aceros.

2.5 GRUPO REDONDO

El grupo redondo está conformado por tres (3) yacimientos en los cuales se realizó la presente investigación, ellos son: Cerro Redondo, Cerro Ricardo y Cerro La Estrella, a continuación se describen cada uno de ellos. Ver figura 2.9



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 2.9 Ubicación relativa de los Yacimientos del Grupo Redondo

2.5.1 Cerro Redondo

2.5.1.1 Localización y Acceso

El Cerro Redondo se encuentra a 25 Km al Noreste de Ciudad Piar, entre los cerros Altamira y la Estrella; y su acceso se logra a través de una vía engrazonada que es la continuación de la carretera Ciudad Piar – Yacimiento Altamira.

2.5.1.2 Geología Local

La cobertura superficial del Cerro Redondo presenta la siguiente composición proporcional: canga (45%), ripios (23%), costras (15%), bloques de canga (14%), finos y laterita (4%).

La mena en profundidad mantiene el mismo comportamiento anómalo observado en las muestras de superficie de acuerdo a los resultados de los análisis químicos de los sondeos. Es importante resaltar el hecho de que los horizontes de cuarcita presentan con mucha frecuencia altos valores de fósforo, como consecuencia de su limonitización. Esta anomalía se presenta debido a condiciones extremas de hidratación a que fueron sometidas las menas, haciéndose más limoníticas, debido a la presencia de abundantes zonas de cizalla hacia la parte central del yacimiento siguiendo la tendencia de la elongación del cerro. De esta manera, se consigue que el borde Noroeste del cerro está compuesto de costras masivas y limoníticas formando grandes escarpes; esta expresión geomorfológica corresponde a zonas de afloramientos de cuarcitas, sin embargo, las condiciones extremas de lixiviación redujeron estos escarpes de cuarcitas a escarpes de costras. Mientras que en el borde sur-este, en un frente de excavación antiguo, se observa grandes espesores de canga de cinco (5) a seis (6) metros, en contacto directo con una cuenca de finos negros. Este tipo de contacto litológico de acuerdo al orden de yacimiento de las menas no es usual observarlo en los depósitos del cuadrilátero ferrífero (CVG-FMO “Informe Geológico del Cerro Redondo”, s.f.).

Debido a restricciones en la construcción de accesos para perforar en el área Nor-central, solo se realizaron cinco (5) sondeos que registraron horizontes

de costras limonítitas; mientras que la evaluación del área Sur - Este sirvió para verificar que los finos negros expuestos por una antigua intervención, no tienen continuidad, limitándose su presencia a bolsones muy puntuales con un espesor promedio de 60 m. Los sondeos geoexploratorios cortaron horizontes de cuarzo ahumado con tonalidades muy oscuras a negras que hacen sospechar la presencia de sílice libre en el mineral, lo cual puede ser consecuencia de la cercanía de un cuerpo radiactivo (CVG-FMO “Informe Geológico del Cerro Redondo”, s.f.).

2.5.1.3 Geología Estructural Local

La información generada por la evaluación geológica de superficie y la interpretación de los resultados obtenidos en los sondeos geoexploratorios, permiten afirmar, que la estructura principal del Cerro Redondo consiste en un sinclinal asimétrico con plano axial concordante con la elongación del cerro (noroeste), con inmersión al sur-oeste y buzamiento hacia el sur-este con doble pliegue secundario muy cerrado, que encierra bolsones de finos negros entre horizontes lateríticos (CVG-FMO “Informe Geológico del Cerro Redondo”, s.f.).

2.5.2 Cerro Ricardo

2.5.2.1 Localización y Acceso

El Cerro Ricardo se encuentra en el Municipio Raúl Leoni del estado Bolívar aproximadamente a 100 km al Sur de Ciudad Bolívar, a ciento quince (115) Kilómetros al Sureste de Puerto Ordaz y a veinte seis (26) Kilómetros de Ciudad Piar, sus coordenadas exactas son; longitud $63^{\circ} 01' 01''$ y latitud $7^{\circ} 40' 07''$. El acceso a este Cerro se logra a través de una carretera rural de 19,5 Kilómetros, la cual une al yacimiento con la carretera asfaltada Ciudad Piar-Puerto Ordaz (Ascanio, 1976).

2.5.2.2 Geología Local

El Cerro Ricardo está constituido por una formación de hierro de grano fino plegada en forma sinclinal, en la parte superior de la columna estratigráfica expuesta las formaciones de hierro son lenticulares y además según el plano geológico se encuentra atravesado por varias fallas (Ascanio, 1976).

Contiene menas tipo Cerro Bolívar que se clasifican en: Mena Residual, formación de hierro meteorizado blando y formación de hierro seco.

2.5.3 Cerro La Estrella

2.5.3.1 Localización y Acceso

Está localizado a 27 Kilómetros en línea recta al este de Cerro Bolívar al cual está relacionado geológica y estructuralmente. Se accede a través de la carretera Ciudad Piar- Cerro Altamira- Cerro Redondo (Ascanio, 1976).

2.5.3.2 Geología Local

La estrella es un yacimiento de formación de hierro laminada de grano fino (cuarcita ferruginosa) a partir de la cual se han formado por meteorización depósitos residuales de mena con más de 55% de hierro seco.

2.6 CLASIFICACIÓN DE RESERVAS

2.6.1 Clasificación De Recursos y Reservas Mineras Según *Canadian Institute Of Mining (CIM)*

Deposito: definido por el CIM, significa: “Un fenómeno natural de los minerales o agregados minerales, en tal cantidad y calidad para invitar a la explotación”. Un depósito de mineral puede ser subdividido dentro de dos Clases, Recursos Mineros y Reservas Mineras (González, 2012)

2.6.1.1 El Recurso Minero

Es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico, u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico- económico. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas. El Recurso Minero se puede subdividir en; inferido, indicado y medido.

A) Recurso Mineral Inferido; es aquel donde se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de

evidencia geológica y se asume pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley que podría existir en el lugar.

B) Recurso Mineral Indicado; es aquel donde puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones demasiado distanciadas o con un espaciamiento inapropiado.

C) Recurso Mineral Medido; es aquel donde puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en la exploración detallada e información confiable en ubicaciones que están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley.

2.6.1.2 Reserva Minera

Es la porción económicamente explotable de un recurso mineral medido o recurso mineral Indicado demostrado por al menos un Estudio de Pre-factibilidad. Este estudio debe incluir una adecuada información sobre la Minería, procesamiento, metalurgia, factores económicos, y otros factores relevantes que demuestren, al momento de la presentación del informe, que la extracción económica puede ser justificada. Una reserva minera incluye materiales diluyentes y provisiones por pérdidas que pueden ocurrir cuando el material es extraído.

(a) Reserva Probable; es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral indicado donde se han realizado evaluaciones apropiadas para la fecha y así justificar razonablemente que la extracción puede efectuarse.

(b) Reserva Probada; es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral medido donde se han realizado evaluaciones apropiadas para la fecha y así justificar razonablemente que la extracción puede efectuarse.

2.6.2 Clasificaciones Marco De Las Naciones Unidas Para La Energía Fósil y Los Recursos y Reservas Minerales 2009 (CMNU-2009)

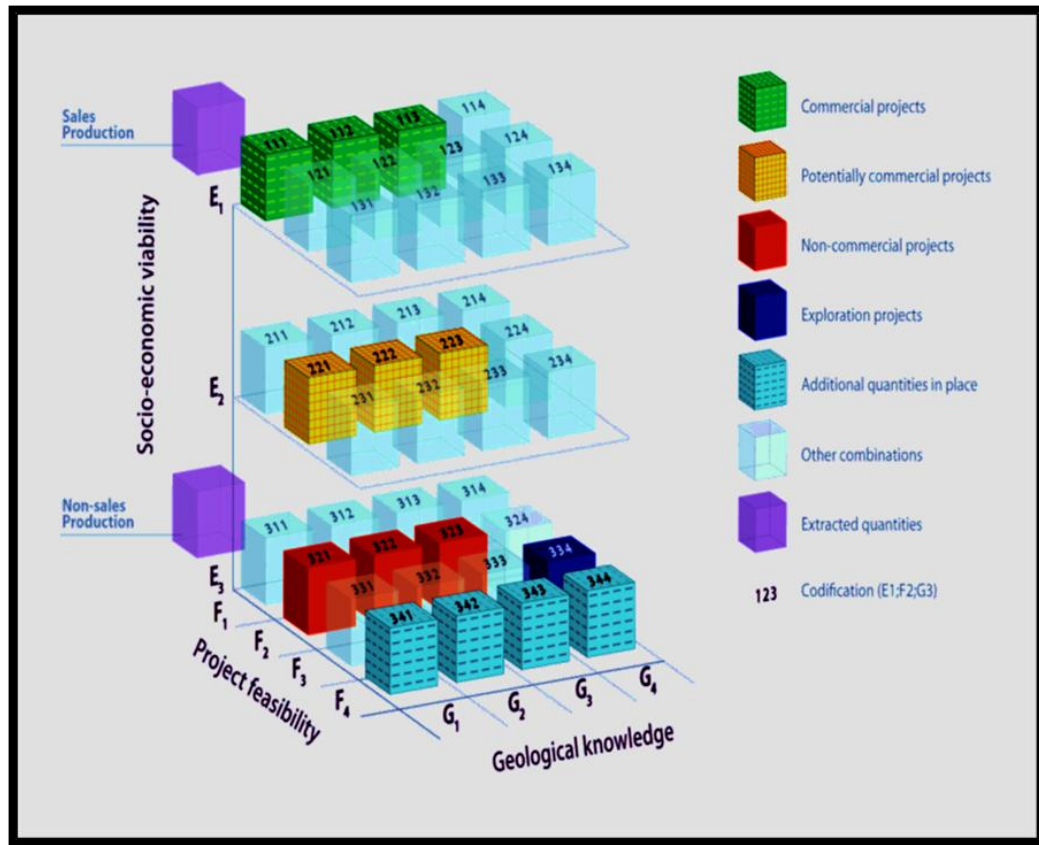
Es un sistema genérico basado en principios en el que las cantidades se clasifican de acuerdo a tres criterios, cada uno de ellos es asignado a una dimensión, por lo que al final se cuenta con un sistema de tres dimensiones; el eje E, el eje F y el eje G (UNEXPO,2010).

El primer conjunto de categorías (eje E) designa en qué medida son favorables las condiciones sociales y económicas a la hora de establecer la viabilidad comercial del proyecto, considerando los precios del mercado y las condiciones de naturaleza jurídica, normativa, ambiental y contractual.

El segundo conjunto (eje F) designa la madurez de los estudios y compromisos necesarios para poner en práctica planes y proyectos de explotación de los recursos mineros. Esos estudios van desde las primeras actividades de exploración hasta el establecimiento de un proyecto para extraer y vender el producto.

El tercer conjunto de categorías (eje G) designa el nivel de confianza en el conocimiento geológico y las posibilidades de recuperar las cantidades establecidas.

Una clase queda definida al seleccionar una combinación determinada de una categoría de cada uno de los tres criterios o ejes. Como los códigos se citan siempre en la misma secuencia (E; F; G) pueden suprimirse las letras y dejarse solo los números. De esta manera, el código numérico que define una clase resulta idéntico en todos los idiomas que utilizan la numeración arábica. Ver figura 2.10



Fuente: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/unfc2009/UNFC2009_ES39_s.pdf

FIGURA 2.10 Categoría y Ejemplos de Clases de la CMNU

2.6.3 Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas Desarrollado por la Firma *Muysquin* Consultoría Ltda. En Abril de 1995 para la Empresa Colombiana Ecocarbon

Este sistema emplea conceptos mediante los cuales el Carbón, el Hierro y otros tipos de minerales pueden ser dispuestos en categorías de recursos y reservas, tomando en consideración dos aspectos; la certeza geológica de su existencia y la factibilidad económica de su recuperación. Ver figura 2.11

2.6.3.1 Certeza Geológica

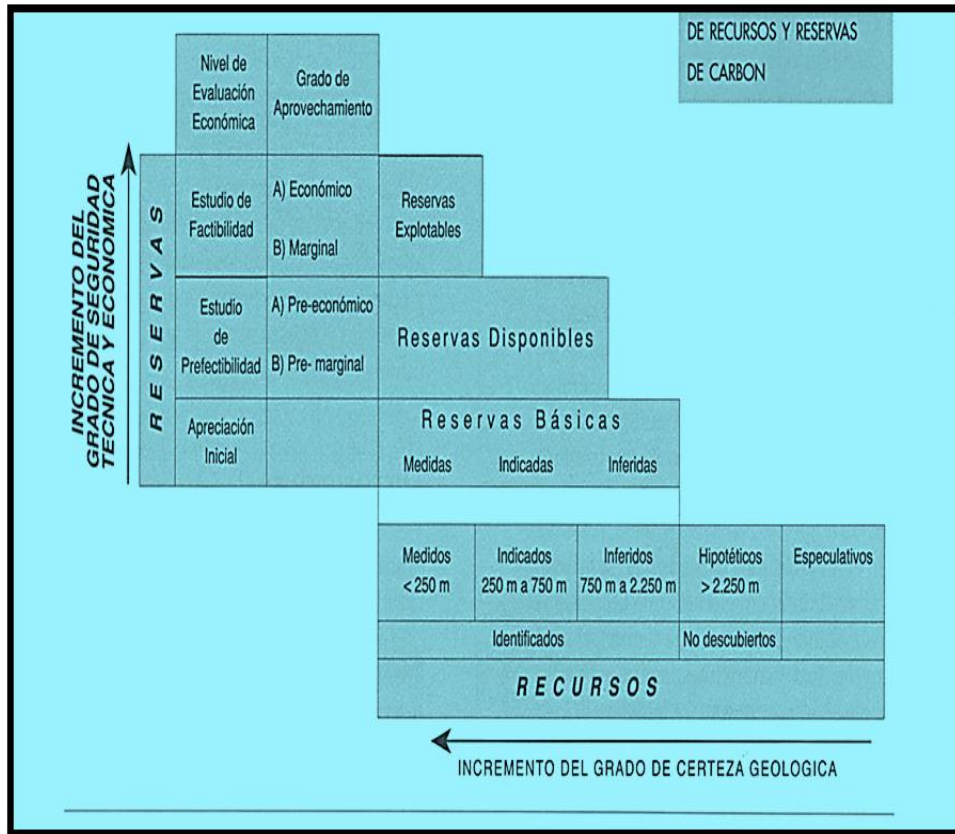
El incremento de la certeza geológica se expresa mediante los siguientes términos; especulativo, hipotético, inferido, indicado y medido, cuyo significado radica en que representan volúmenes determinados por puntos de información más o menos distantes.

- ✓ Medido: los puntos de información distan hasta 500 metros, el uno del otro.
- ✓ Indicado: los puntos de información distan entre 500 y 1500 metros, el uno del otro.
- ✓ Inferido: los puntos de información distan entre 1500 y 4500 metros, el uno del otro.
- ✓ Hipotético: los puntos de información están distanciados por más de 4500 metros.
- ✓ Especulativo: no hay puntos de información o están extremadamente distantes.

2.6.3.2 Factibilidad Económica De Su Recuperación

El incremento de los conocimientos técnicos y económicos se expresa mediante los términos: recursos, reservas básicas, reservas disponibles y reservas explotables, los dos últimos con su respectivo grado de aprovechamiento. Estos términos indican volúmenes de mineral, que van adquiriendo un significado económico más preciso y confiable.

- ✓ Recursos; son todos los volúmenes de mineral que se encuentran antes de realizar cualquier tipo de evaluación económica, es decir, todos los que están en el área.
- ✓ Reservas básicas; representan los volúmenes de material con los que se cuenta para un eventual aprovechamiento económico.
- ✓ Reservas disponibles; son aquellas cantidades de mineral cuyo grado de certeza geológico garantiza un volumen suficiente para el alcance exitoso del proyecto.
- ✓ Reservas explotables: son aquellos volúmenes de mineral que no tienen restricciones económicas, de calidad y geológicas para su extracción.



Fuente: ECOCARBON, 1995.

FIGURA 2.11 Clasificación de Recursos y Reservas Desarrollada por la firma Muysquin Consultoria Ltda.

2.7 MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO

La minería es considerada por muchos autores como un arte, esto se debe a que cada mina y cada extracción minera es diferente a cualquier otra, ya que cada yacimiento posee características propias y diferentes a los demás, las características más notables, son el grado de mineralización, la topografía, el tipo de roca, el espesor y forma del yacimiento, entre otras, dicho esto para poder extraer con el mayor beneficio y facilidad el mineral de interés se han desarrollado varios métodos de minería a cielo abierto donde cada uno de ellos se adapta a las exigencias y características que presenta el yacimiento, a continuación se presentan algunos de estos métodos, esta información fue recolectada de Villanueva A. Alex, (s.f.), Herrera, (2006).

2.7.1 Fosa Abierta (*Open Pit*)

Este método es tradicional en la minería metálica, se realiza mediante un avance tridimensional efectuando un banqueo descendente con secciones verticales en forma troncocónica, para la aplicación de este método se requiere una alta tecnología de planificación, diseño, operación y control, ya que, generalmente este tipo de excavación alcanza profundidades importantes.

La extracción en cada nivel se realiza en un banco con uno o varios tajos dependiendo de la altura del banco. Debe existir un desfase entre los bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad adecuadas, mientras que las vías o carreteras se adaptan a los taludes finales o en actividad, permitiendo así el acceso a diferentes niveles y cotas.

Generalmente la profundidad de estas excavaciones suele ser grande, llegando en algunos casos superar los cuatrocientos (400) metros y por ello la vida de estas explotaciones suele ser larga, por lo general superior a los 20 años, en especial en la minería metálica.

Ventajas del método:

- ✓ Alta productividad. Caracterizado por métodos de manejo de materiales que son altamente mecanizados y de baja ocupación de mano de obra.
- ✓ Alta tasa de producción. Esencialmente no tiene límites el volumen de producción, aunque también el método es aplicable a pequeños depósitos.
- ✓ Producción temprana. El desarrollo del yacimiento puede ser programado a fin de permitir un arranque temprano de la producción.
- ✓ Bajos requerimientos de mano de obra. Requiere bajo número de trabajadores y en algunos casos con poco entrenamiento, excepto para las operaciones claves tales como perforadores, operadores de equipo pesado, mecánicos, entre otros.

- ✓ Operación flexible. La operación puede adaptarse con relativa facilidad a los cambios de la demanda, en volumen y calidad.
- ✓ Bajo costo de arranque. En relación con la minería subterránea el costo de arranque es mucho menor.
- ✓ Accesos y desarrollos simples. Requiere mínimas labores de apertura y accesos.
- ✓ Buena recuperación. Generalmente es muy buena la recuperación del depósito hasta los límites finales de excavación.

Desventajas del método:

- ✓ Limitada profundidad. Las limitaciones tecnológicas impuestas por los equipos restringen la excavación generalmente a menos de los cuatrocientos (400) metros de profundidad, más allá de esos límites la explotación puede continuar mediante métodos subterráneos o simplemente el depósito se dejan en sitio sin recuperar.
- ✓ Alta inversión de capital. Generalmente son proyectos de capital intensivo asociados con grandes equipos de operación.
- ✓ Alta sensibilidad ambiental. La actividad minera afecta amplias áreas que involucran importantes impactos ambientales y obligan a adoptar medidas de prevención, mitigación y control de los mismos, durante la explotación y posteriormente realizar trabajos de recuperación ambiental.
- ✓ Requiere grandes depósitos. Para permitir la obtención de altos niveles de productividad y consecuentemente bajos costos de producción se requieren grandes depósitos minerales, o yacimientos con altos tenores.
- ✓ Estabilidad de taludes. Es esencial el apropiado diseño y mantenimiento de taludes y bancos, para evitar riesgos en las operaciones mineras, y realizar un adecuado drenaje de la mina.

2.7.2 Rajo Abierto (*Open Cut*)

Es una variante del método *Open Pit*, se aplica específicamente para yacimientos que se encuentran en laderas de modo que el sistema de bancos queda abierto a lo largo de la ladera, al igual que el método anterior este se efectúa realizando un banqueo descendiente y debe existir un desfase entre los bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad adecuadas.

2.7.3 Descubierta (*Open Cast*)

Este método se aplica a yacimientos horizontales o parcialmente inclinados se utiliza primordialmente en yacimientos sedimentarios de poca profundidad, de minerales blandos, en forma de capas y de fácil separación entre el mineral y el estéril, con un recubrimiento de estéril inferior a los cincuenta (50) metros.

Consiste en un avance unidireccional de un módulo o hueco con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y este es vertido al hueco o módulo de las fases anteriores, de ahí que sea, por naturaleza, el más representativo de los métodos mineros de transferencia.

La maquinaria que se utiliza en este método depende del volumen de reservas extraíbles con las que se cuenta, siendo la dragalina la maquinaria que frecuentemente se utiliza en las grandes minas, mientras que en las pequeñas se utilizan los equipos convencionales como los cargadores frontales, tractor de orugas, excavadoras hidráulicas, entre otras.

2.7.4 Terrazas

Es un caso particular del método Rajo Abierto (*Open Cut*), en laderas de montaña con un escalonamiento descendente hasta el valle y al igual que sucede con el método de Descubierta (*Open Cast*) y tal como se ha indicado, se efectúa un autor relleno del hueco creado, por lo que, desde el punto de vista de impacto visual y restauración de los terrenos, las posibilidades de actuación son grandes.

Este método se basa en una minería de banqueo con un avance unidireccional, es decir, en una sola dirección, se aplica en yacimientos horizontales o con poca inclinación, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación.

Las profundidades que se alcanzan con este método son importantes, existiendo casi exclusivamente una limitación de tipo económico para determinar cuál es el último nivel mineralizado que se explotara.

Los equipos y sistemas mineros que se utilizan en este método son muy variados, se pueden utilizar equipos convencionales de carga y acarreo discontinuos como camiones, excavadoras, tractores, entre otros; pero también se pueden utilizar sistemas continuos de carga y acarreo, como cintas transportadoras.

2.7.5 Contorno

Consiste en la excavación de mineral y estéril en sentido transversal al afloramiento, es decir, el avance va bordeando al yacimiento y profundizando de afuera hacia adentro, hasta alcanzar el límite económico, es decir, la máxima relación estéril- mena.

Se aplica en yacimientos de capas inclinadas, donde la topografía y la potencia del mismo son desfavorables, dado el gran desarrollo de estas explotaciones y la escasa profundidad de los huecos, es posible realizar una transferencia de los estériles para la posterior recuperación de los terrenos.

2.7.6 Cantera

Es una explotación del tipo Fosa Abierta (*Open Pit*) pero de menores dimensiones, su nombre es referido a explotaciones de yacimientos donde se extraen materiales para la construcción y rocas ornamentales.

El método de explotación suele ser el de banqueo con uno o varios niveles, sin embargo la extracción de mineral suele ser más cuidadosa en especial en la extracción de rocas ornamentales, como el mármol y el grafito, donde es

importante extraer bloques de rocas de grandes dimensiones para su posterior tratamiento, dicho esto las canteras se pueden dividir en dos grupos, ellos son;

- ✓ El primero: donde se desea obtener rocas fragmentadas con una granulometría apta para alimentar a las plantas de tratamiento y así obtener un producto destinado a la industria de la construcción en forma de áridos. En este tipo de explotación la extracción del mineral no es tan cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- ✓ El segundo: es donde se desea obtener grandes bloques paralelepípedos que posteriormente se cortan y elaboran, esta explotación como se describió antes debe ser muy cuidadosa. Estas explotaciones se caracterizan por poseer un gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques.

2.7.7 Minería de Placeres

Geológicamente un placer es un depósito formado por una concentración mecánica de minerales pesados con una concentración suficiente para otorgarle valor económico. Las ocurrencias comunes de minerales en placeres son el oro, diamante, estaño (casiterita), titanio (rutilo), tungsteno, cromita, entre otros. Según el agente se clasifican: aluvial, eólico, marino y glacial.

Las características distintivas de los depósitos de placer permiten la aplicación de dos métodos, los cuales se describen a continuación.

2.7.7.1 Hidráulico

Este método como se mencionó anteriormente se aplica a yacimientos de placeres donde se utiliza el agua como elemento disgregador del material, básicamente consiste en aplicar un flujo de agua de alta presión contra el banco de explotación para de esta manera lograr la remoción del material por disgregación de sus partículas, luego el material del manto mineralizado es escurrido hacia algún sistema de beneficio de mineral.

Dentro de las ventajas de este método están los bajos costos de producción lo que induce a que se realice una baja inversión de capital, por otro lado este método produce severos impactos ambientales, es necesario contar con una gran

cantidad de agua y está limitado solo a yacimientos de placeres, es decir, que los depósitos se deben encontrar en suelos para que la presión de agua aplicada surja efecto.

2.7.7.2 Dragado

El dragado es una excavación mecánica que se realiza bajo el agua de un depósito tipo placer, el nombre de este método deriva de la maquinaria que se utiliza para realizar la excavación es conocida dragalina o draga.

Para realizar este método es necesario que el área donde se encuentra el yacimiento este bajo el agua, es decir inundada para que pueda operar la dragalina, que no es más que un sistema de extracción del material blando que se encuentra en el fondo de la inundación, río o laguna, y está sobre un bote para poder flotar, además utiliza un balde y un sistema de cuerdas para arrancar, acarrear y sacar a superficie el material de interés.

2.7.8 Lixiviación

Consiste en la extracción química de los metales o minerales contenidos en un depósito utilizando para tal fin un proceso fundamentalmente químico, pero también puede ser bacteriológico, ya que, existen ciertas bacterias que aceleran las reacciones de lixiviación de metales sulfurosos. Cuando se aplica este método sin extraer el mineral, se habla entonces de lixiviación in situ, mientras que si el mineral se extrae, transporta y deposita en un lugar adecuado, el método se denomina lixiviación en pilas.

Básicamente el método se refiere a la extracción de sustancias solubles mediante el agua o de un reactivo solvente y se emplea básicamente en la extracción de oro y plata por cianuración, de uranio y cobre por ataque con ácido y de varias sales evaporíticas por disolución con agua.

2.7.9 Open Auger

Es un método de explotación para recuperación secundaria de mineral, particularmente es aplicado en yacimientos de carbón después de una minería convencional, se realiza mediante la perforación en las capas o mantos

mineralizados y la recuperación se logra a través de un sistema de barras helicoidales.

El carbón es extraído mediante un equipo con uno o varias perforaciones con barras helicoidales y luego elevado mediante bandas transportadoras o por cargadores frontales para cargar a camiones de acarreo.

La recuperación suele ser baja, comprendida entre 40% y 60%, dependiendo del diámetro de las perforaciones, los pilares entre huecos y la potencia del manto. El diámetro varía de 0,5 a 2,5 metros y el alcance puede llegar hasta 90 metros de profundidad dependiendo de la perforadora.

2.7.10 Mixtos

Se considera un método mixto a aquellas labores que se llevan a cabo combinando varios métodos.

2.8 SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN

La secuencia de explotación también es conocida como estrategia de consumo de reservas, y es básicamente la forma en que se extraen los materiales desde el rajo, durante el período comprendido entre el inicio de la explotación hasta el final de ella (fosa final). La extracción del material se realiza en sucesivos Cortes intermedios, los que reciben el nombre de Fases o Expansiones.

La secuencia de extracción de las distintas fases tiene una estrecha relación con la distribución de las variables geológicas, geo mecánicas, topográficas, ambientales, metalúrgicas y económicas del yacimiento.

2.9 MÉTODOS DE DEFINICIÓN PARA LOS LÍMITES ECONÓMICOS DE UNA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

Dentro de las actividades a desarrollar en el diseño de una explotación a cielo abierto, se encuentra la que determina la relación para definir los límites físicos de dicha explotación, ya que ante la presencia de un yacimiento podemos pensar en extraer todo el mineral presente o extraer solamente lo que más nos convenga. Esta última proposición es la que finalmente tendrá que prevalecer, ya

que es la razón por la cual se explota un recurso, y es esta conveniencia la que nos introduce el concepto de optimizar la explotación de nuestro yacimiento, ya que, la optimización se traduce en cuidadosos análisis económicos y operacionales que permanentemente van en busca del mejor aprovechamiento de los recursos.

Es así como surgen variados métodos para definir cuáles serán los límites económicos de una explotación a cielo abierto, cada uno aporta un concepto útil y en muchos casos se combinan para generar otro método. A continuación se presentan dos de estos métodos, parte de la información presentada fue recolecta de Gonzales (2012).

2.9.1 Cono Móvil Optimizante

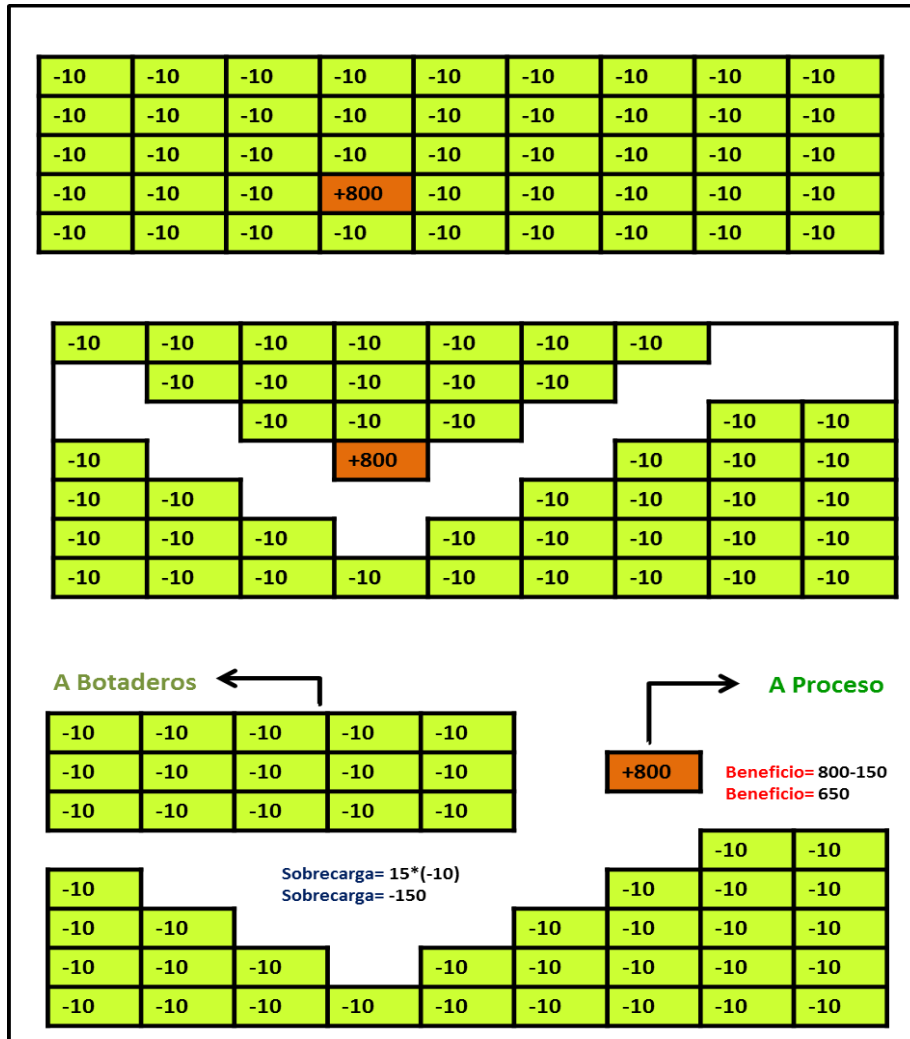
También conocida como la teoría de los conos flotantes, sirve para determinar los límites económicos de la explotación, esta data de los años sesenta (60).

2.9.1.1 Descripción Conceptual del Algoritmo del Cono Móvil Optimizante

La técnica consiste en una rutina que pregunta por la conveniencia de extraer un bloque y su respectiva sobrecarga. Para esto el algoritmo tradicional se posiciona sobre cada bloque de valor económico positivo del modelo de bloques y genera un cono invertido, donde la superficie lateral del cono representa el ángulo de talud. Si el beneficio neto del cono es mayor o igual que un beneficio deseado dicho cono se extrae, de lo contrario se deja en su lugar. Cabe destacar que el método se aplica sobre perfiles del modelo de bloques, sometiendo a cada bloque de dicho perfil al algoritmo que le asigna su respectivo valor económico.

Para comprender mejor el funcionamiento de este método se presenta en la Figura 2.12, un perfil de un modelo de bloques sometido al algoritmo del cono móvil optimizante, donde cada bloque está definido por un valor económico, es decir lo que significa económicamente su extracción. Es así que los bloques con valor negativo representan a los bloques de estéril con su costo de extracción asociado (-10) y los bloques de mineral son representados por el beneficio global que reporta su extracción, este valor se obtiene aplicando la Formula 1; (Beneficio Global = Ingresos - Costos) o (Beneficio = Mena - Sobrecarga), donde la

sobrecarga viene siendo los bloques de estéril que se deben remover para llegar al bloque Mena.



Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.12 Perfil de un Modelo de Bloques Sometido al Algoritmo del Cono Movil Optimizante

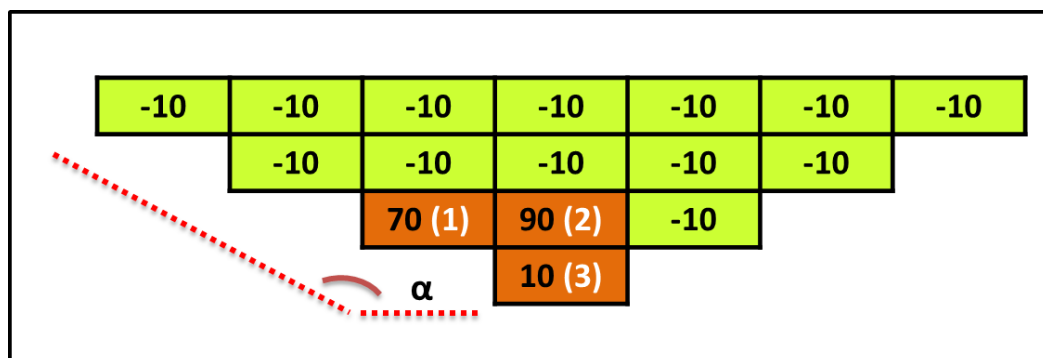
En el ejemplo anterior podemos observar que el extraer el bloque de valor positivo (+800) y sus 15 bloques de estéril asociado (-10), genera un beneficio final de +650, correspondiente al beneficio de extraer dicho bloque con su sobrecarga asociada.

2.9.1.2 Secuencia de Extracción de Conos

Esta radica en la secuencia con que son analizados los bloques del modelo. Para una mejor comprensión del método, a continuación se presenta el siguiente esquema el cual sirve de ejemplo, en él se puede apreciar el beneficio que reporta la extracción de cada bloque. Los bloques con beneficio positivo ya se les han descontado lo que cuesta extraer dicho bloque lo que se conoce como costo mina, el cual, para efectos de este ejemplo es (-10).

Lo primero que se hace antes de aplicar el método es identificar los bloques con potencial de ser extraídos, es decir, los que poseen número positivos, una vez identificados se procede a realizar los conos invertidos a cada uno de ellos tomando como bases de dichos conos los bloques que se someterán a estudio.

En la figura 2.13 se observa que existen tres (3) bloques con números positivos, los cuales se someterán a estudio, ellos han sido numerados de la siguiente forma; (1), (2) y (3)

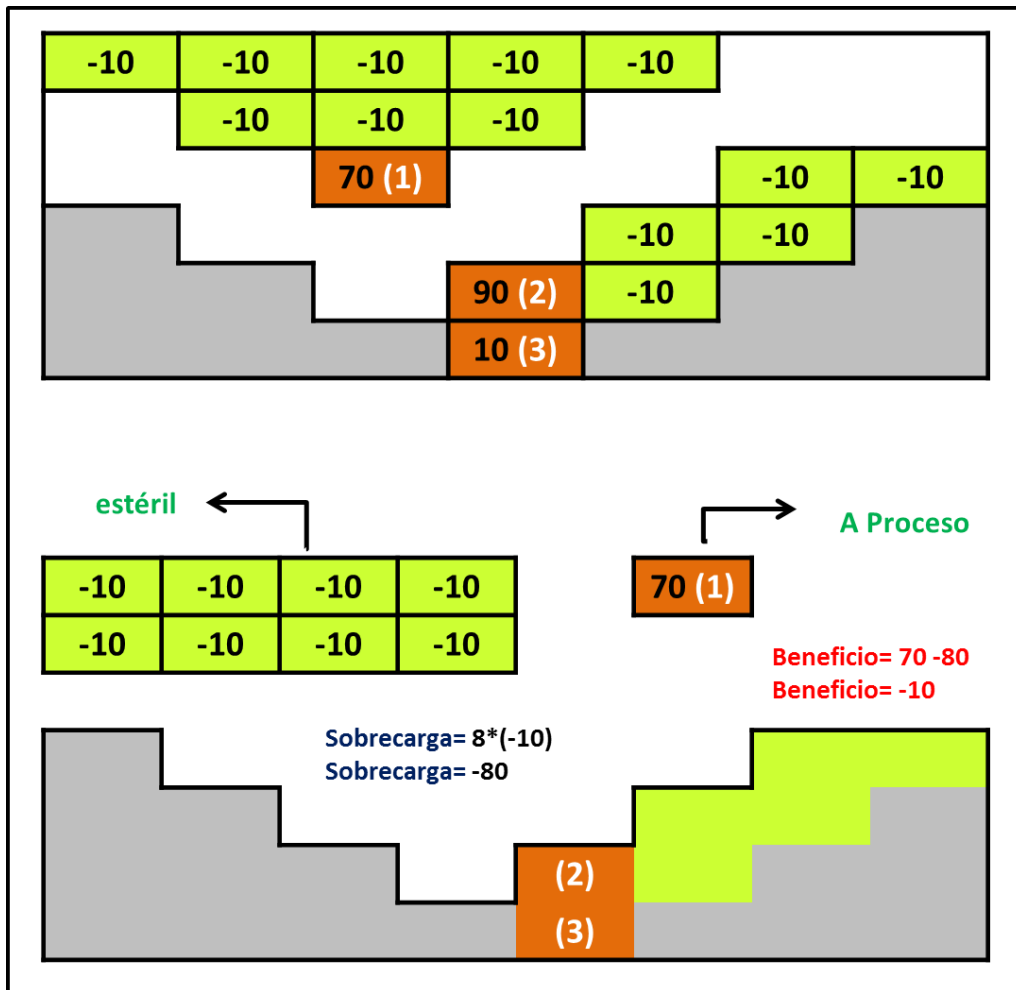


Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.13 Esquema Donde se Representa el Beneficio que Aporta la Extracción de Cada Bloque

Si el primer cono se construye en el bloque (1), entonces al aplicar la fórmula (1) dicho bloque no puede ser extraído, ya que el (Beneficio = -10), tal como se muestra en la Figura 2.14, Lo cual indica que no es factible su extracción, ya que el costo de mina por efectos de la extracción de la sobrecarga del material estéril que hay que retirar para llegar al bloque mena es superior al valor que

ingresara por vender el
 minera

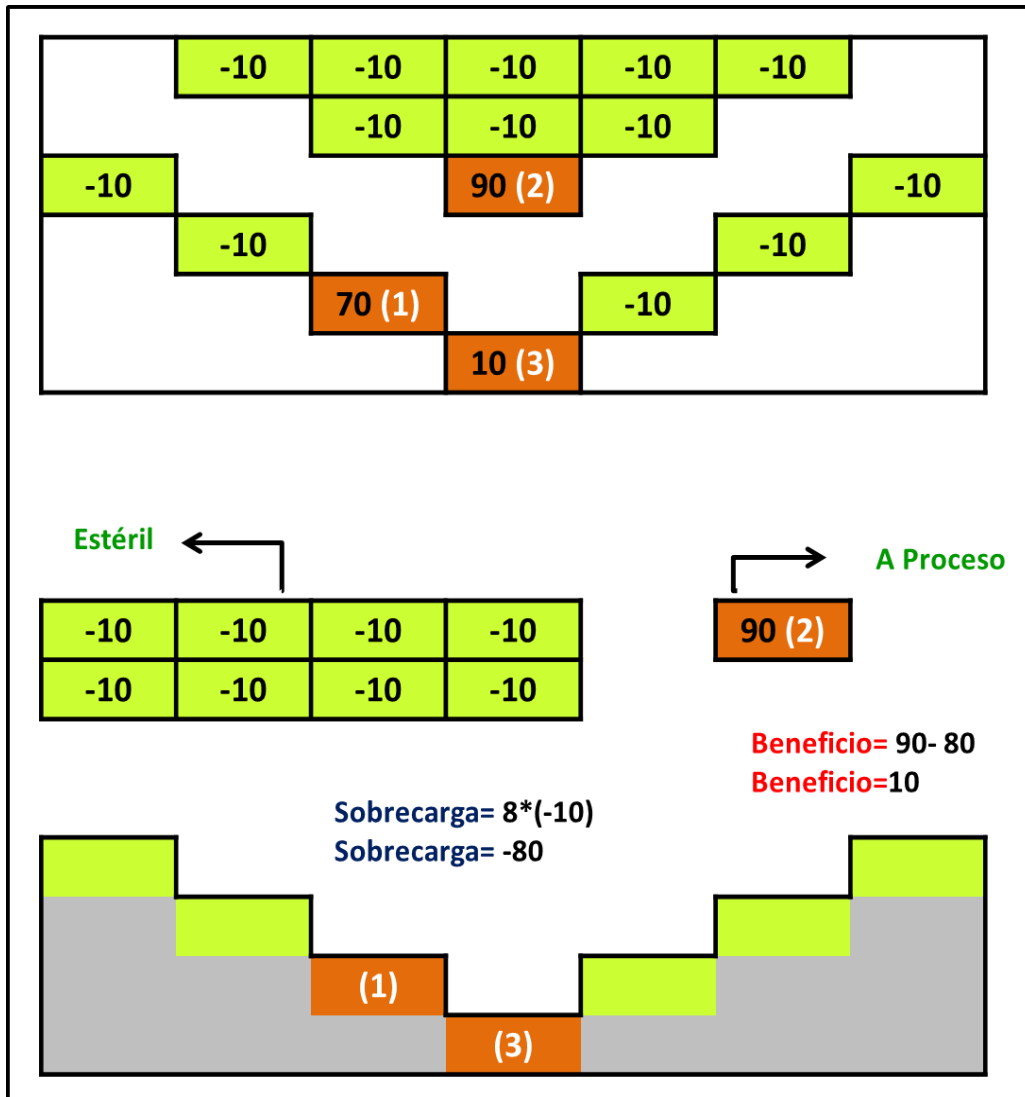


Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.14 Esquema que Representa la Construcción del Cono en el Bloque Uno (1)

El segundo cono se construye en el bloque (2), donde el beneficio neto del cono es de +10, puesto que el valor del bloque es de 90 y la sobrecarga asociada a él es de -80 siendo ventajosa su extracción, quedando como se muestra en la figura

2.15

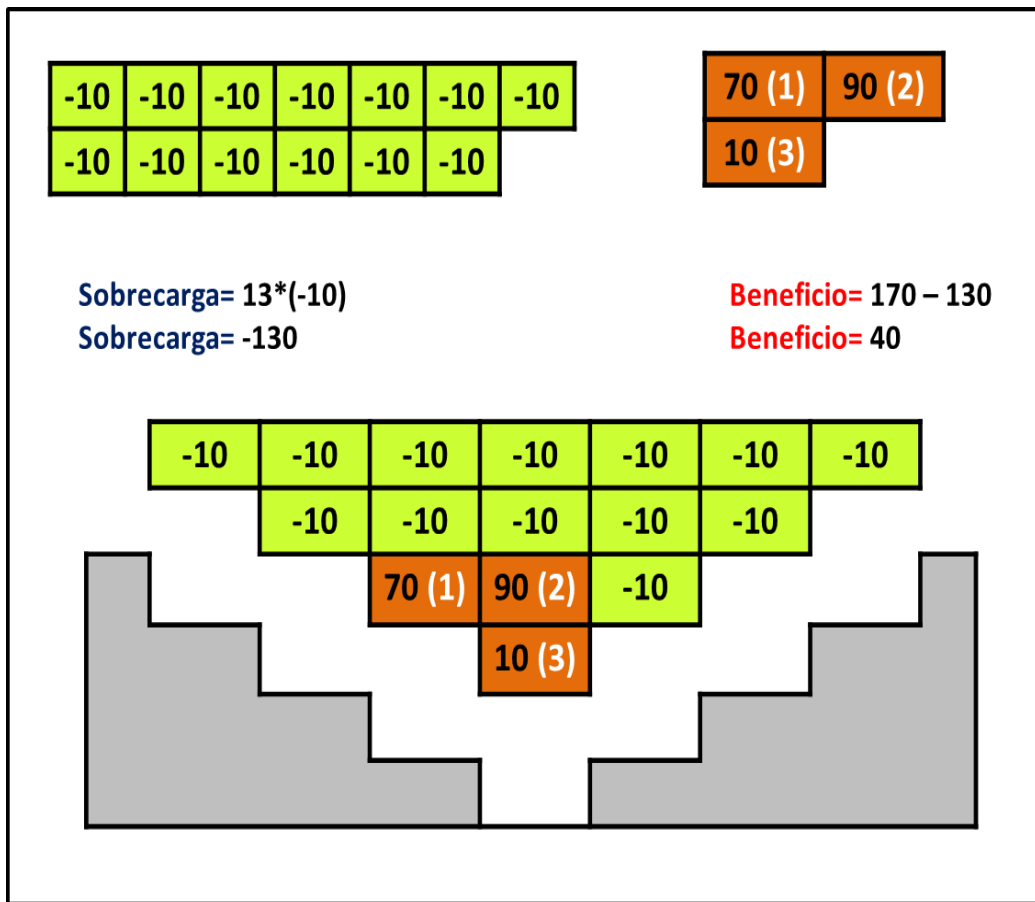


Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.15 Esquema que Representa la Construcción del Cono en el Bloque Dos (2)

Por último se analiza el bloque (3), al igual que con los bloques anteriores el análisis radica en ver la diferencia entre los valores de los bloques positivos y sus respectiva sobrecarga, dicho esto al extraer el bloque (3) se obtiene un beneficio de +40, en la figura 2.16 se muestra este análisis con claridad.

Cuando ya se han analizado la totalidad de los bloques con valor positivo, el planificador de mina puede tomar la decisión de donde se situara la fosa final de la excavación, en el caso de nuestro ejemplo es conveniente extraer hasta el bloque (3) ya que su beneficio seria mayor al de extraer hasta el bloque (2).

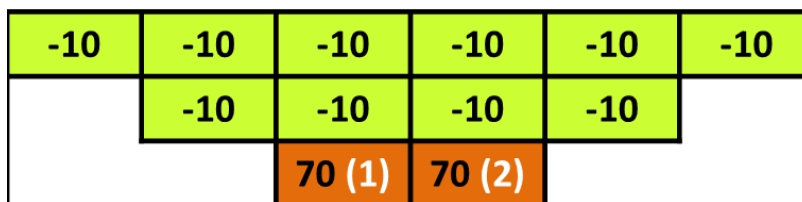


Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.16 Esquema que Representa la Construcción del Cono en el Bloque (3)

2.9.1.3 Conos Con Sobre Carga Asociada

Este es el principal aporte del método del cono móvil optimizante, consiste en analizar conos que tengan sobrecarga compartida, tal como se muestra en la figura 2.17, la cual sirve de ejemplo:



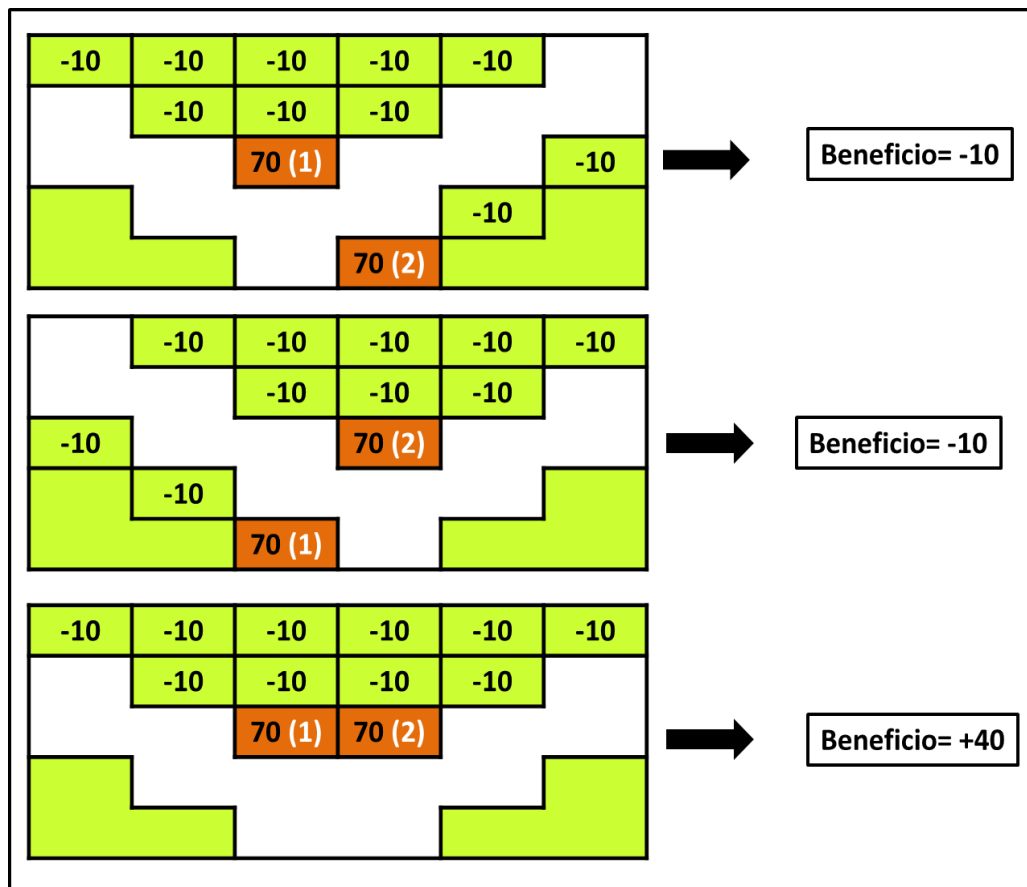
Fuente:

Gonzales (2012)

FIGURA 2.17 Esquema de Bloques con Sobre Carga Asociada

Los bloques (1) y (2) tienen un beneficio de +70 (incluido el costo mina).

Al analizar los conos individualmente, se aprecia que no es conveniente la extracción de dichos bloques, pues cada en caso el beneficio neto del cono es -10, pero si se analizan ambos conos en conjunto se puede obtener un beneficio neto de +40, lo cual es muy conveniente, (Alfaro C. Marcos A., 2009). Esto se aprecia gráficamente en la figura 2.18



Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.18 Esquema Donde se Aprecia la Conveniencia de Analizar los Bloques como un Conjunto

2.9.2 Método de Lerchs y Grossman

El método bidimensional de Lerchs-Grossman permite diseñar en una sección vertical la geometría de la fosa que arroja la máxima utilidad neta. El método resulta atractivo porque elimina el proceso de prueba y error de diseñar

manualmente el corte en cada una de las secciones. Además la metodología es muy conveniente para el procesamiento computacional.

El método de Lerchs-Grossman diseña el rajo en secciones verticales. Los resultados pueden continuar siendo transferidos a una plano de plantas del rajo y ser suavizados y revisados en forma manual. Aun cuando la fosa es óptima en cada una de las secciones, es probable que la fosa final resultante del proceso de suavizamiento no lo sea.

En la figura 2.19, se muestra un ejemplo que representa una sección vertical por medio de un modelo de bloques del depósito. Cada cubo representa el valor neto de un bloque, si éste fuera explotado y procesado de forma independiente.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-2	-2	-4	-2	-2	-1	-2	-3	-4	-4	-3
2	-5	-4	-6	-3	-2	-2	-3	-2	-4	-5	-5
3	-6	-5	-7	+6	+13	-2	-5	-4	-7	-4	-6
4	-6	-6	-8	-8	+17	+8	+5	-6	-8	-9	-7
5	-7	-7	-8	-8	+6	+21	+5	-8	-8	-9	-7
6	-7	-9	-9	-8	-5	+22	-8	-8	-8	-9	-8
7	-8	-9	-9	-9	-8	+10	-9	-9	-9	-9	-9

Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.19 Representación de una Sección Vertical por Medio de un Modelo de Bloques

- ✓ Primer paso: Se suman los valores de cada columna de bloques y se ingresan estos números en los bloques correspondientes, este es el valor superior de cada bloque y representa el valor acumulativo del material desde cada uno de los bloques hasta superficie. En la figura 2.20 se aprecia lo antes mencionado.

- ✓ Segundo paso: Se comienza con el bloque superior de la columna izquierda y luego se debe ir desplazando por cada columna. Se coloca una flecha en el bloque, apuntando hacia el valor más alto en:

- 1.- El bloque a la izquierda y arriba.
- 2.- El bloque a la izquierda.
- 3.- El bloque a la izquierda y debajo.

Se calcula el valor inferior del bloque, sumando el valor superior con el valor inferior del bloque hacia el cual apunta la flecha. El valor inferior del bloque representa el valor neto del material del bloque. Los bloques marcados con una X no se pueden explotar, a menos que se sumen más columnas al modelo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-2 -2	-2 -2	-4 -4	-2 -2	-2 -2	-1 -1	-2 -2	-3 2	-4 -1	-4 13	-3 10
2	-7 X	-6 -8	-10 -12	-5 -9	-4 -6	-3 -3	-5 5	-2 3	-8 17	-9 8	-8 X
3	-13 X	-11 X	17 -25	1 -11	9 0	-5 10	-10 8	-9 25	-15 16	-13 X	-6 X
4	-19 X	-17 X	-25 X	-7 -32	26 15	3 18	-5 34	-15 31	-23 X	-22 X	-7 X
5	-26 X	-24 X	-33 X	-15 X	32 0	24 39	0 46	-23 X	-31 X	-31 X	-7 X
6	-33 X	-33 X	-42 X	-23 X	27 X	46 46	-8 X	-31 X	-39 X	-40 X	-8 X
7	-41 X	-42 X	-51 X	-32 X	19 X	56 X	-17 X	-40 X	-48 X	-49 X	-9 X

Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.20 Seccion Vertical Despues del Procedimiento de Busqueda

- ✓ Tercer paso: Se busca el valor máximo total de la fila superior. Este es el retorno neto total de la fosa óptima. Para el ejemplo, la fosa óptima tendría un valor de 13. Vuelva a trazar las flechas, a fin de obtener la geometría

del rajo. La figura 2.21 nos muestra la geometría de la fosa en la sección, cabe señalar que aunque el bloque de la fila 6, en la columna 6, tiene el valor neto más alto del depósito, éste no se encuentra en el rajo, ya que explotarlo reduciría el valor total del rajo (beneficio).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-2	-2	-4	-2	-2	-1	-2	-3	-4	-4	-3
2	-5	-4	-6	-3	-2	-2	-3	-2	-4	-5	-5
3	-6	-5	-7	+6	+13	-2	-5	-4	-7	-4	-6
4	-6	-6	-8	-8	+17	+8	+5	-6	-8	-9	-7
5	-7	-7	-8	-8	+6	+21	+5	-8	-8	-9	-7
6	-7	-9	-9	-8	-5	+22	-8	-8	-8	-9	-8
7	-8	-9	-9	-9	-8	+10	-9	-9	-9	-9	-9

Fuente: Gonzales (2012)

FIGURA 2.21 Geometria de la Fosa Final mas Optima Aplicando el Metodo de Lerchs y Grossman

2.10 ELEMENTOS UTILIZADOS PARA ACTUALIZAR Y VISUALIZAR LA BASE DE DATOS DE UN YACIMIENTO

2.10.1 Sondeos Geoexploratorios

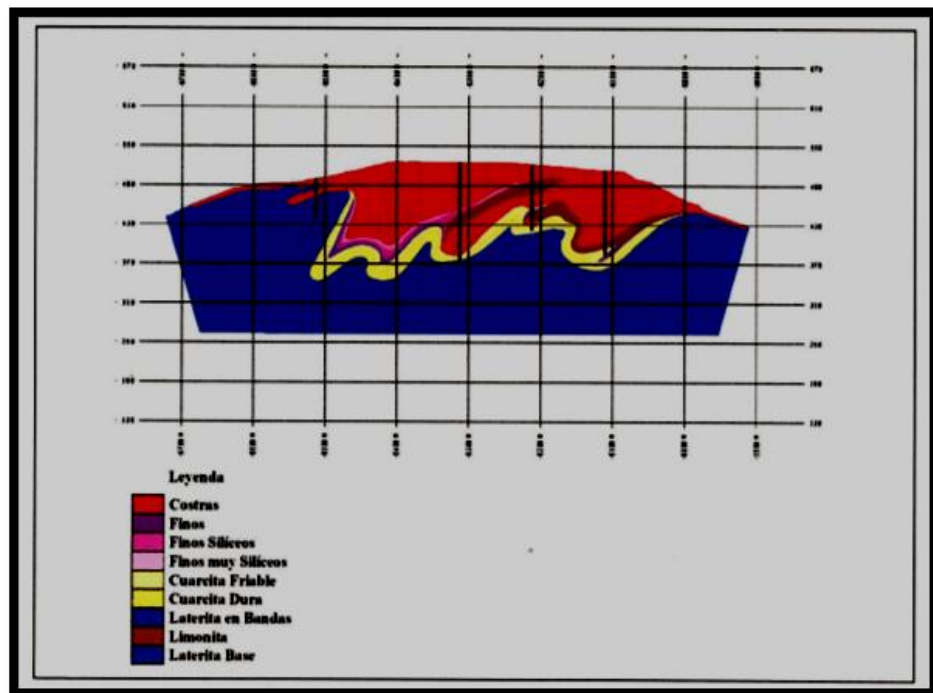
Estos proporcionan información sobre las características de la mena en el subsuelo, características como: espesor, profundidad, grado químico, textura y cálculo de reservas aproximadas. Se realiza mediante la utilización de taladros, dependiendo de la dureza de la roca se utilizan taladros diferentes, en el caso particular de FMO. Se utilizan taladros con punta de diamante puesto que las menas son muy duras, ya que son cuarcitas ferruginosas (William E., Peña H., 2005)

Las muestras obtenidas con estos sondeos son descritas petrológicamente por el geólogo y luego se analizan químicamente en el laboratorio para apreciar con mayor detalle las características de la muestra.

2.10.2 Secciones Verticales

Una sección vertical es un corte transversal donde se visualiza las variaciones verticales y laterales de las menas de un depósito, básicamente es una vista de perfil de la zona de estudio (William E., Peña H., 2005)

La información es obtenida e interpretada a partir de mapas geológicos de la superficie y de los sondeos geoesploratorios, las secciones verticales nos representan la cantidad aproximada del contenido litológico del yacimiento, los cuales a su vez son corregidos en la medida en que se realicen nuevos sondeos. Cabe destacar que cada sección posee una numeración y rango en el plano. En la figura 2.22 se aprecia la imagen de una sección vertical del Cerro Redondo.



Fuente: William (2005)

FIGURA 2.22 Sección Geológica Vertical del Cerro Redondo

2.10.3 Modelo de Bloques

El modelo de bloques es una retícula tridimensional de bloques que está definida y limitada por el cuerpo mineralizado de interés, todos los bloques poseen las mismas dimensiones en los tres ejes del espacio (X, Y, Z) y cada uno almacena información específica del lugar que representa dicho bloque.

El modelo de bloques almacena información variable en cada uno de los bloques, dependiendo de las variables que almacene el modelo puede ser clasificado como modelo geológico, o de minas.

El modelo geológico ofrece información clasificada y organizada sobre la litología del yacimiento representada en cada uno de los bloques que lo conforman, asignándole diferentes colores a los bloques dependiendo del valor de las variables que posee.

El modelo de minas, ofrece información clasificada y organizada sobre variables mineras como; tenor, cantidad específica del tipo de material, entre otras. Y al igual que en el modelo geológico los bloques poseen colores diferentes dependiendo del valor de las variables que posee, es decir, un bloque de alto tenor tiene un color diferente a uno de bajo tenor.

En el caso particular de FMO, los modelos están formados por bloques de dimensión 15x10x10 metros, donde el quince (15) representa la longitud de la altura del bloque.

2.11 ASPECTOS TÉCNICOS GEOMÉTRICOS DE UNA EXCAVACIÓN MINERA

- Ancho de rampa: En el diseño de rampas se considera que los camiones circulan en ambos sentidos, por lo tanto debemos tener una rampa lo suficientemente ancha para asegurar que los camiones no se interfieran cuando se cruzan en la trayectoria (Alfaro, 2009).
- Ancho de berma: es un requisito de seguridad para cualquier excavación minera, ya que, disminuye los riesgos de accidentes a la hora de un derrumbe o deslizamiento de masa de un talud (Alfaro, 2009).
- Altura de banco: generalmente la altura de los bancos se elige en función de la maquinaria de operación con que se dispone o se desea utilizar.
- Pendiente de la rampa: el grado de inclinación de las rampas debe asegurar que los equipos mineros, en especial los de carga no tengan ningún

problema cuando circulen cargados o descargados, de manera de evitar el desgaste y disminuir el esfuerzo de sus componentes, como frenos, motor, cauchos, entre otros. (Alfaro, 2009).

- Angulo de talud: este es el ángulo inter-rampa, es decir el ángulo que hay de un nivel a otro, es una característica muy importante sobre todo para evitar que se derrumbe el talud. Este ángulo lo determina en gran parte la calidad de la roca. (Alfaro, 2009).

2.12 MINESIGHT®

Es el *software* minero que se utilizó para desarrollar los aspectos técnicos de esta investigación, a continuación se describe dicho *software*, cabe destacar la información referente a él fue obtenida de su página *web* oficial, ubicada en la siguiente dirección: www.MineSight.com

2.12.1 Descripción

Es la plataforma completa del software de *Mintec*® para el modelado y la planificación de mina, que proporciona soluciones integradas para exploración, modelado geológico, diseño, planificación y operación. Ya sea subterránea o en superficie, desde metales preciosos a metales básicos, carbón, arenas bituminosas o minerales industriales, el software *MineSight*® da respuesta a todas las aplicaciones mineras de modelado geológico, mejorando la productividad en cada una de las etapas del ciclo de una mina y es desarrollado por profesionales de la minería para profesionales mineros, en función de sus plazos: corto, largo o la vida útil de su mina.

Básicamente este *software* fue elaborado para trabajar sobre cinco (5) aspectos de vital importancia en la minería ellos son: explorar, diseñar, modelar, planificar y operar.

2.12.2 Utilidad de *MineSight*®

Este *software* se puede utilizar desde la fase de exploración, pasando por interpretación geológica, factibilidad, planificación de mina y gestión de las

operaciones diarias. Opera en una plataforma *Windows* para computadoras estándar con numerosas aplicaciones clave con bases de datos abiertas.

2.12.2.1 Explorar

En la minería para adoptar la decisión correcta hay que ver qué hay realmente debajo de la superficie. La colaboración entre geólogos e ingenieros es crucial al momento de decidir si comenzar la extracción o no. Es por eso que algunas de las minas de mayor complejidad y más exigentes de la industria confían en el programa *MineSight®* Poderoso e integrado, su versatilidad y sus funciones centrales es el motor detrás de las tareas de análisis de datos, interpolación y codificación de sondajes.

2.12.2.2 Modelar

Las capacidades mejoradas para visualización de los datos permiten obtener un panorama general que es necesario para crear modelos exactos y para pasar rápidamente a la excavación. El *software Minesight®* brinda una gran diversidad de herramientas para modelado geológico e interpolación. Ofrece funciones completas para crear y administrar modelos de bloques en 3D, estratigráficos y de superficies.

2.12.2.3 Diseñar

El *software* posee gran parte de las funciones *CAD* básicas con innovadoras opciones mejoradas que administran sus tareas más complejas y lo ayudan a gestionar las operaciones de manera más productiva. Las herramientas *MineSight® CAD* de los productos *Core* y *Engineering OP CAD* reducen los riesgos en la toma de decisiones para que usted pueda extraer con seguridad todas sus reservas explotables.

Las funciones simples para el diseño de cortes y la variedad de posibilidades para creación de tajos, tantos geométricos como rentables, permiten manipular superficies en forma completa. Las herramientas para el diseño de patrones de voladuras, mapas a fin de período, contornos de tajo último y tajo económico, programación de vida de mina y por etapas, creación de vías/rampas y

diseño completo de botaderos, escombreras y diques otorgan a los ingenieros un conjunto acabado de opciones para operaciones de superficie.

2.12.2.4 Planificar

MineSight® marca la pauta en la planificación de mina a corto, mediano y largo plazo, ya que, las funciones de diseño de cortes y cálculo de reservas se combinan con poderosas herramientas de cronogramas, optimización, planificación de equipos y transporte para brindarle una solución integral en la planificación a corto plazo. Genera planificaciones factibles para el corto y mediano plazo de su proyecto, estableciendo la secuencia de arranque de cortes más productivos, que resultan en la mayor rentabilidad del proyecto.

Mediante este *software* minero se puede obtener el nivel de detalle que exigen los estudios de factibilidad plena para minas nuevas y en operación. Las herramientas de optimización de cronogramas y etapas a largo plazo guían sus esfuerzos permitiéndole realizar ajustes o modificaciones, de modo que los resultados responden exactamente a sus especificaciones. De esta forma se asegurará que el plan de ciclo de mina a largo plazo pueda aplicarse como guía efectiva para el trabajo de los planificadores de corto y mediano plazo.

2.12.2.5 Operar

El *software MineSight*® está en el núcleo de las tareas de gestión de producción de la mina, facilitando el diseño de perforaciones y voladuras, el control de leyes diario y la conciliación de datos. Con el apoyo de la versatilidad y la potencia de una base de datos de planificación centralizada, estas herramientas de producción pueden hacer que la operación ahorre gran cantidad de tiempo y dinero.

Las funciones para perforaciones y voladuras reúnen las herramientas permiten una rápida asignación de atributos y generación de informes relacionados con datos de barrenos. Planifica de manera más eficaz y ahorra dinero visualizando y editando inmediatamente las áreas de influencia de las voladuras. Las soluciones para el control de leyes simplifican el proceso de adquisición de información para la planificación de cortes y la generación de

informes diarios, permitiendo a los ingenieros a cargo del control de leyes destinar más tiempo a tomar decisiones importantes.

Las herramientas de gestión de producción facilitan el seguimiento del material, el manejo de acopios y otros procesos de mina. Controle los destinos de material, camión por camión, para lograr una recuperación detallada de acopios y evitar errores críticos en los destinos, que podrían socavar la rentabilidad.

2.12.3 Herramienta Pit Expansion Tools de MineSight®

La herramienta *Pit Expansion tools* de *MineSight®* permite utilizar herramientas CAD para construir diseños de expansiones en tres dimensiones (3D) sobre la superficie, esto debido a que las simples superficies obtenidas con el método de *Lerchs y Grossman* son muy básicas y necesitan más diseños de expansiones operacionales como diseños de rampas, bermas de seguridad, geometrías de banco recomendadas, entre otras, para los cortes iniciales y para cada expansión sucesiva hasta los límites del *Pit* final. (Planificación a Largo plazo para Minas a Cielo Abierto, 1970)

Esta herramienta permite dos (2) modos de diseño:

- ✓ Diseño de una fosa en forma descendente desde la parte superior.
- ✓ Diseño de una fosa en forma ascendente desde el fondo.

Cada uno de estos diseños admiten la inclusión de rampas de arrastre, canaletas para cintas de transporte, taludes variables para los frentes, anchos de berma variables y además todos estos diseños se pueden recortar fácilmente en la topografía circundante.

2.12.4 Clasificación de recursos vigente de FMO, utilizado por MineSight® para clasificar tipos de material (Archivo CPLZ1.611)

Código	Litología		%Fe		%SiO ₂		%Al ₂ O ₃		%P		%Mn		ID
1	1	4	55.00	70.00	0.00	7.00	0.00	2.00	0.000	0.200	0.000	0.200	AT
	10	10	55.00	70.00	0.00	7.00	0.00	2.00	0.000	0.200	0.000	0.200	
2	1	4	55.00	70.00	7.00	15.00	0.00	2.00	0.000	0.200	0.000	0.200	AT2
	10	10	55.00	70.00	7.00	15.00	0.00	2.00	0.000	0.200	0.000	0.200	
3	1	4	55.00	70.00	0.00	7.00	0.00	2.00	0.000	0.500	0.000	0.500	AT3
	10	10	55.00	70.00	0.00	7.00	0.00	2.00	0.000	0.500	0.000	0.500	
4	1	4	0.00	70.00	0.00	15.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	NCO
	10	10	0.00	70.00	0.00	15.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
	8	8	55.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
	13	13	55.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
	15	15	0.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
5	2	4	0.00	700.00	15.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	BTF
	5	5	0.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
6	1	1	0.00	70.00	15.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	BTD
	10	10	0.00	70.00	15.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
	6	6	0.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	
7	7	9	0.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	LAT
	9	9	0.00	70.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.000	100.000	0.000	100.000	

FIGURA 2.23 Clasificación de recursos vigente utilizada por FMO

AT: alto tenor AT2: AT de alta sílice AT3: AT de alto fósforo,
NCO: no conforme BTF: bajo tenor friable BTD: bajo tenor duro
LAT: laterita

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo se detalla todos los aspectos metodológicos involucrados en el estudio. En este se describen: tipo y diseño de la investigación, población y muestra, así como el origen de datos para esta investigación. Por otro lado se dan a conocer todos los procedimientos técnicos empleados para conseguir los objetivos planteados.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es una investigación de campo del tipo correlacional. Es correlacional ya que se deben relacionar y manipular varias variables, como topografía, parámetros técnicos, movimiento de masa y tipo de material para realizar una correcta secuencia de explotación.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es no experimental con diseño longitudinal, es no experimental, porque, no se manipulan intencionalmente las variables, el estudio se basa fundamentalmente en la observación del comportamiento de las variables para analizarlas con posterioridad, y longitudinal porque se recolectan datos a través del tiempo en períodos especificados, que en este caso son anuales

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población será el grupo de yacimientos de mineral de hierro que se encuentran en zonas aledañas a Ciudad Piar y con los que cuenta CVG Ferrominera Orinoco C.A., estén o no en explotación.

La muestra serán los yacimientos a los cuales se les diseñará la secuencia explotación a largo plazo del Grupo Redondo constituida por: Cerro Redondo, Cerro La Estrella y Cerro Ricardo.

3.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos con los que se trabajará para la realización de las secuencias de explotación para los yacimientos del Grupo Redondo, fueron tomados de la base de datos creada en *MineSight*®, particularmente de los modelos de bloques geológicos y de mina con los que cuenta cada yacimiento. Estos a su vez fueron creados mediante la información suministrada de los sondeos geoexploratorios y con la creación de secciones verticales. Cada yacimiento posee un número diferentes de sondeos y de secciones verticales, a continuación se describen estos para los cerros Redondo, Ricardo y La Estrella, respectivamente.

3.4.1 Cerro Redondo

- ✓ Sondeos geoexploratorios: El Cerro Redondo dispone de la información de 73 sondeos realizados por la empresa Orinoco *Mining Company* en la década de los años 50 y de 123 sondeos realizados por le empresa C.V.G Ferrominera Orinoco en los años 2003 y 2004. El total de metros perforados para el Cerro Redondo fue de 18.583,82 metros.
- ✓ Secciones verticales: Para el Cerro Redondo se dispuso de 47 secciones verticales de las cuales 28 se construyeron con las nuevas perforaciones y las 19 anteriores se ajustaron a la geología de superficie recientemente realizada, con secciones intermedias de 25 metros.
- ✓ Modelo geológico del yacimiento: El modelo geológico del Cerro Redondo elaborado por el *software MineSight* ® está dividido en bloques de 10x10x15m, que corresponden a un cubo de 1.500 metros cúbicos. La elevación mínima del proyecto es de 190 metros y la máxima de 655 metros. En términos generales el yacimiento fue dividido en 180 bloques en la dirección Este, 145 bloques en la dirección Norte, que están distribuidos en 31 bancos.

3.4.2 Cerro Ricardo

- ✓ Sondeos geoexploratorios: Para el Cerro Ricardo se cuenta con la información que suministraron 36 perforaciones para un total de 1.802,40 metros perforados.
- ✓ Secciones verticales: Se realizaron 8 secciones verticales en el yacimiento con separaciones cada 100 metros y 1 sección con 50 metros de separación.
- ✓ Modelo geológico y de mina: El modelo geológico del Cerro Ricardo fue elaborado por el *software MineSight®* está dividido en bloques de 10x10x15m, que corresponden a un cubo de 1.500 metros cúbicos.

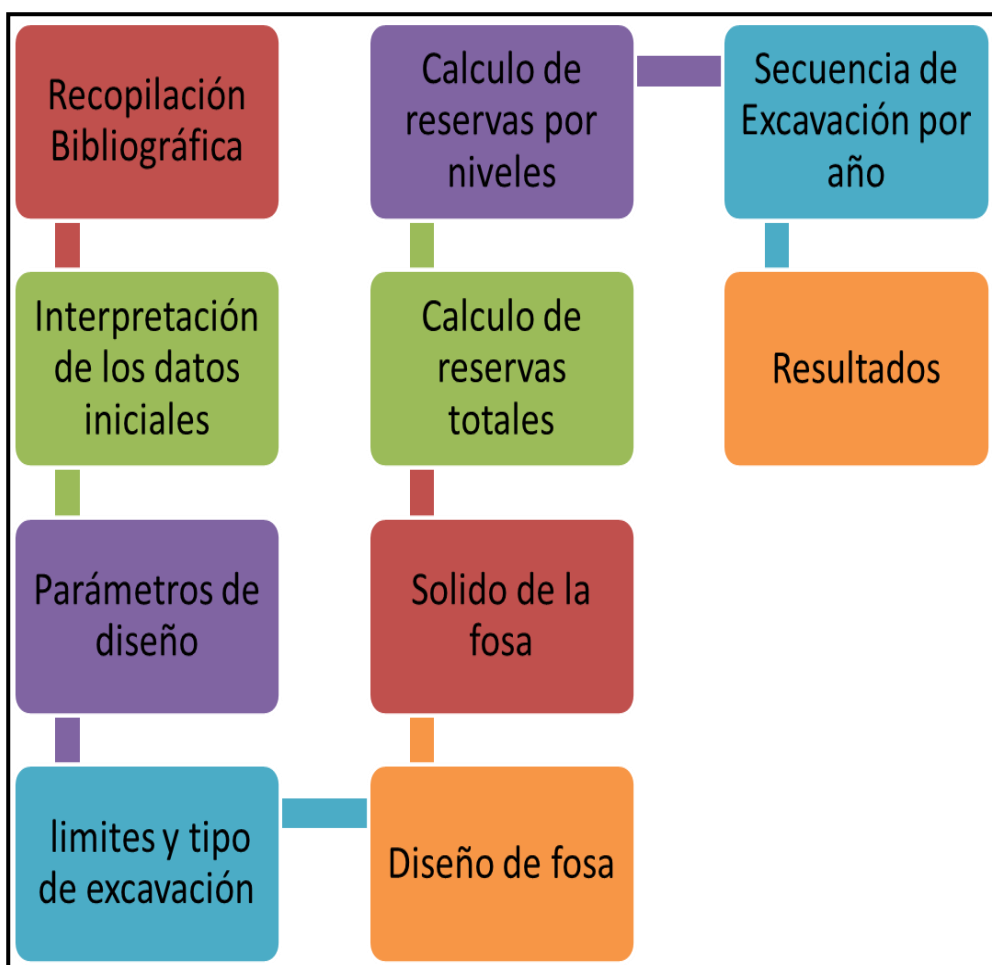
3.4.3 Cerro La Estrella

- ✓ Sondeos geoexploratorios: Para el Yacimiento la Estrella se realizaron 32 perforaciones para un total de 2.363 metros.
- ✓ Secciones Verticales: Se tienen 19 secciones con separaciones cada 100 metros.
- ✓ Modelo geológico y de mina: El modelo geológico del Cerro Ricardo fue elaborado por el *software MineSight®* está dividido en bloques de 10x10x15m, que corresponden a un cubo de 1.500 metros cúbicos

3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento que se empleó para cumplir los objetivos de esta investigación fue dividido en 3 etapas, cada etapa posee un número particular de pasos, que fueron aplicados a los tres (3) yacimientos, comenzando por el Cerro Redondo, a continuación el Cerro Ricardo y finalizando con el Cerro La Estrella.

En la figura 3.1 se puede observar el procedimiento metodológico que se empleó.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.1 Procedimiento Metodologico para Realizar las Secuencias de Explotacion

3.5.1 Recolección Bibliográfica

Fue la primera tarea que se realizó y que se mantuvo durante gran parte de la investigación, consistió en buscar, organizar, comprender y plasmar toda aquella información pertinente al diseño de las secuencias de explotación de los yacimientos que conforman el Grupo Redondo; Incluyendo aquella información que sirvió de conocimiento para realizarla, como la capacitación del manejo del *software MineSight®*.

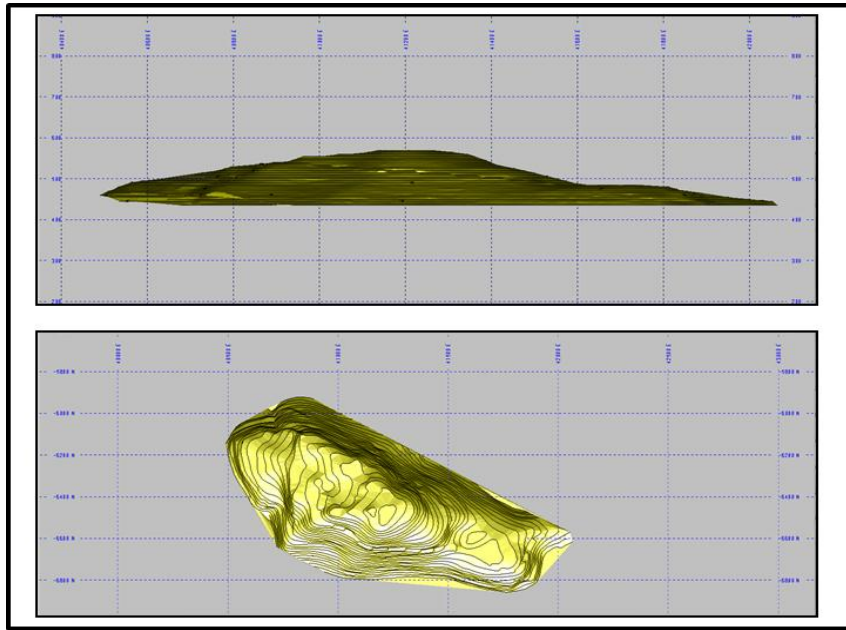
Esta información se obtuvo a través de: Trabajos Especiales de Grado, Informes técnicos de la empresa, Procedimientos internos de la empresa, libros, documentos en línea, páginas *web* y asesoría del tutor industrial.

3.5.2 Interpretación De Los Datos Iniciales

Los datos iniciales con los que se contó fueron la topografía inicial de cada yacimiento y el modelo de minas.

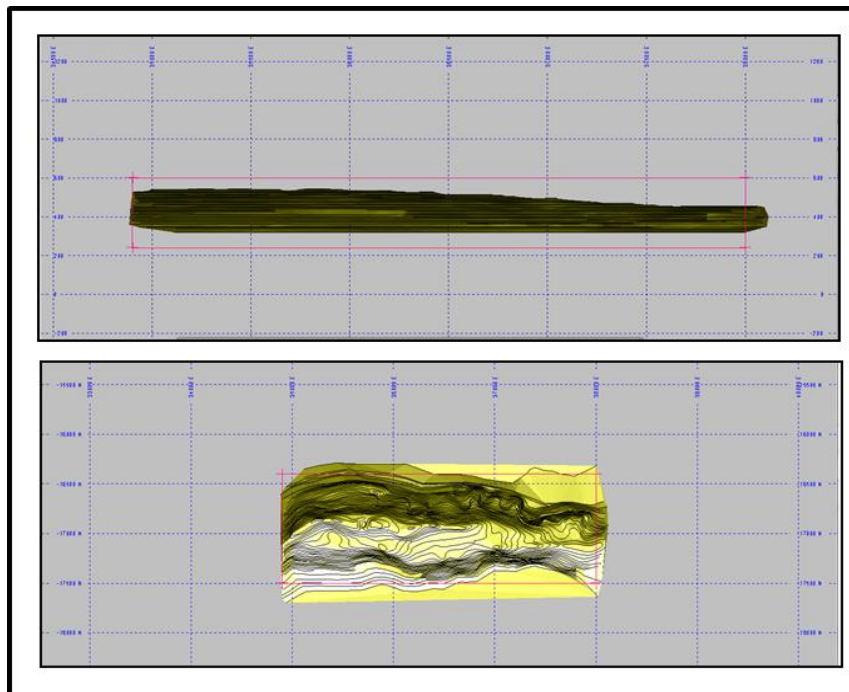
3.5.2.1 Topografía

La topografía de cada yacimiento está definida por curvas de nivel cuya separación es de 10 metros entre ellas. Esta nos indica la forma del yacimiento lo cual es un factor importante a la hora de seleccionar el tipo de explotación, las vías de acceso, incluso la forma y límites de la fosa. En las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se puede observar la topografía del Cerro Redondo, Cerro Ricardo y Cerro la Estrella respectivamente.



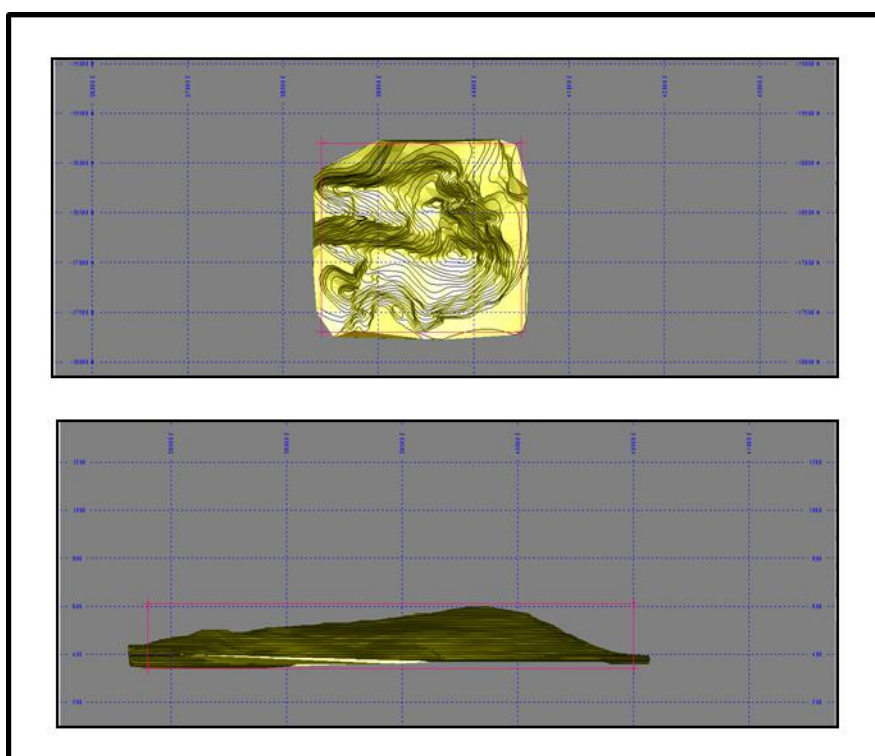
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.2 Vistas de la Topografía del Cerro Redondo



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.3 Vistas de la topografía del Cerro Ricardo



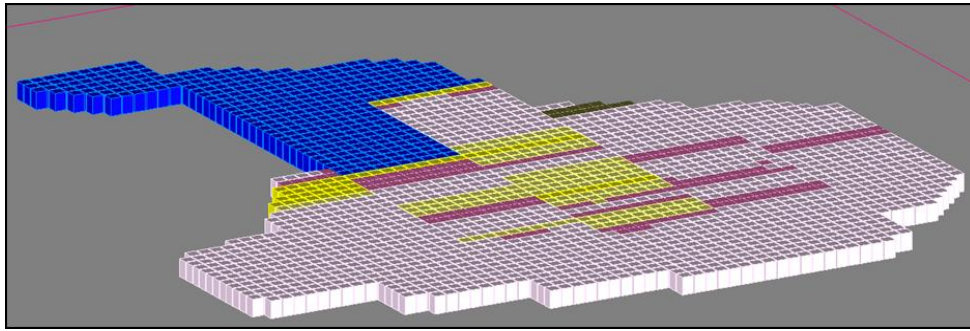
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.4 Vistas de la Topografía del Cerro La Estrella

3.5.2.2 Modelo de Minas

La observación y correcta interpretación del modelo de mina de cada yacimiento es de suma importancia, ya que en él se refleja toda la información correspondiente a tenores y cantidad de material disponible, él fue la guía para diseñar la fosa, ya que esta deberá envolver los bloques con mayor tenor de hierro.

Por otro lado el modelo de mina es particular de cada yacimiento, este deriva del modelo geológico, está formado por la unión de varios bloques limitados por la topografía, cada uno de estos bloques poseen información litológica, que a su vez es clasificada y transformada en porcentajes para una mejor interpretación del planificador, los parámetros que posee cada bloque son: sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), fósforo (P), pérdida por calcinación (PPC), manganeso (Mn) y hierro (Fe), dependiendo de estos porcentajes los bloques poseen un color u otro. Ver figura 3.5



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.5 Vista de un Modelo de Mina en 3D

3.5.3 Parámetros de Diseño

- ✓ Altura de banco: 15 metros.
- ✓ Ancho mínimo de las bermas: 10 metros
- ✓ Angulo de talud: 70 grados.
- ✓ Pendiente máxima de las rampas: 10%
- ✓ Pendiente de pisos de trabajo: 2%

3.5.4 Límites y Tipo de Excavación

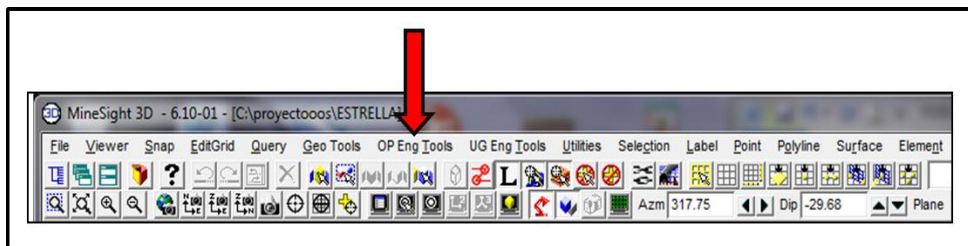
Para establecer los límites de la excavación, se verificó hasta que nivel hay presencia de mineral, decidiendo el ancho tentativo de la fosa y hasta que nivel se tenía el ancho operativo para la excavación, obteniendo de este modo la profundidad máxima de avance. Son estos tres (3) puntos los que delimitaran el tamaño de la fosa; profundidad máxima de avance, presencia de mineral y ancho tentativo de la fosa.

En este punto también se consideró que tipo de excavación se debía efectuar para cada yacimiento bien sea *open cut*, *open pit* o una mezcla de ellos. Dependiendo de la topografía del yacimiento y de la disposición de los bloques mena dentro de dicha topografía.

3.5.5 Diseño De Fosa

Posterior a la interpretación del modelo de mina, definición de los parámetros de diseño, establecer los límites tentativos y decidir el tipo de excavación, se crea una fosa con sus respectivas rampas de acceso a través de la herramienta *Pit Expansion Tools* de *MineSight®* garantizando el mayor aprovechamiento de las reservas, cumpliendo con los parámetros de diseño y adaptándose al modelo de minas para garantizar una buena relación de excavación.

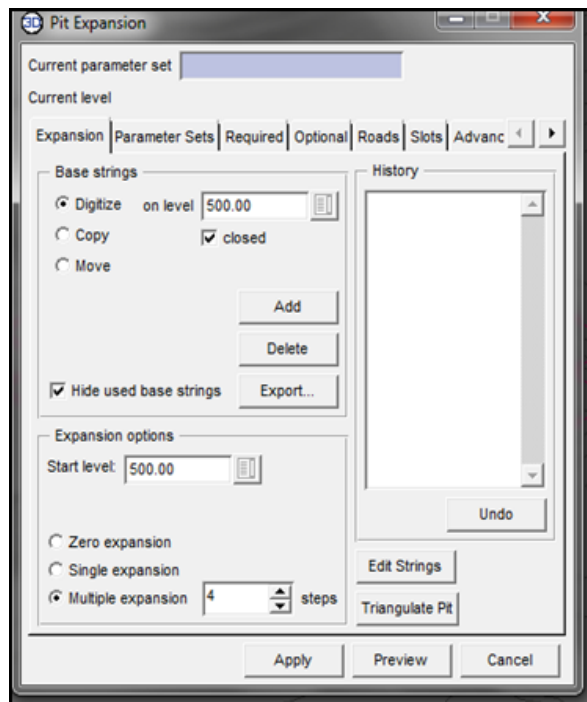
Para utilizar esta herramienta de diseño se debe clicar la opción “*OP End Tools*” en la barra de herramientas principal, tal como se muestra en la figura 3.6 y posteriormente se selecciona la opción de “*Pit Expansion Tools*”.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.6 Barra de Herramientas Principal

Una vez seleccionada la opción de “*Pit Expansion Tools*” se abre la ventana “*Pit Expansion*”, en ella se configuraron todos los parámetros referentes al diseño de la fosa, se indicó cuantos niveles tendrá, en qué nivel se ubicara la base y se digitaliza la misma. Ver figura 3.7



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.7 Ventana Pit Expansion

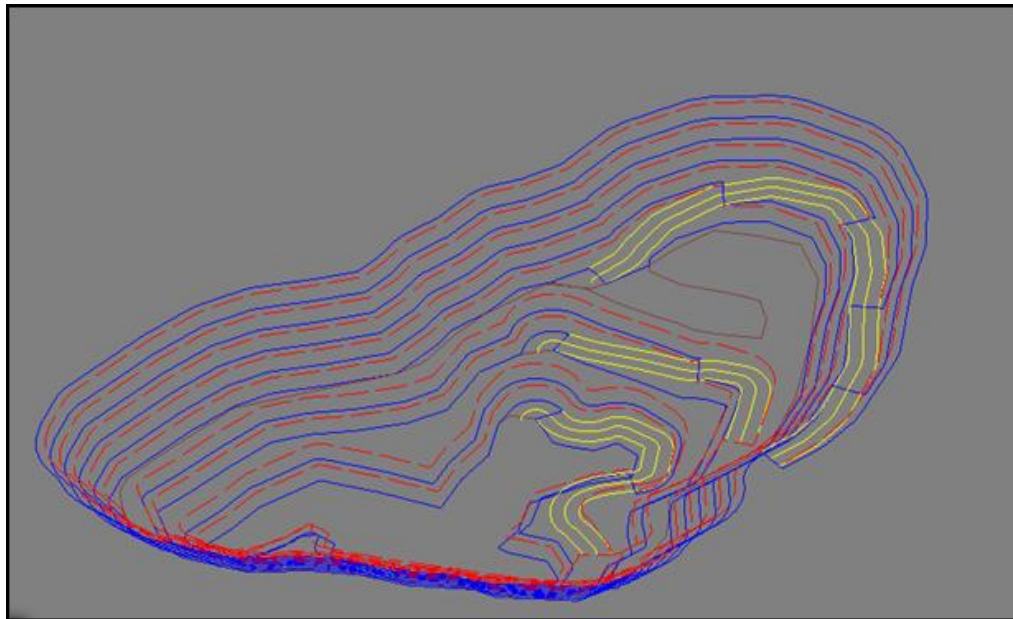
En las herramientas de “*Pit Expansion*” se encuentra la pestaña “*Required*”, en ella se configuran los parámetros de diseño, tales como; Angulo de la fosa, Angulo del talud, altura del talud y berma de seguridad, tal como se muestra en la figura 3.8

Una vez que todos los parámetros de diseño son configurados y la base y los niveles de la fosa ha sido digitalizados a conveniencia se clikea el botón “*Apply*”, esto generara la fosa definidas por líneas azules correspondientes a las cretas de los bancos y líneas rosadas correspondientes a los pies de los bancos. En las figuras 3.9, 3.10 y 3.11 se muestran los diseños de las fosas de los Cerros Redondo, Ricardo y la Estrella respectivamente utilizando esta aplicación.



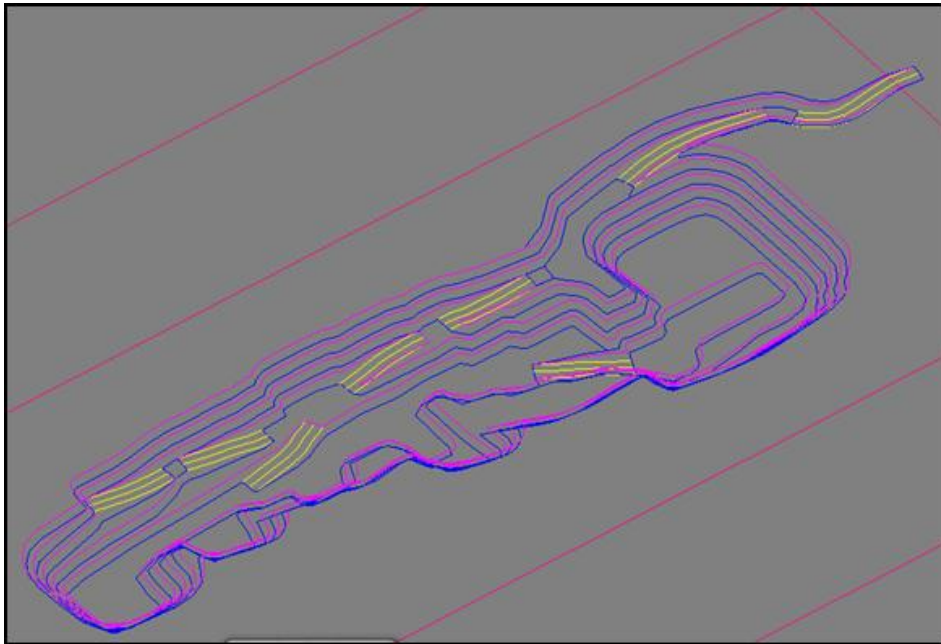
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.8 Pestaña "Required" de la Ventana "Pit Expansion"



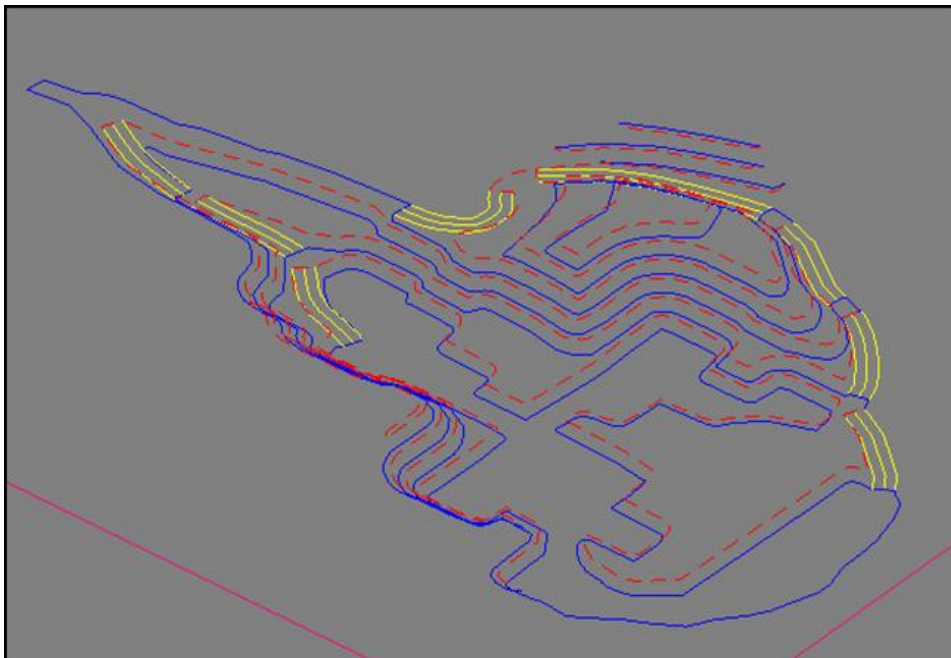
Fuente: MineSight 6.10

FIGURA 3.9 Generación de la Fosa del Cerro Redondo Utilizando "Pit Expansion Tools"



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.10 Generación de la Fosa del Cerro Ricardo, Utilizando "*Pit Expansion Tools*"



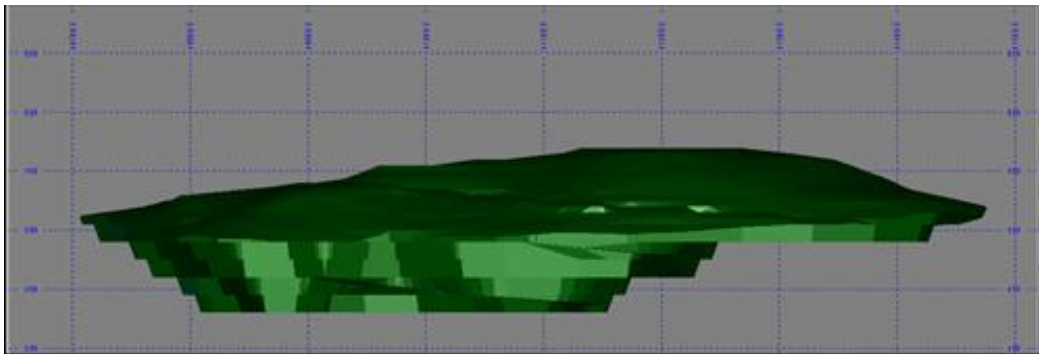
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.11 Generación de la Fosa del Cerro La Estrella, Utilizando "*Pit Expansion Tools*"

3.5.6 Sólido de la Fosa

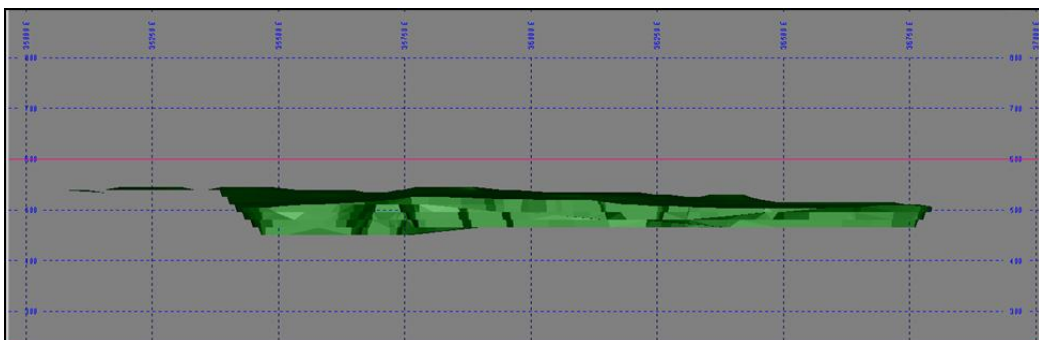
Luego de haber diseñado la fosa, se creó un sólido de la misma, intersectando la superficie de la topografía inicial con la superficie de la fosa, dando como resultado un sólido que es la diferencia entre ambas superficies y que corresponde al volumen de las reservas a excavar.

En las figuras 3.12, 3.13 y 3.14 se evidencia la creación de los sólidos de cada yacimiento (Redondo, Ricardo, La estrella) utilizando la herramienta “*Intersect Surfaces Tools*”



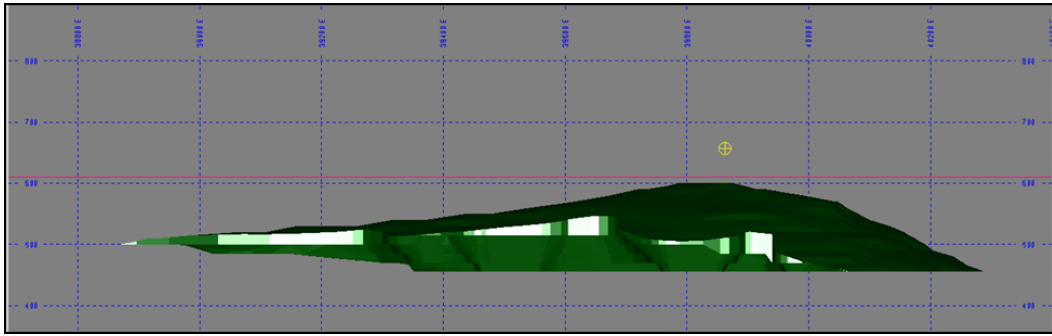
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.12 Sólido de la Fosa que Representa las Reservas a Excavar del Cerro Redondo, Creado con la Herramienta “*Intersect Surface Tools*”



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.13 Sólido De La Fosa Que Representa Las Reservas A Excavar Del Cerro Ricardo, Creado Con La Herramienta “*Intersect Surfaces Tools*”



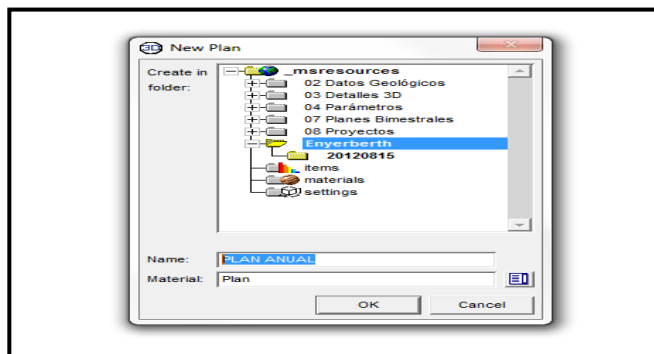
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.14 Sólido De La Fosa Que Representa Las Reservas A Excavar Del Cerro La Estrella, Creado Con La Herramienta “Intersect Surfaces Tools”

3.5.7 Cálculo de Reservas Totales

Las reservas totales se calculan a partir del sólido de la fosa, para ello se emplea la herramienta “*Interactive Planner Object*”, con la que se generan reportes de reservas que muestran los resultados de volumen, tonelaje y grados químicos, así como: tipología del material presente en el sólido seleccionado. Para aplicar mejor este procedimiento se debe seguir meticulosamente los posteriores pasos para su correcta utilización.

(a) Se crea un Objeto IP a través del *Data Manager* Menú *New/Interactive Planner Object*. En este caso como ejemplo llamaremos al Objeto IP “PLAN ANUAL”. Ver Figura 3.15

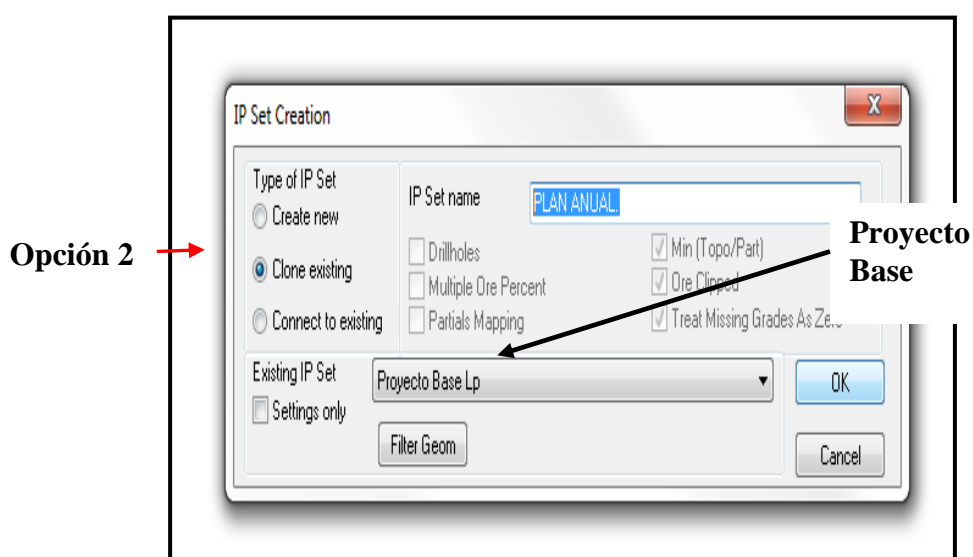


Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.15 Ventana New Plan

(b) Clonar el Archivo.


Al realizar el paso anterior, se despliega automáticamente la pantalla *IP Set Creation* y luego se selecciona clonar, se clona el archivo existente “Proyecto Base”, el cual contiene la configuración y los parámetros de MSIP, además en la casilla “*IP Set name*” se debe colocar el mismo nombre que se le adjudicó al objeto *IP* en este caso “PLAN ANUAL”, tal como se muestra en la figura 3.16.

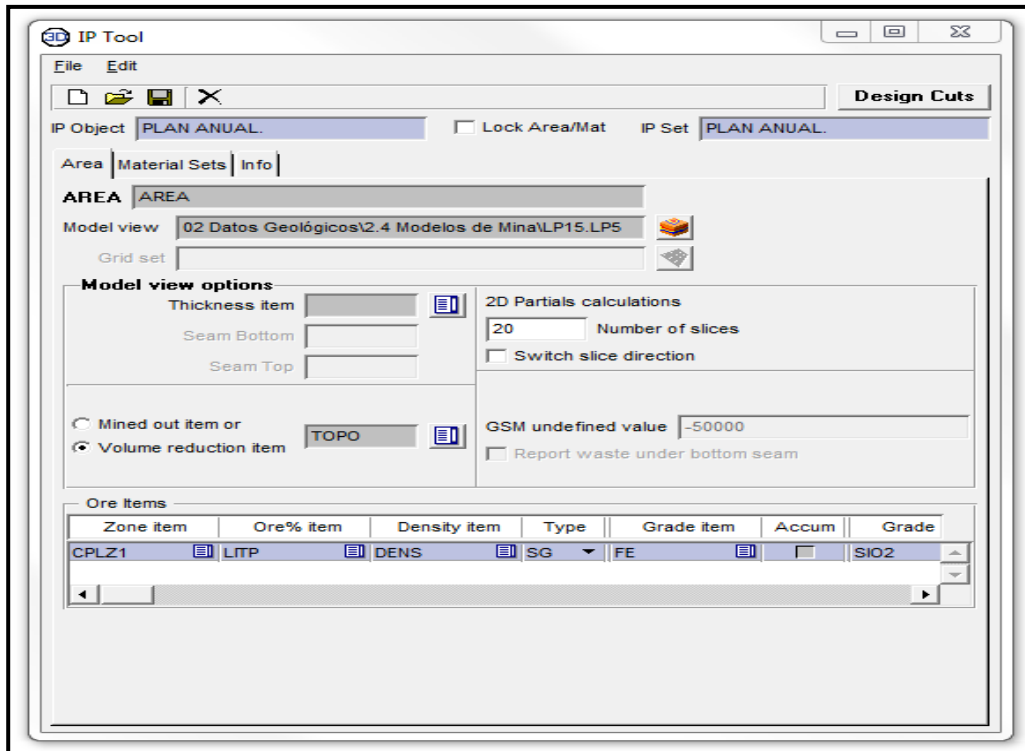


Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.16 Ventana *IP Set Creation*

(c) Se despliega automáticamente la ventana “*IP TOOL*”.

En esta ventana se puede observar la vista del modelo (*Model View*), así mismo el ítem que lo limita, en este caso “TOPO”. En caso que el modelo presentado en el campo *Model View* no coincida con el modelo de mina a trabajar, se puede presentar un error en el cálculo. Esto se resuelve buscando la ruta y seleccionando el modelo a utilizar, mediante el icono que se encuentra en la ventana *IP TOOL* , ver figura 3.17

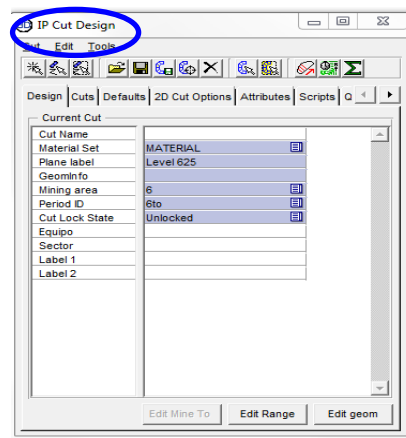


F

FIGURA 3.17 Ventana IP Tool


(d) Activar la pestaña “Design Cuts”. Desde la ventana “IP TOOL”

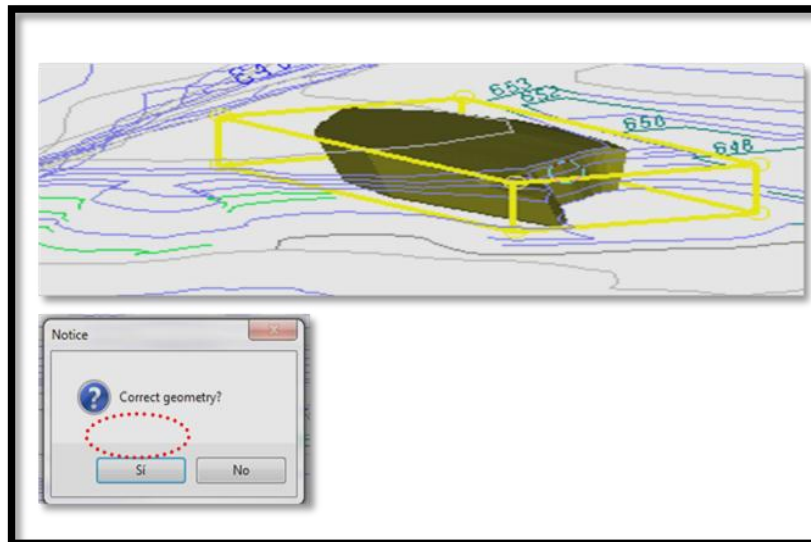
Al realizar esta acción se despliega la ventana correspondiente al diseño de cortes (*IP Cut Design*). Tal como se muestra en la figura 3.18



Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.18 Ventana IP Cut Design

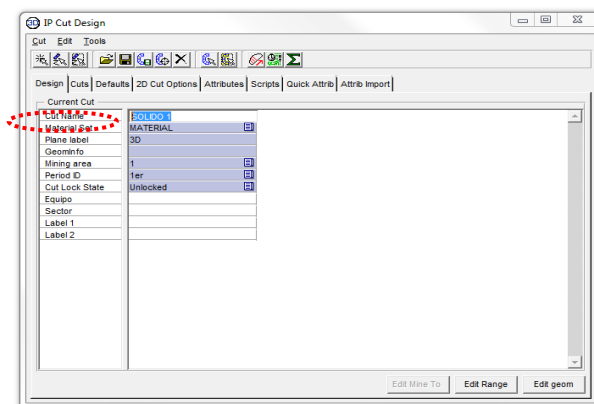
(f) Luego se debe realizar el corte, para ello se debe pulsar el icono , esto abrirá la ventana de selección de elemento, se selecciona el objeto y nos preguntara si es el objeto correcto, si estamos de acuerdo pulsamos Si, sino hay que seleccionar nuevamente el objeto de interés. Una vez seleccionado elemento se ve como lo muestra la figura 3.19



Fuente: Bolívar (2012)


FIGURA 3.19 Selección de un Elemento para Realizar un Corte

(g) Una vez seleccionado el elemento, se abrirá de nuevo la ventana de “*IP Cut Design*” donde se debe colocar el nombre del corte en la barra “*Cut Name*”. Ver figura 3.20

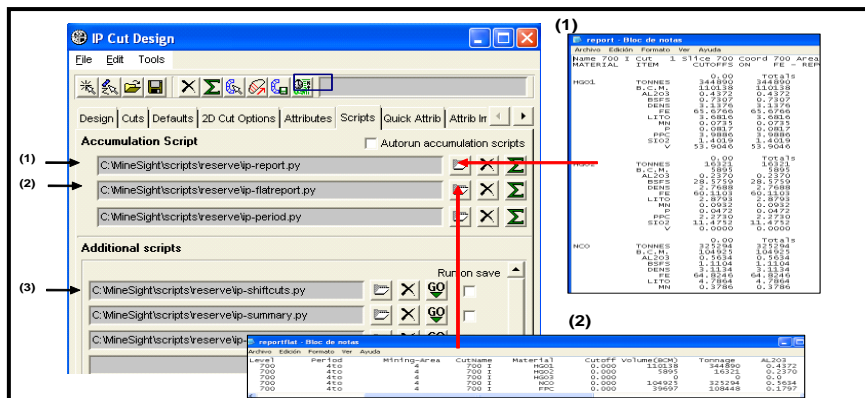


Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.20 Ventana IP Cut Design, Señalando el Cut Name

(h) Luego genera el reporte, pulsando el icono  del script (2), descrito en la figura 3.21, este reporte tiene como nombre “C:\MineSight\scripts\reserve\ip-Flatreport(2g).py”

Este cálculo se realiza pulsando el icono “Scripts”, el cual, muestra los reportes de reservas de los diferentes cortes realizados en un formato que puede ser exportado y manipulado en una hoja de cálculo. Ver figura 3.22



Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.21 Ventana *IP Cut Design*, Señalando los Scripts

Area	Material	Level	Period	Missip-Area	CutName	Material	Cutoff	Volume(CM)	Tonnage	AL203
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO1	0.000	22	36	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO2	0.000	5432	14986	60.069
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO3	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	WCO	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	FPC	0.000	14288	38256	52.693
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	IPC	0.000	1556	4891	46.314
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	LAT	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO1	0.000	22	36	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO2	0.000	5432	14986	60.069
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	HGO3	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	WCO	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	FPC	0.000	14288	38256	52.693
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	IPC	0.000	1556	4891	46.314
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO 1	LAT	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO1	0.000	11788	34896	65.811
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO2	0.000	2827	7713	59.470
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO3	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	WCO	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	FPC	0.000	2440	6376	54.476
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	IPC	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	LAT	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO1	0.000	14844	44969	65.150
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO2	0.000	282	795	57.473
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	HGO3	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	WCO	0.000	0	0	0.000
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	FPC	0.000	2262	5955	53.653
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	IPC	0.000	4498	13630	46.712
AREA	MATERIAL	3D	1er	1	SOLIDO2	LAT	0.000	0	0	0.000

Fuente: Bolívar H., Enyerberth J. (2012)


FIGURA 3.22 Hoja de Resultados Obtenidos con el Script *Reportflat*

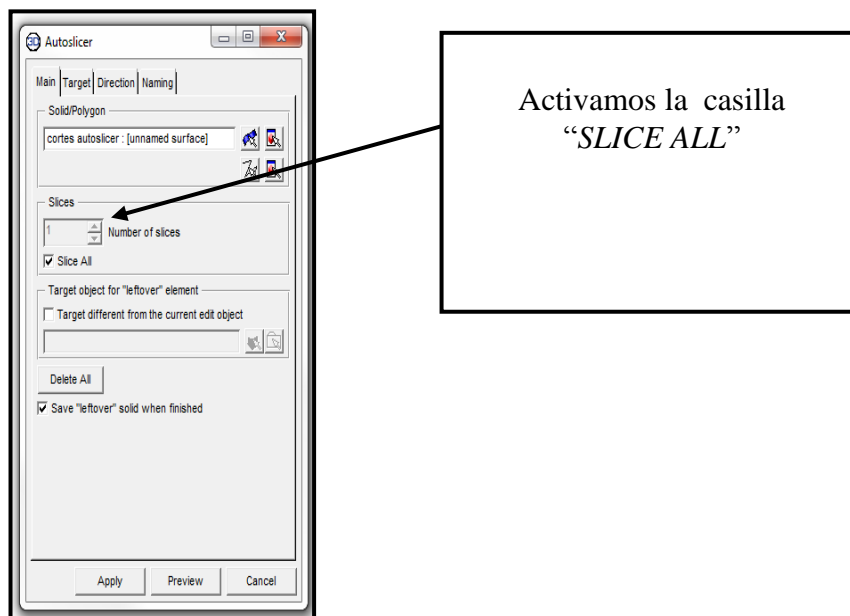
3.5.8 Cálculo De Reservas Por Niveles

Una vez creado el sólido de la fosa se realiza un cálculo de reservas por niveles, de modo que se pueda determinar cómo es la distribución de tonelaje y tenor (grado químico). Los niveles a los que se refiere el autor son establecidos en 15 m de altura.

3.5.8.1 Generación Del Reporte De Reservas Por Niveles De Excavación


Este cálculo se realizó utilizando la misma herramienta que se utilizó en el cálculo de reservas totales “*Interactive Planner Object*”, siguiendo el mismo procedimiento desde el paso (a) hasta el paso (d) de dicho apartado, una vez que se está en la ventana de “*IP Cut Desing*”, ver figura 3.11. Se debe seleccionar la opción “*autoslicer*”, esta herramienta nos permite crear múltiples cortes dentro de un mismo sólido, para ejecutarla se debe seguir el siguiente procedimiento

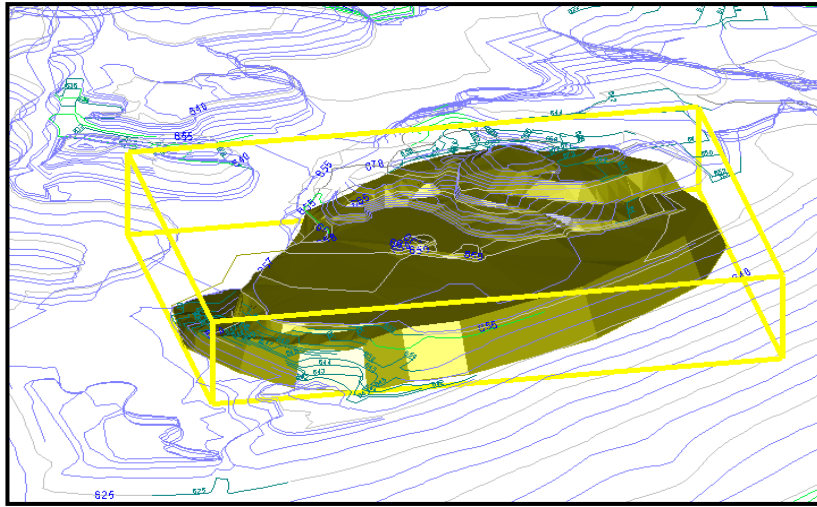
(a) Se debe pulsar el icono , esto abrirá la ventana de *autoslicer*, tal como se muestra en la figura 3.23. Además se debe activar la casilla “*SLICE ALL*”, para garantizar que se realicen los cortes en forma de rodajas o porciones.



Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.23 Ventana Autoslicer

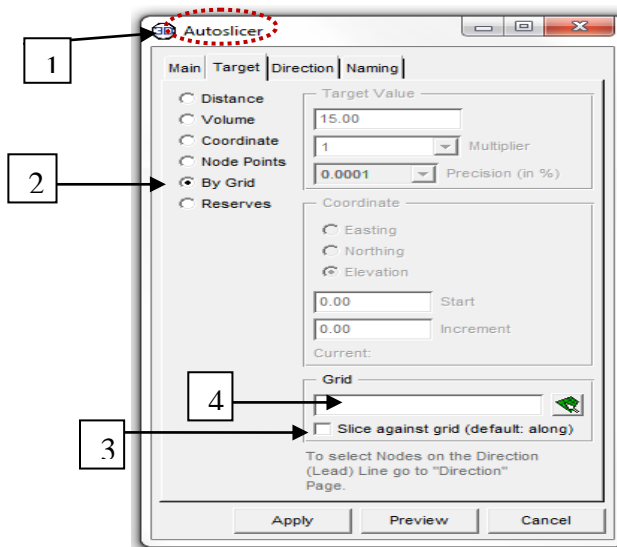
(b) Se pulsa el icono  para seleccionar el elemento de interés. Ver figura 3.24



Fuente: Bolívar (2012)

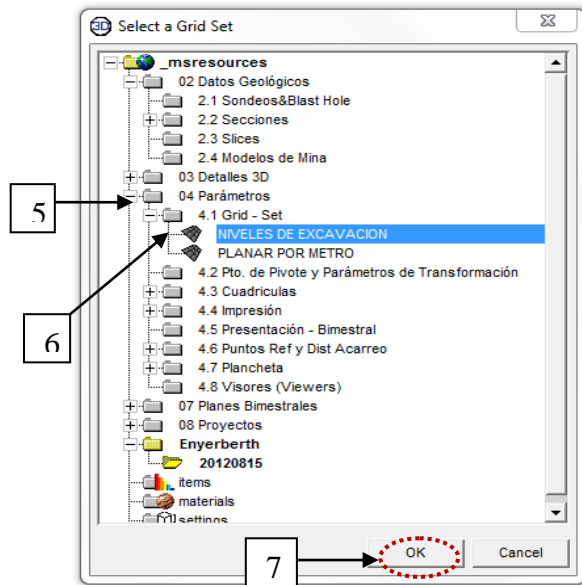
FIGURA 3.24 Seleccionando un Elemento de Interes para Efectuar un Slicer

(c) Luego en la pestaña “*Target*” se selecciona la opción *Grid*, esto se hace para seleccionar la forma en que nos mostrará los cortes, en este caso será por niveles de excavación, a continuación en la figura 3.25 y 3.26 se numeran los pasos a seguir para lograr la configuración:



Fuente: Bolívar (2012)

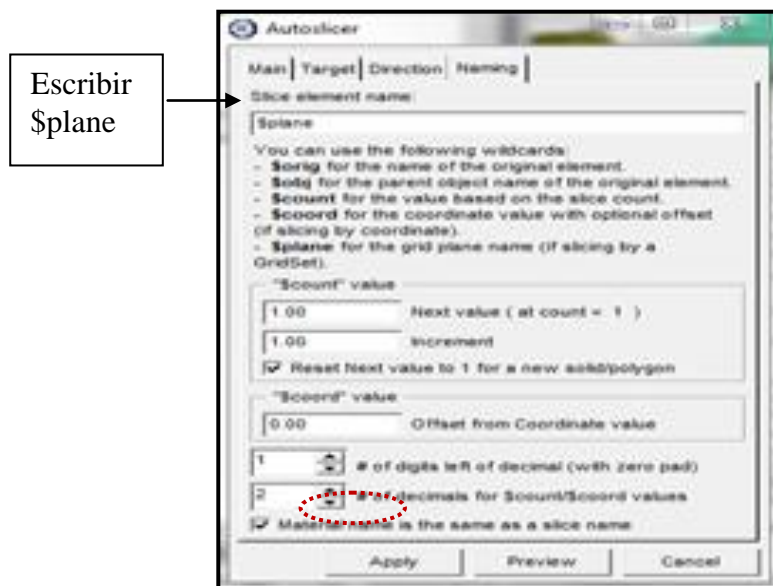
FIGURA 3.25 Ventana Autoslicer con los Pasos para Seleccionar el Grid



Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.26 Ventana Select a Grid Set

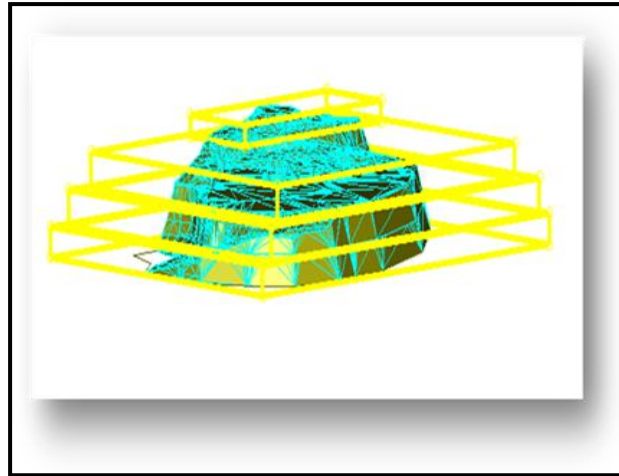
(d) Configurar en la pestaña *Naming* los nombres que tendrán cada uno de los cortes, los cuales serán por plano para un mejor control a la hora de generar los reportes, para ello se debe escribir “\$plane” en la barra de name y aplicamos como muestra la figura 3.27



Fuente: Bolívar (2012)

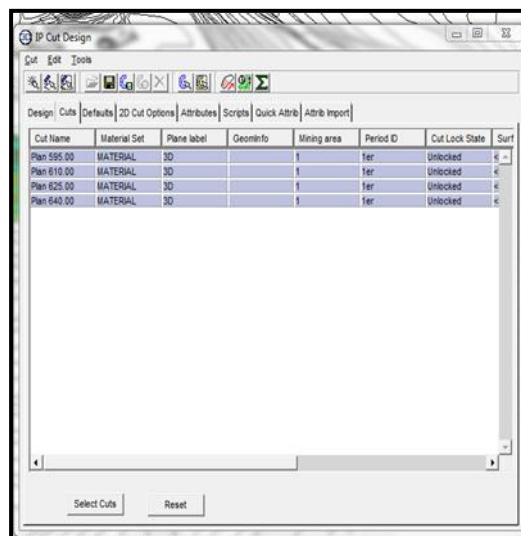
FIGURA 3.27 Ventana de Autoslicer Configurando el Naming

(f) Una vez realizado los pasos anteriores se generaran los cortes y se muestran en la ventana de “*IP Cut Design*”, tal como se muestran en la figuras 3.28 y 3.29




Fuente: Bolívar (2012)

FIGURA 3.28 Muestra de Slicers Realizados al Elemento Seleccionado



Fuente: Bolívar (2012)

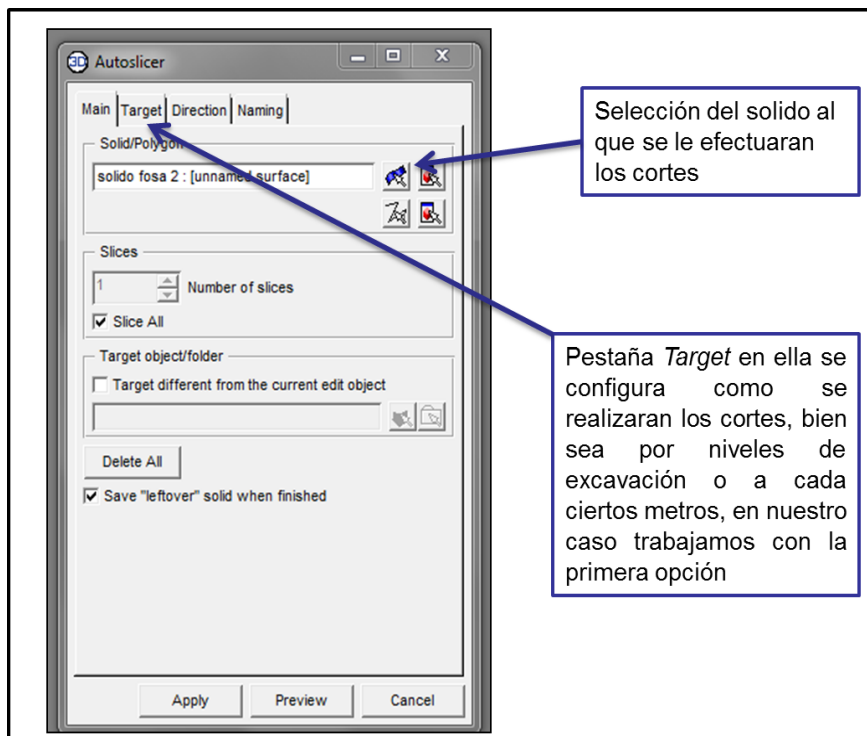
FIGURA 3.29 Ventana IP Cut Design Mostrando los Cortes de los Slicers

(g) por último se genera el reporte, pulsando el icono  del script (2), tal como se describió en la figura 3.21, este reporte tiene como nombre “C:\MineSight\scripts\reserve\ip-Flatreport(2g).py”

3.5.8.2 Generación De Los Sólidos Correspondientes De Cada Nivel De Excavación

Para detallar visualmente como es la distribución del volumen de reservas extraídas por nivel en cada yacimiento, fue conveniente generar sólidos correspondientes a cada nivel de excavación para cada una de las fosas realizadas.

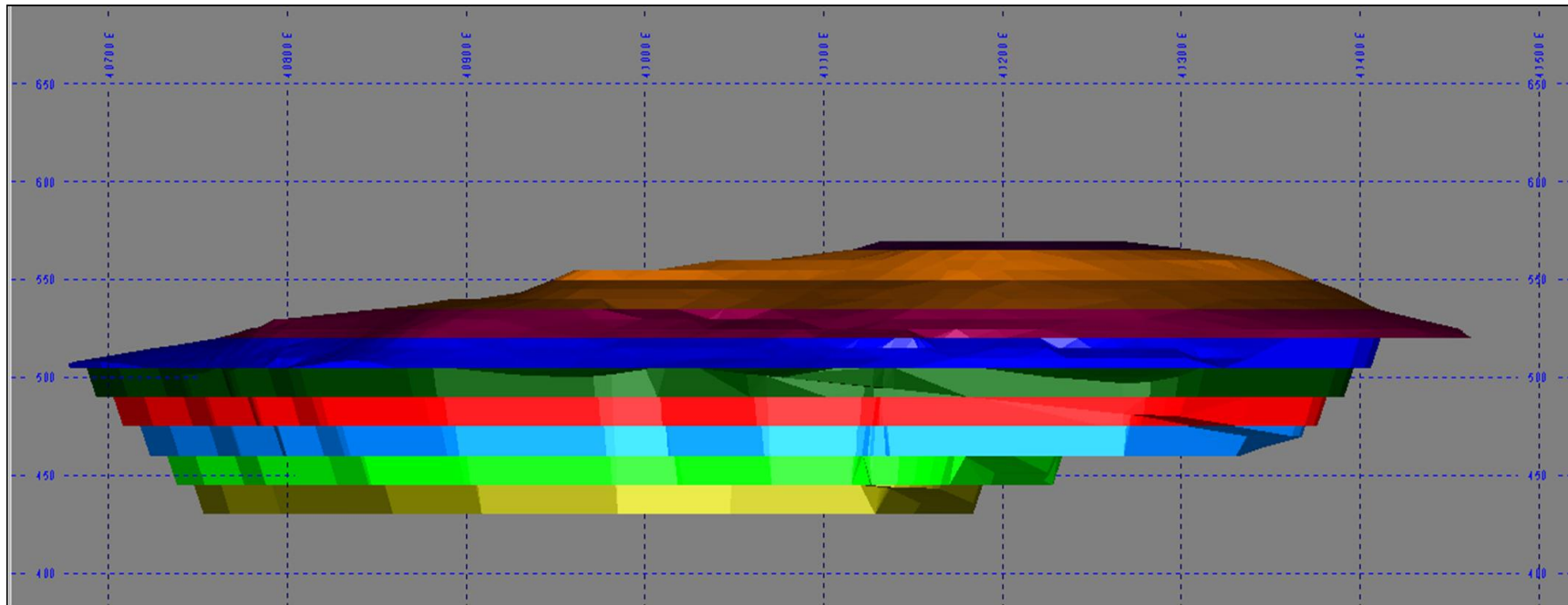
Esto se realiza automáticamente con la herramienta *Autoslicer* que se ubica en el menú principal, en la opción de *utilities*, en la figura 3.30 se muestra la ventana de *Autoslicer* en la cual se debe seleccionar el sólido al cual se le efectuara los cortes y es importante configurar que dichos cortes se realicen por niveles de excavación, esto se efectúa en la pestaña *Target* de dicha ventana.



Fuente: Elaboración propia

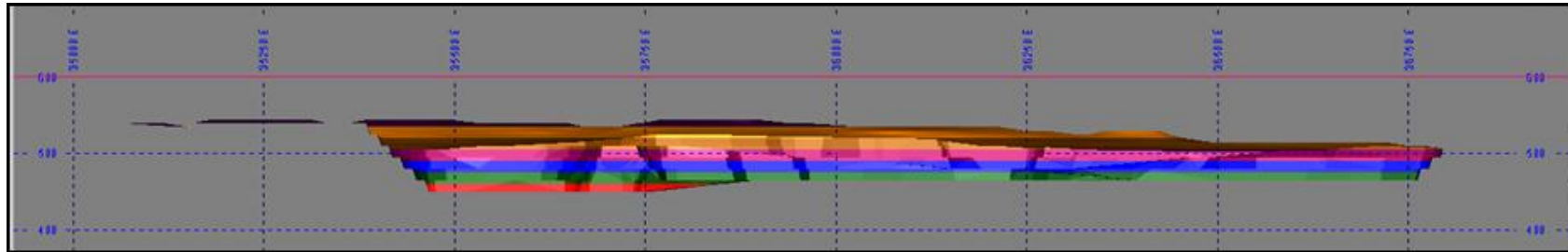
FIGURA 3.30 Ventana de Autoslicer para la Creacion de Solidos por Niveles de Excavacion

En las figuras 3.31, 3.32 y 3.33 se muestran los sólidos por nivel de excavación para cada yacimiento (Redondo, Ricardo y La Estrella) respectivamente, cada solido es identificado con un color propio para apreciarlo mejor:.



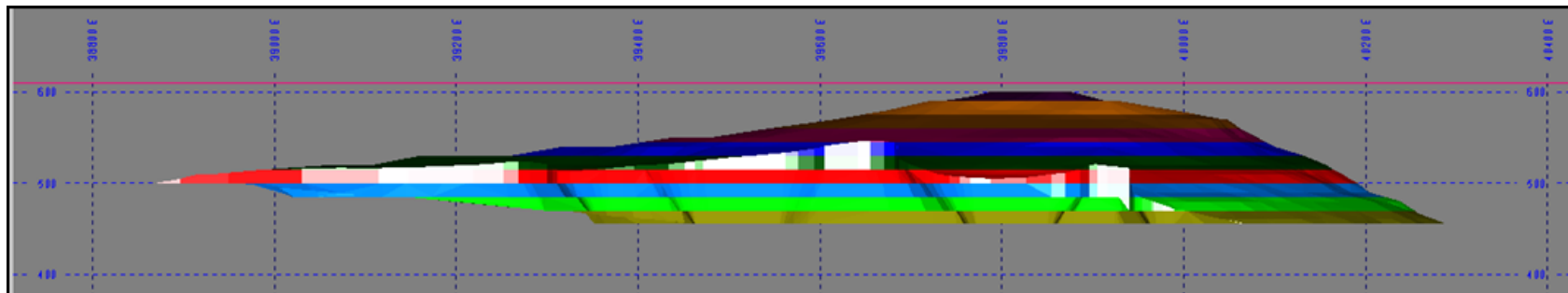
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.31 Solido de los Niveles de Excavacion del Cerro Redondo



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.32 Solidos de Los Niveles de Excavacion del Cerro Ricardo



Fuente: Propia

FIGURA 3.33 Solidos de los Niveles de Excavacion del Cerro La Estrella

3.5.9 Secuencia De Excavación Por Año

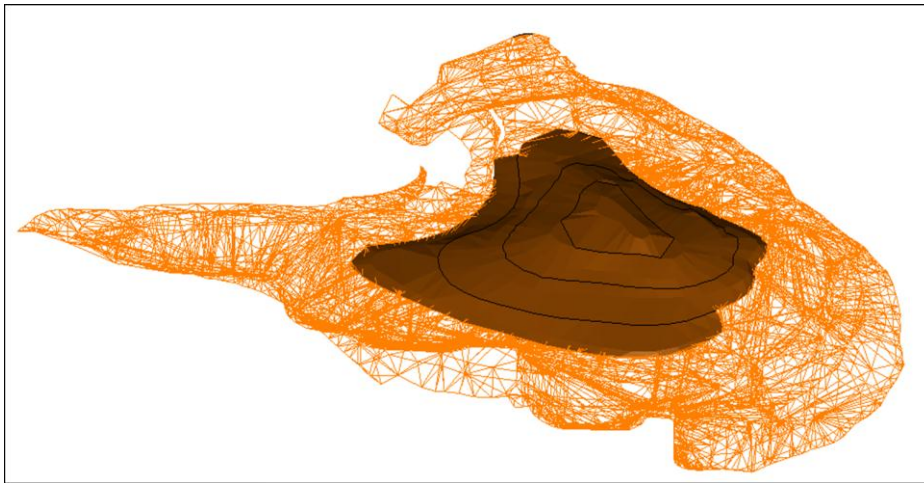
Una vez diseñada la fosa y haber realizado los cálculos de reservas pertinentes por niveles de excavación, se deben realizar la secuencia de excavación, que no es más que la manera en que se ira extrayendo el material de la mina a través del tiempo, esta acción se realiza para ir estableciendo metas de producción para cada año e ir visualizando como se desarrollara el avance de la extracción de la mina en el transcurso de su vida.

Existen muchas maneras de realizar una secuencia de excavación por año, básicamente la manera en que se diseñan dependen del planificador, además de las características propias de la mina, para los efectos de este trabajo las secuencias para cada uno de los yacimientos se realizaron tomando en consideración dos puntos de relevancia, el primero de ellos es que cada yacimiento debe tener una vida útil de diez (10) años y el segundo es que la cantidad de material extraído por año no debe variar mucho, es decir, que los valores de tonelaje deben mantenerse en un valor ideal previamente establecido.

Tomando en consideración los dos puntos expuestos en el párrafo anterior se siguieron los siguientes pasos para efectuar la secuencia de excavación para cada yacimiento.

- (a) Se definió el valor ideal para las toneladas que deben ser extraídas por año, esto se realizó tomando el valor de las toneladas totales recuperables del yacimiento y dividiéndolo entre el número de años que durara la excavación, en nuestro caso para todos los yacimientos fue diez (10).
- (b) Se realizaron cortes sobre cada nivel de excavación, tomando en cuenta la ubicación de las rampas de acceso dispuestas en el diseño de la fosa, ya que estas nos indicaran la dirección de avance, es decir, si las rampas descienden o avanzan de este a oeste, de igual forma deben ir el avance de los cortes en la explotación y tratando de que la suma de las toneladas de dichos cortes se ajuste al valor ideal calculado anteriormente, una vez que el valor es alcanzado se define ese punto como un año de extracción y se continúa con el siguiente año empleando el mismo procedimiento. Esta acción se efectúa directamente en *el software Minesight*. En la figura 3.34 se aprecia los cortes realizados sobre distintos niveles de la fosa para

obtener el volumen que será extraído en el primer año de excavación del Cerro La Estrella.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.34 Cortes Realizados Sobre Distintos Niveles de la Fosa del Cerro La Estrella Para Obtener las Toneladas para el Primer año de Excavacion

- (c) Una vez obtenido los cortes por año se le realizo el cálculo de reservas a cada uno de ellos utilizando el procedimiento descrito en el apartado 2.16.7 “Calculo de Reservas Totales”, con ello se obtuvieron los valores de tonelaje y grados químicos para cada año. Cabe destacar que la sumatoria de las toneladas de cada año debe coincidir con el valor de las toneladas totales recuperables.

3.5.10 Resultados

Los resultados que se obtuvieron fueron los reportes de reservas generadas por el *software MineSight®* se obtuvieron tres (3) tipos de reportes para cada uno de los yacimientos: toneladas totales, toneladas por niveles y toneladas por año, estos datos fueron organizados en hojas de cálculo para su posterior análisis. Además se obtuvo vistas isométricas del diseño de la fosa, de la topografía una vez culminada la extracción, de los niveles de excavación y del avance de la excavación a través del tiempo,

CAPITULO IV
RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados de la investigación empleando los procedimientos descritos en el capítulo anterior, estos resultados fueron estructurados y dispuestos en tablas para una mejor visualización y comprensión.

4.1 Cerro Redondo

4.1.1 Reservas Recuperables Del Cerro Redondo Y Grados Químicos Correspondientes

Las reservas recuperables es la cantidad de material que se lograra extraer una vez culminada la vida de la mina, vendría siendo el tonelaje del volumen del solido que representa el material que se extraerá del yacimiento Cerro Redondo, en la figura 4.1 se muestra el sólido al cual nos referimos.



Fuente: Propia

FIGURA 4.1 Vista de la Fosa de Excavacion y del Sólido que Representa las Reservas Recuperables del Cerro Redondo

Toda la información que nos sumista este solido está plasmado en la tabla 1, en la cual se muestran las toneladas y grados químicos de los distintos tipos de material asociados al yacimiento

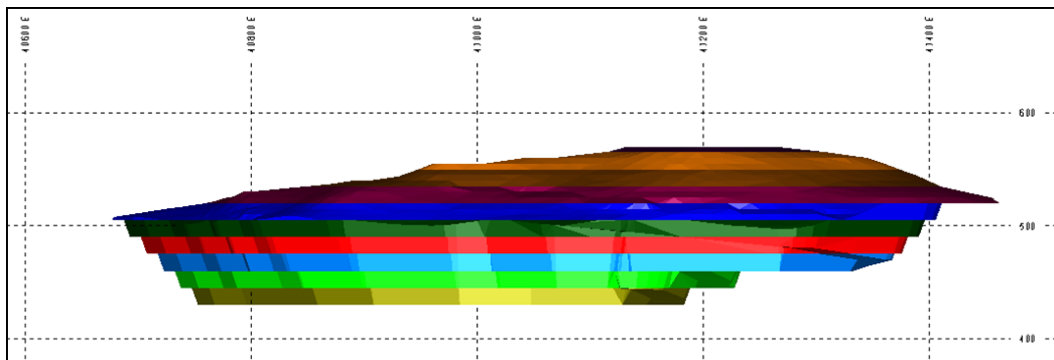
Tabla 1 Reservas Recuperables del Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
MPNC	Alto tenor Conforme	43.095.137	58,83	2,10	0,95	8,05	0,087	0,050
	Alto tenor No Conforme	4.076.398	59,52	3,03	15,27	10,26	0,089	0,067
	Bajo Tenor Friable	7.001.921	48,72	25,40	0,73	4,15	0,052	0,055
	Bajo Tenor Duro	3.772.034	41,13	34,78	0,94	5,39	0,059	0,072
	Laterita	1.193.891	42,84	27,56	2,63	8,49	0,074	0,042
	Total MPNC	16.044.244	49,24	22,08	4,62	6,32	0,065	0,061
	Total	59.139.381	56,23	7,52	1,94	7,58	0,081	0,053
	Relacion de Excavacion	2,69 : 1						

Fuente: Propia

4.1.2 Reservas Recuperables para Cada Nivel de Excavación

Para lograr detallar y entender el comportamiento del yacimiento a medida que se va descendiendo, se le efectuó un cálculo de reservas recuperables a cada nivel de excavación, fraccionando por rodajas horizontales el sólido total, en la figura 4.2 se muestra el sólido de reservas una vez efectuado el fraccionamiento por rodajas, cada nivel de excavación posee un color propio.



Fuente: Propia

FIGURA 4.2 Sólido de la Fosa del cerro Redondo Dividido por Niveles de Excavacion

La figura 4.3 nos muestra los niveles de excavación, a cada uno se le adjudico un color propio para diferenciarlo del resto, cada nivel posee una altura de 15 metros y en este diseño de fosa en particular se tendrán 10 niveles, comenzando desde la parte superior con el nivel 565, siendo seguido por los niveles 550, 535, 520, 505, 490, 475, 460, 445 y 430 respectivamente.

A continuación se muestran las tablas de reservas recuperables por nivel de excavación:

Tabla 2 Reservas Recuperables del Nivel 565, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 565	Alto Tenor Conforme	229.846	54,50	1,97	0,84	5,87	0,070	0,018
	Alto tenor No Conforme	45	62,17	1,05	2,08	7,94	0,097	0,017
	Bajo Tenor Friable	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	45	62,17	1,05	2,08	7,94	0,097	0,017
Total	229.891	54,50	1,97	0,84	5,87	0,070	0,018	
Relacion de Excavacion		5107,69 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Reservas Recuperables del Nivel 550, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 550	Alto Tenor Conforme	2.226.951	57,79	1,92	1,01	6,73	0,081	0,024
	Alto tenor No Conforme	24.952	61,46	1,00	2,12	8,95	0,100	0,021
	Bajo Tenor Friable	116.832	55,20	1,79	0,84	2,29	0,046	0,019
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	141.784	56,31	1,66	1,06	3,46	0,06	0,02
Total	2.368.735	57,70	1,90	1,02	6,54	0,079	0,024	
Relacion de Excavacion		15,71 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Reservas Recuperables del Nivel 535, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 535	Alto Tenor Conforme	5.020.109	57,87	1,98	1,14	7,85	0,094	0,032
	Alto tenor No Conforme	224.907	59,58	1,56	1,92	11,28	0,107	0,025
	Bajo Tenor Friable	272.200	50,55	24,18	1,06	2,47	0,050	0,030
	Bajo Tenor Duro	69.693	41,27	36,63	1,32	3,01	0,049	0,032
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	566.800	52,99	16,74	1,43	6,03	0,072	0,028
Total	5.586.909	57,37	3,47	1,17	7,66	0,092	0,031	
Relacion de Excavacion		8,86 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Reservas Recuperables del Nivel 520, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 520	Alto tenor Conforme	7.396.508	63,53	1,80	1,37	9,36	0,108	0,032
	Alto Tenor No Conforme	725.591	59,25	2,12	2,02	11,10	0,098	0,026
	Bajo Tenor Friable	682.905	49,47	25,43	1,20	2,62	0,051	0,026
	Bajo Tenor Duro	175.535	41,77	36,58	1,21	2,42	0,049	0,062
	Laterita	5.689	50,72	11,00	5,07	11,33	0,092	0,041
	Total MPNC	1.589.720	53,09	15,97	1,59	6,50	0,072	0,030
Total	8.986.228	61,69	4,31	1,41	8,86	0,102	0,031	
Relacion de Excavacion		4,65 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Reservas Recuperables del Nivel 505, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 505	Alto Tenor Conforme	8.710.712	57,87	1,59	1,08	8,25	0,092	0,030
	Alto tenor No Conforme	913.260	60,31	2,35	1,97	9,40	0,088	0,030
	Bajo Tenor Friable	714.257	47,72	2,78	1,22	2,69	0,048	0,026
	Bajo Tenor Duro	400.598	40,22	37,92	1,71	2,84	0,049	0,036
	Laterita	227.970	48,33	19,22	3,16	8,49	0,075	0,027
	Total MPNC	2.256.085	51,55	10,51	1,80	6,02	0,07	0,03
Total	10.966.797	56,57	3,42	1,23	7,79	0,09	0,03	
Relacion de Excavacion		3,86 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Reservas Recuperables Del Nivel 490, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 490	Alto Tenor Conforme	8.708.134	60,36	2,19	0,98	8,22	0,085	0,045
	Alto tenor No Conforme	799.693	59,91	2,08	1,72	10,47	0,093	0,052
	Bajo Tenor Friable	882.362	49,10	26,06	0,98	2,74	0,050	0,027
	Bajo Tenor Duro	461.738	40,82	36,36	1,61	3,61	0,056	0,047
	Laterita	338.721	47,47	21,24	2,34	8,48	0,077	0,038
	Total MPNC	2.482.514	50,82	19,60	1,52	6,18	0,069	0,040
Total	11.190.648	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044	
Relacion de Excavacion		3,51 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Reservas Recuperables del Nivel 475, Cerro redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 475	Alto Tenor Conforme	5.216.913	60,76	2,70	0,69	8,20	0,081	0,077
	Alto tenor No Conforme	545.451	58,56	4,94	1,06	10,17	0,086	0,093
	Bajo Tenor Friable	995.916	49,91	24,22	0,67	3,72	0,049	0,042
	Bajo Tenor Duro	565.558	45,12	29,06	1,40	4,96	0,065	0,054
	Laterita	158.220	45,93	22,77	2,52	8,97	0,076	0,047
	Total MPNC	2.265.145	50,52	20,68	1,07	5,95	0,064	0,057
Total	7.482.058	57,66	8,14	0,81	7,52	0,076	0,071	
Relacion de Excavacion		2,30 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Reservas Recuperables del Nivel 460, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 460	Alto Tenor Conforme	3.397.528	59,51	2,72	0,48	6,56	0,065	0,071
	Alto tenor No Conforme	358.452	59,00	4,65	0,62	10,25	0,079	0,125
	Bajo Tenor Friable	1.554.473	48,58	24,77	0,56	5,16	0,053	0,061
	Bajo Tenor Duro	539.585	40,33	33,42	0,95	7,89	0,062	0,074
	Laterita	227.685	33,05	40,58	3,48	8,60	0,067	0,054
	Total MPNC	2.680.195	46,99	25,16	0,89	6,68	0,059	0,072
Total	6.077.723	53,99	12,62	0,66	6,62	0,06	0,07	
Relacion de Excavacion		1,27 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Reservas Recuperables del Nivel 445, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 445	Alto Tenor Conforme	1.529.230	58,83	3,22	0,29	7,87	0,072	0,140
	Alto tenor No Conforme	325.967	59,12	4,70	0,65	9,97	0,071	0,152
	Bajo Tenor Friable	1.086.444	47,46	25,80	0,37	5,87	0,057	0,096
	Bajo Tenor Duro	640.000	41,36	34,12	0,25	6,37	0,062	0,101
	Laterita	127.651	39,25	34,39	1,56	7,83	0,075	0,068
	Total MPNC	2.180.062	46,94	25,59	0,45	6,75	0,062	0,104
Total	3.709.292	51,84	16,37	0,38	7,21	0,066	0,119	
Relacion de Excavacion		0,70 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Reservas Recuperables del Nivel 430, Cerro Redondo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 430	Alto Tenor Conforme	659.207	57,60	3,47	0,31	8,10	0,071	0,147
	Alto tenor No Conforme	158.080,00	59,15	4,57	0,57	10,06	0,069	0,228
	Bajo Tenor Friable	696.532	47,32	26,26	0,36	5,62	0,059	0,107
	Bajo Tenor Duro	919.327	39,41	36,91	0,40	6,24	0,061	0,097
	Laterita	107.956	36,68	37,32	1,95	8,23	0,074	0,021
	Total MPNC	1.881.895	43,84	30,27	0,49	6,45	0,062	0,107
Total	2.541.102	47,41	23,32	0,44	6,87	0,06	0,12	
Relacion de Excavacion		0,35 : 1						

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Resumen De Las Reservas Recuperables Por Nivel De Excavación

Para visualizar y relacionar mejor los niveles se organizaron los datos en la tabla 12, la cual es un resumen que permite observar los valores totales de toneladas y grados químicos por nivel.

Tabla 12 Resumen de Reservas Recuperadas por Nivel de Excavación, Cerro Redondo

Nivel de Excavacion	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
565	229.891	54,50	1,97	0,84	5,87	0,070	0,018
550	2.368.735	57,70	1,90	1,02	6,54	0,079	0,024
535	5.586.909	57,37	3,47	1,17	7,66	0,092	0,031
520	8.986.228	56,90	4,14	1,24	7,96	0,094	0,029
505	10.966.797	56,57	3,42	1,23	7,79	0,087	0,030
490	11.190.648	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044
475	7.482.058	57,66	8,14	0,81	7,52	0,076	0,071
460	6.077.723	53,99	12,76	0,69	7,28	0,068	0,090
445	3.709.292	51,84	16,37	0,38	7,21	0,066	0,119
430	2.541.102	47,41	23,32	0,44	6,87	0,064	0,117
Total	59.139.381	56,23	7,52	1,94	7,58	0,081	0,053

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Secuencia De Excavación Anualizada

4.1.4.1 Calculo Del Tonelaje Ideal A Extraer Por Año

Para obtener este valor hay que aplicar la ecuación 1, la cual es bastante sencilla y basta con saber el valor de las toneladas totales de las reservas recuperables este se encuentra en la tabla 1 y dividirlo entre 10, q serían los años de explotación.

$$TI = \text{toneladas totales} / \text{años de explotación}$$

Ecuación 4.1 Tonelaje Ideal (TI)

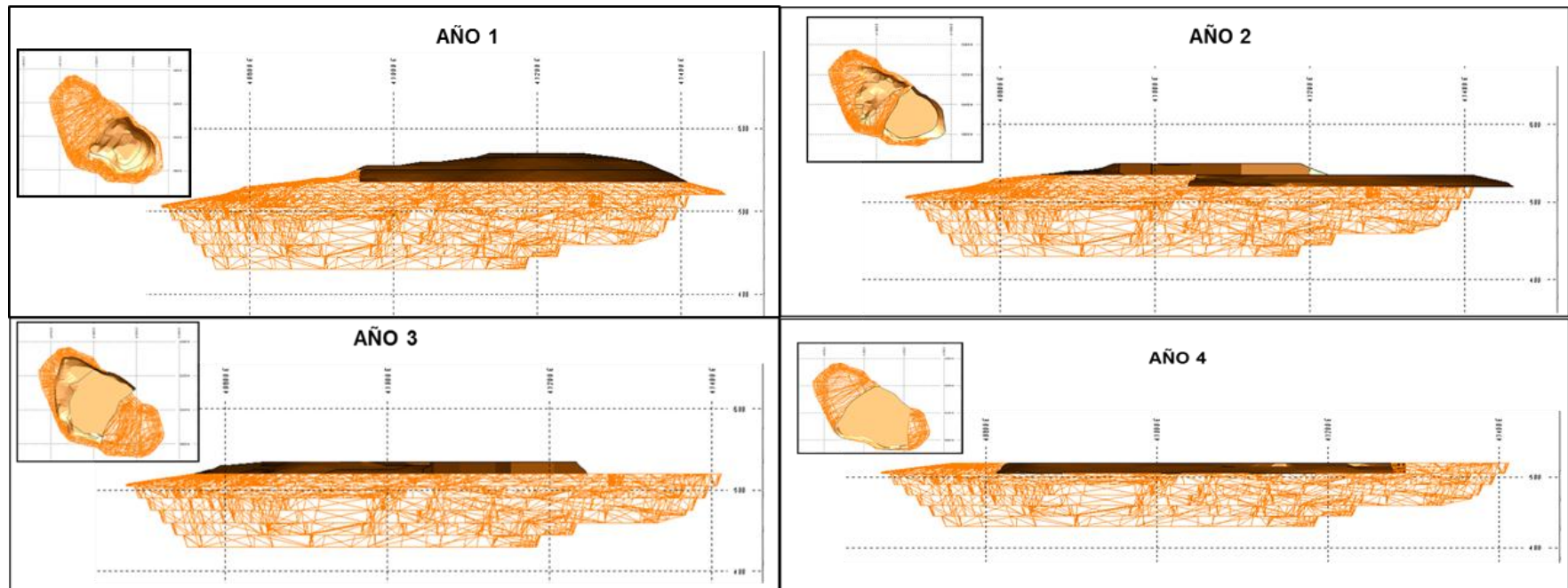
Aplicando la ecuación 4.1 y sustituyendo se obtiene:

$$TI = 59.139.681/10 \quad \mathbf{TI=5.913.938 \text{ toneladas}}$$

Con el valor TI, se realizan los cortes tratando en lo posible que las toneladas de dichos cortes se aproximen lo más posible a este valor y de esa forma se definen las metas de producción anuales. A continuación se muestran los cortes realizados, los cuales nos darán las reservas a excavar por cada año.

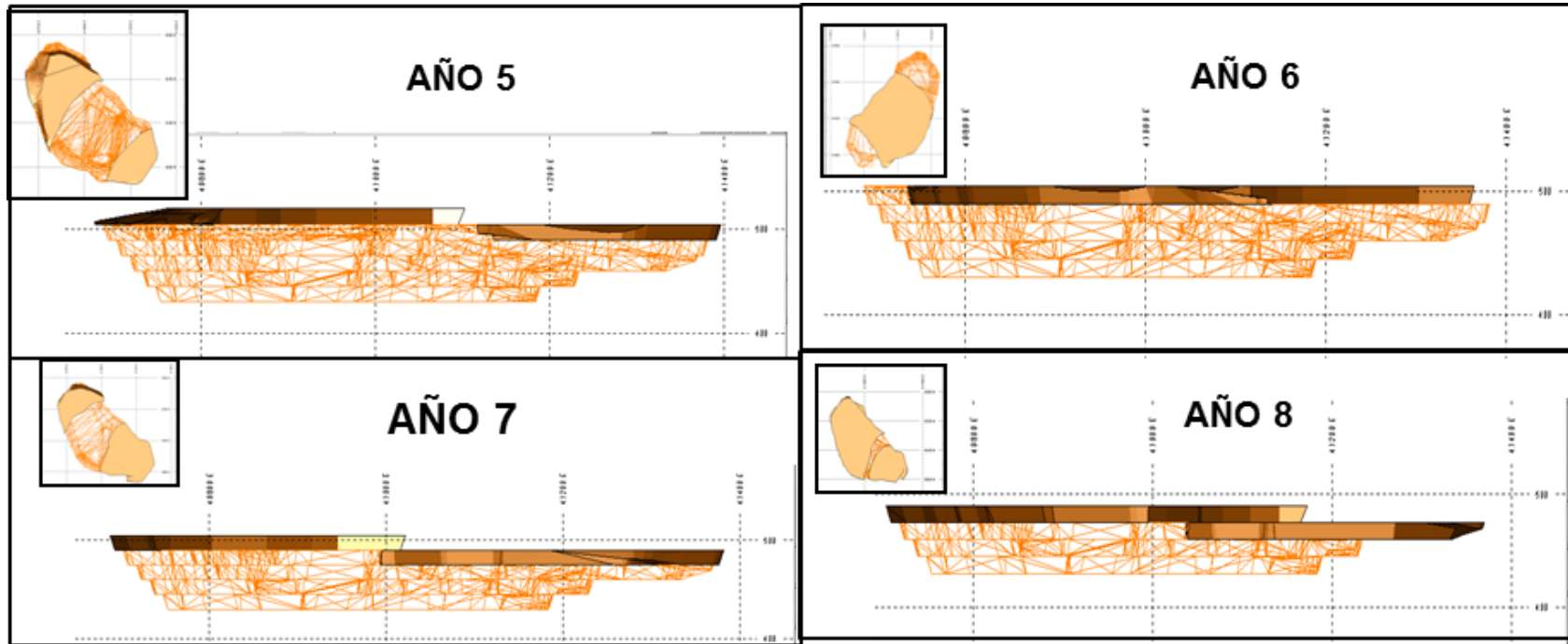
Ver figuras 4.3, 4.4 ,4.5 y 4.6

4.1.4.2 Vistas De Planta Y En Perfil De La Secuencia De Excavación Anualiza



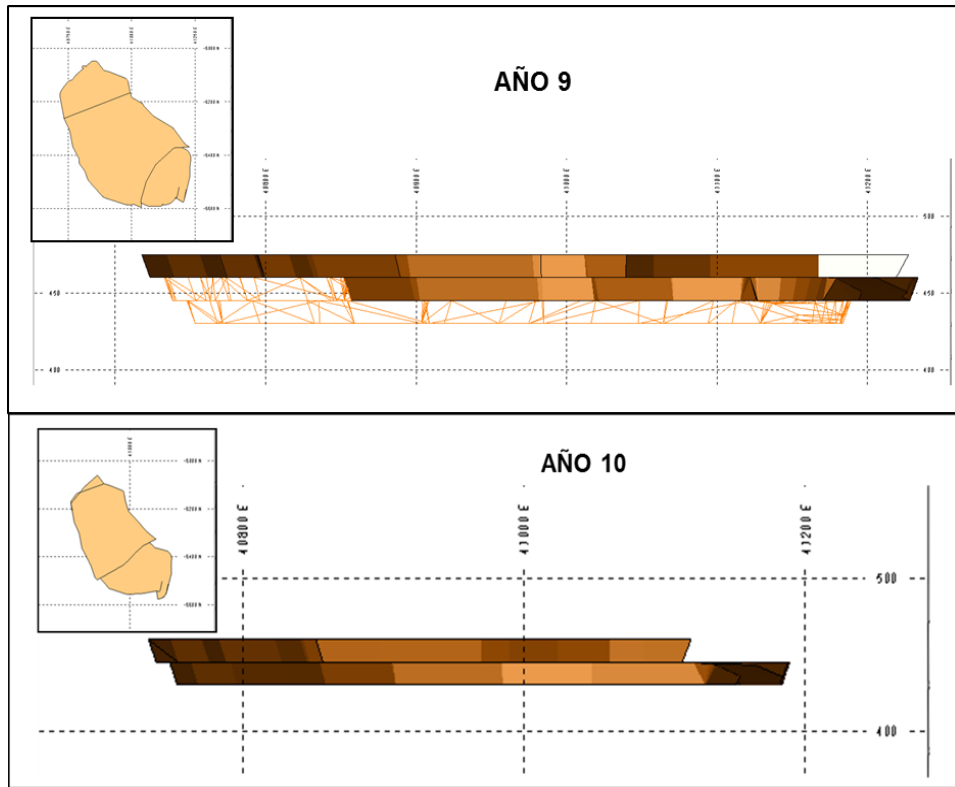
Fuente: Propia

FIGURA 4.3 Secuencia de Excavacion Desde el Año 1 Hasta el Año 4, Cerro Redondo



Fuente: Elaboración propia

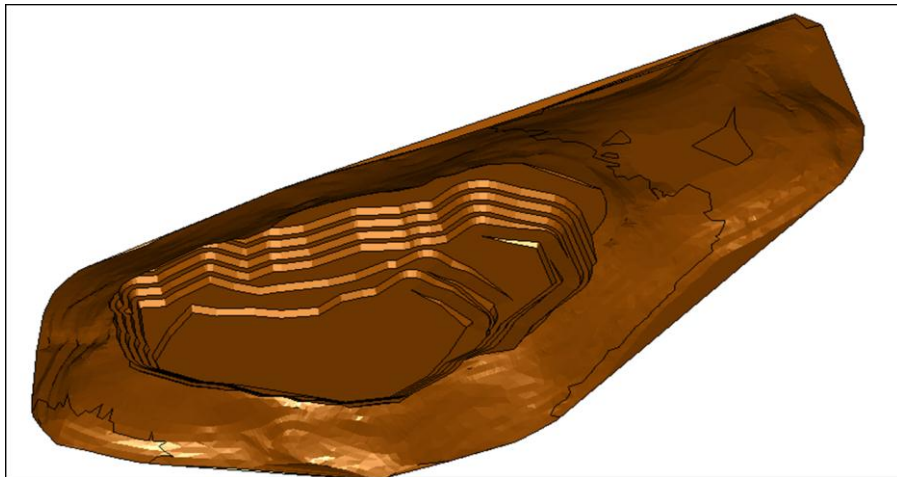
FIGURA 4.4 Secuencia de excavacion desde el Año 5 Hasta el Año 8, Cerro Redondo



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.5 Secuencia de Excavacion Desde el Año 9 Hasta el año 10, Cerro Redondo

En la figura 4.6 se puede apreciar cómo queda la topografía una vez culminada la excavación.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.6 Modificacion de la Topografía una vez Culminada la Fosa de excavacion, Cerro

4.1.4.3 Resumen De Las Toneladas Y Grados Químicos De La Secuencia De Excavación Anualizada

La tabla 13 muestra los cortes realizados para cada año de excavación con su respectivo tonelaje y grado químico

Tabla 13 Cortes Realizados Por Año de Excavación, Cerro Redondo

	Nivel- Año	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
1	565-1	229.891	54,50	1,97	0,84	5,87	0,070	0,018
	550-1	2.368.735	57,70	1,90	1,02	6,54	0,08	0,024
	535-1	3.425.100	57,37	3,47	1,17	7,66	0,092	0,031
	TOTAL	6.023.726	57,39	2,80	1,10	7,15	0,086	0,028
2	535-2	2.161.809	57,37	3,47	1,17	7,66	0,092	0,031
	520-2	3.820.025	61,69	4,31	1,41	8,86	0,102	0,031
	TOTAL	5.981.834	60,13	4,01	1,32	8,43	0,098	0,031
3	520-3	5.166.203	61,69	4,31	1,41	8,86	0,102	0,031
	505-3	912.310	56,57	3,42	1,23	7,79	0,087	0,030
	TOTAL	6.078.513	60,92	4,17	1,38	8,70	0,099	0,031
4	505-4	6.205.650	56,57	3,42	1,23	7,79	0,087	0,030
5	505-5	3.848.837	56,57	3,42	1,23	7,79	0,087	0,030
	490-5	2.150.055	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044
	TOTAL	5.998.892	57,17	4,36	1,18	7,78	0,085	0,035
6	490-6	6.054.085	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044
7	490-7	2.986.508	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044
	475-7	3.005.860	57,66	8,14	0,81	7,52	0,076	0,071
	TOTAL	5.992.368	57,95	7,10	0,95	7,64	0,078	0,057
8	475-8	4.476.198	57,66	8,14	0,81	7,52	0,076	0,071
	460-8	1.576.080	53,99	12,62	0,66	6,62	0,063	0,071
	TOTAL	6.052.278	56,70	9,31	0,77	7,28	0,072	0,071
9	460-9	4.501.643	53,99	12,62	0,66	6,62	0,063	0,071
	455-9	1.632.000	51,84	16,37	0,38	7,21	0,066	0,119
	TOTAL	6.133.643	53,42	13,61	0,59	6,77	0,063	0,084
10	455-10	2.077.292	51,84	16,37	0,38	7,21	0,066	0,119
	430-10	2.541.102	47,41	23,32	0,44	6,87	0,064	0,117
	TOTAL	4.618.394	49,40	20,19	0,41	7,02	0,065	0,118
		59.139.383						

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se puede observar el resumen de las toneladas y grados químicos excavados por año, cabe destacar que todos los tonelajes que posee la tabla son las llamadas metas de producción anuales, además la tabla posee una columna nombrada Toneladas Acumuladas, que no es más que el tonelaje acumulado a través de los años, evidentemente el tonelaje del último año debe coincidir con el total de reservas recuperables en el yacimiento.

Tabla 14 Resumen de las Toneladas y Grados químicos por Año de Excavación, Cerro Redondo

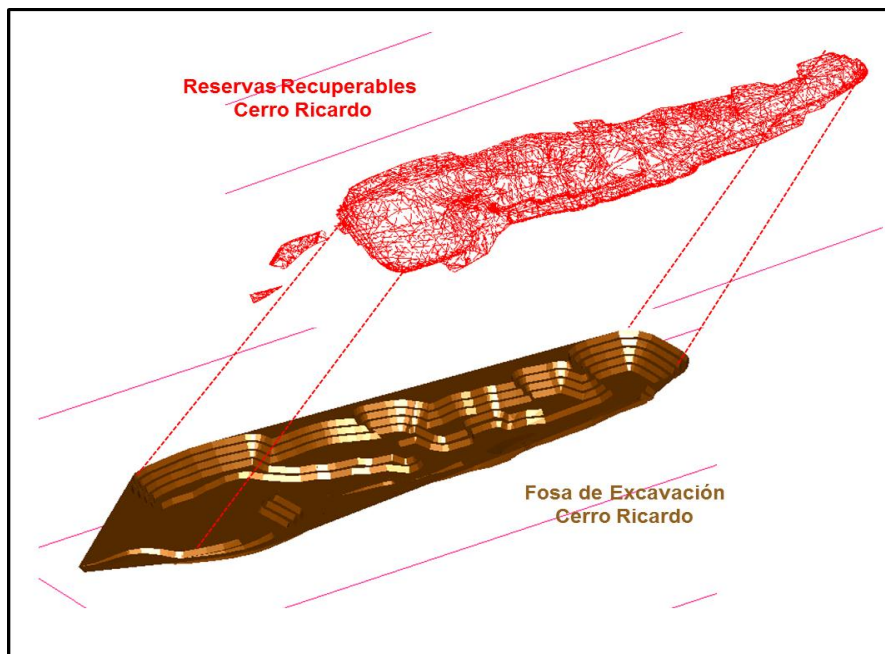
Año	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	PPC	%P	%Mn	Toneladas Acumuladas
1	6.023.726	57,39	2,80	1,10	7,15	0,086	0,028	6.023.726
2	5.981.834	57,07	3,90	1,22	7,85	0,093	0,030	12.005.560
3	6.078.513	56,85	4,03	1,24	7,94	0,093	0,029	18.084.073
4	6.205.650	56,57	3,42	1,23	7,79	0,087	0,030	24.289.723
5	5.998.892	57,17	4,36	1,18	7,78	0,085	0,035	30.288.615
6	6.054.085	58,24	6,05	1,10	7,77	0,081	0,044	36.342.700
7	5.992.368	57,95	7,10	0,95	7,64	0,078	0,057	42.335.068
8	6.052.278	56,70	9,35	0,78	7,46	0,074	0,076	48.387.346
9	6.133.643	53,42	13,72	0,61	7,26	0,067	0,097	54.520.989
10	4.618.394	49,40	20,19	0,41	7,02	0,065	0,118	59.139.383

Fuente: Propia

4.2 Cerro Ricardo

4.2.1 Reservas Recuperables Del Cerro Ricardo Y Grados Químicos Correspondientes

Las reservas recuperables es la cantidad de material que se lograra extraer una vez culminada la vida de la mina, vendría siendo el tonelaje del volumen del solido que representa el material que se extraerá del yacimiento Cerro Ricardo, ver figura 4.7



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.7 Vista de la Fosa de Excavación y del Sólido que Representa las Reservas Recuperables del Cerro Ricardo

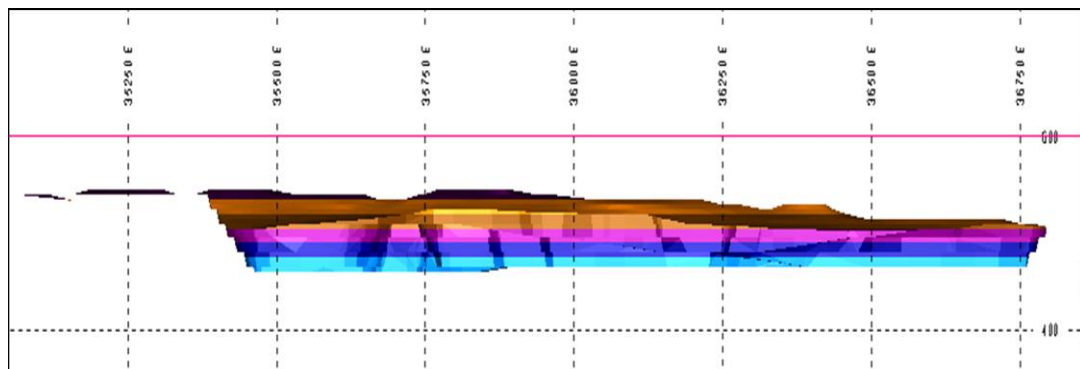
Toda la información que nos sumista este solido está plasmado en la tabla 16, en la cual se muestran las toneladas y grados químicos de los distintos tipos de material asociados al yacimiento

Tabla 15 Reservas Recuperables del Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
	Alto tenor Conforme	8.734.680	50,98	3,75	1,05	4,99	0,051	0,029
MPNC	Alto tenor No Conforme	1.048.711	58,06	6,79	2,78	7,40	0,061	0,036
	Bajo Tenor Friable	8.055.061	49,63	23,72	1,42	3,87	0,061	0,032
	Bajo Tenor Duro	6.417.553	39,26	39,26	1,10	3,47	0,062	0,031
	Laterita	6.239.423	39,52	2,94	5,15	8,93	0,062	0,028
	Total MPNC	21.760.748	44,08	21,53	2,46	5,38	0,061	0,031
	Total	30.495.428	46,05	16,44	2,06	5,26	0,058	0,030
	Relacion de Excavacion	0,40 : 1						

4.2.2 Reservas Recuperables para Cada Nivel de Excavación

Para lograr detallar y entender el comportamiento del yacimiento Ricardo a medida que se va descendiendo, se le efectuó un cálculo de reservas recuperables a cada nivel de excavación, fraccionando por rodajas horizontales el sólido total, en la figura 4.8 se muestra el sólido de reservas una vez efectuado el fraccionamiento por rodajas, cada nivel de excavación posee un color propio.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.8 Sólido de la Fosa del cerro Ricardo Dividido por Niveles de excavacion

La figura 4.8 ha sido exagerada en su eje vertical para poder apreciar mejor los niveles de excavación. Ella nos muestra los niveles de excavación del Cerro Ricardo, a cada uno se le adjudico un color propio para diferenciarlo del resto, cada nivel posee una altura de 15 metros y en este diseño de fosa en particular se tendrán 6 niveles, comenzando desde la parte superior con el nivel 535, siendo seguido por los niveles 520, 505, 490, 475 y 460 respectivamente.

A continuación se muestran las tablas de reservas recuperables por nivel de excavación

Tabla 16 Reservas recuperables del Nivel 535, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 535	Alto Tenor Conforme	28.079	62,97	2,04	1,43	6,16	0,060	0,033
	Alto tenor No Conforme	37.163	60,59	1,70	3,05	8,58	0,061	0,059
	Bajo Tenor Friable	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	37.163	60,59	1,70	3,05	8,58	0,061	0,059
Total	65.242	61,61	1,85	2,35	7,54	0,061	0,048	
Relacion de Excavación		0,76 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Reservas Recuperables del Nivel 520, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 520	Alto Tenor Conforme	1.187.371	54,17	3,81	1,12	5,14	0,056	0,028
	Alto tenor No Conforme	369.513	59,13	4,11	2,99	8,32	0,064	0,042
	Bajo Tenor Friable	281.942	54,25	17,06	1,27	4,08	0,057	0,027
	Bajo Tenor Duro	7.213	40,53	32,05	2,56	7,40	0,064	0,023
	Laterita	284.020	42,81	20,46	6,78	11,52	0,068	0,026
	Total MPNC	942.688	52,61	13,12	3,61	8,01	0,06	0,03
Total	2.130.059	53,48	7,93	2,22	6,41	0,059	0,030	
Relacion de Excavación		1,26 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Reservas Recuperables del Nivel 505, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 505	Alto Tenor Conforme	2.903.900	52,30	3,72	1,08	4,86	0,054	0,028
	Alto tenor No Conforme	548.925	58,68	5,87	2,70	7,50	0,064	0,032
	Bajo Tenor Friable	1.711.884	51,78	20,57	1,44	3,93	0,058	0,029
	Bajo Tenor Duro	430.082	40,19	37,00	1,31	4,19	0,055	0,031
	Laterita	1.246.129	42,21	23,49	5,87	10,25	0,064	0,026
	Total MPNC	3.937.020	48,45	21,24	3,00	6,45	0,060	0,029
Total	6.840.920	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028	
Relacion de Excavación		0,74 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 reservas Recuperables del Nivel 490, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 490	Alto tenor Conforme	2.911.480	52,03	3,93	1,17	5,06	0,051	0,028
	Alto Tenor No Conforme	176.384	56,47	10,50	2,61	6,13	0,058	0,033
	Bajo Tenor Friable	3.203.306	49,85	23,29	1,49	3,91	0,060	0,032
	Bajo Tenor Duro	1.723.449	39,89	37,90	1,21	3,81	0,059	0,031
	Laterita	2.136.289	40,28	28,09	5,20	9,08	0,062	0,026
	Total MPNC	7.239.428	44,81	27,87	2,55	5,47	0,060	0,030
Total	10.150.908	46,88	21,01	2,15	5,35	0,058	0,029	
Relacion de Excavación		0,40 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Reservas Recuperables del Nivel 475, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 475	Alto Tenor Conforme	1.866.799	50,92	4,01	1,05	5,06	0,048	0,028
	Alto tenor No Conforme	127.609	56,65	10,38	2,73	5,88	0,050	0,025
	Bajo Tenor Friable	2.361.881	48,17	25,83	1,39	3,87	0,062	0,035
	Bajo Tenor Duro	2.725.293	39,28	39,37	1,07	3,35	0,063	0,031
	Laterita	1.894.667	37,15	33,82	4,82	8,20	0,062	0,027
	Total MPNC	7.109.450	41,98	32,87	2,20	4,86	0,06	0,03
Total	8.976.249	43,84	26,87	1,96	4,90	0,06	0,03	
Relacion de Excavación		0,26 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Reservas Recuperables del Nivel 460, Cerro Ricardo

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 460	Alto Tenor Conforme	572.009	54,29	5,36	1,07	5,95	0,052	0,047
	Alto tenor No Conforme	2.315	50,80	13,79	5,33	8,21	0,063	0,037
	Bajo Tenor Friable	965.282	48,31	26,08	1,30	3,51	0,061	0,033
	Bajo Tenor Duro	1.703.425	38,55	40,80	0,94	3,10	0,063	0,032
	Laterita	1.206.320	39,09	31,00	4,72	8,34	0,063	0,033
	Total MPNC	3.877.342	41,15	34,07	2,21	4,83	0,062	0,032
	Total	4.449.351	42,84	30,38	2,06	4,98	0,061	0,034
	Relacion de Excavacion	0,15 : 1						

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Resumen de las Reservas Recuperables por Nivel de Excavación

Para visualizar y relacionar mejor los niveles se organizaron los datos en la tabla 22, la cual es un resumen que permite observar los valores totales de toneladas y grados químicos por nivel del Cerro Ricardo

Tabla 22 Resumen de Reservas Recuperables por Nivel de Excavación, Cerro Ricardo

Nivel de Excavacion	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
535	65.242	61,61	1,85	2,35	7,54	0,061	0,048
520	2.130.059	53,48	7,93	2,22	6,41	0,059	0,030
505	6.840.920	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028
490	10.150.908	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029
475	8.976.249	43,84	26,87	1,96	4,90	0,059	0,031
460	4.449.351	42,84	30,38	2,06	4,98	0,061	0,034
TOTAL	32.612.729	43,06	15,37	1,92	4,92	0,05	0,03

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Secuencia De Excavación Anualizada

4.2.4.1 Calculo Del Tonelaje Ideal A Extraer Por Año

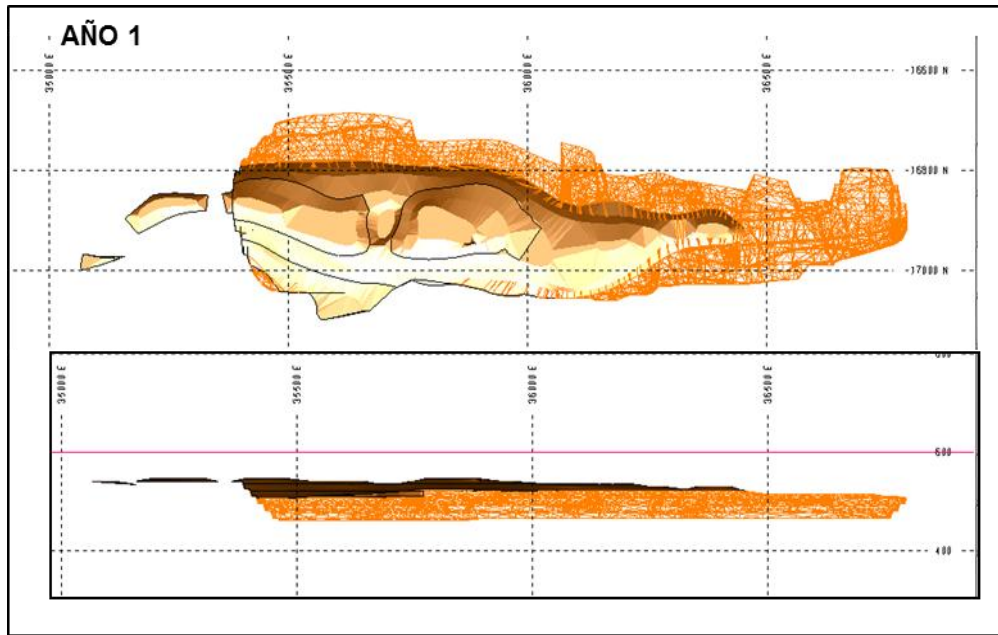
Para obtener este valor hay que aplicar la ecuación 1

$$TI = \text{toneladas totales} / \text{años de explotación}$$

En este caso las toneladas totales son 32.612.729, sustituimos este valor en la ecuación

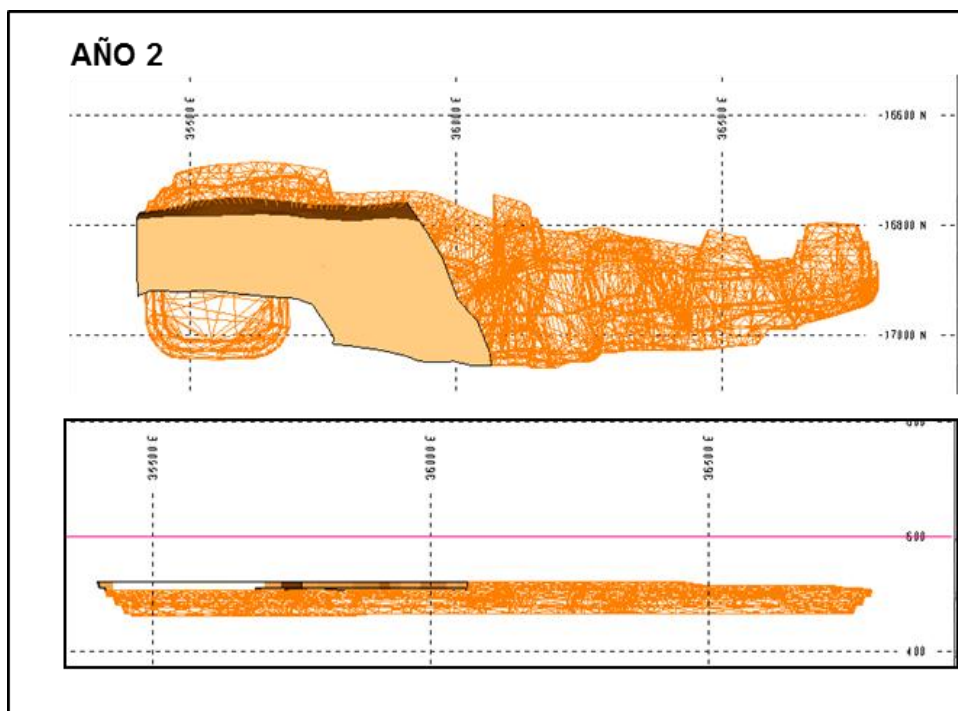
$$TI = 32.612.729 / 10 \quad TI = 3.261.273$$

Con el valor TI, se realizan los cortes tratando en lo posible que las toneladas de dichos cortes se aproximen lo más posible a este valor y de esa forma se definen las metas de producción anuales. A continuación se muestran los cortes realizados desde una vista de planta y una vista de perfil. Ver figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18



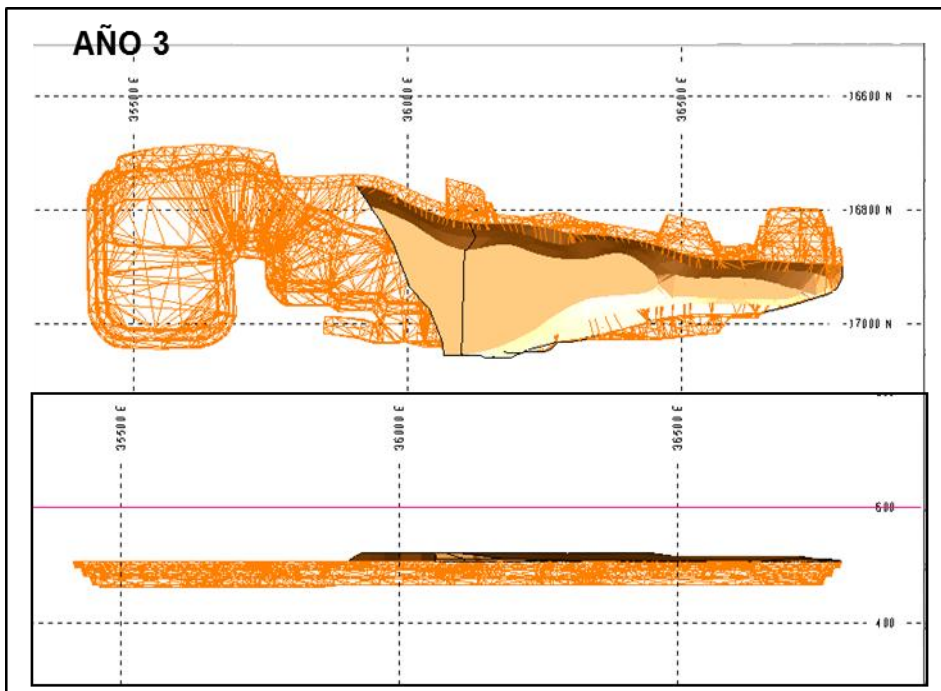
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.9 Vista del Corte para el año 1 de excavacion, Cerro Ricardo



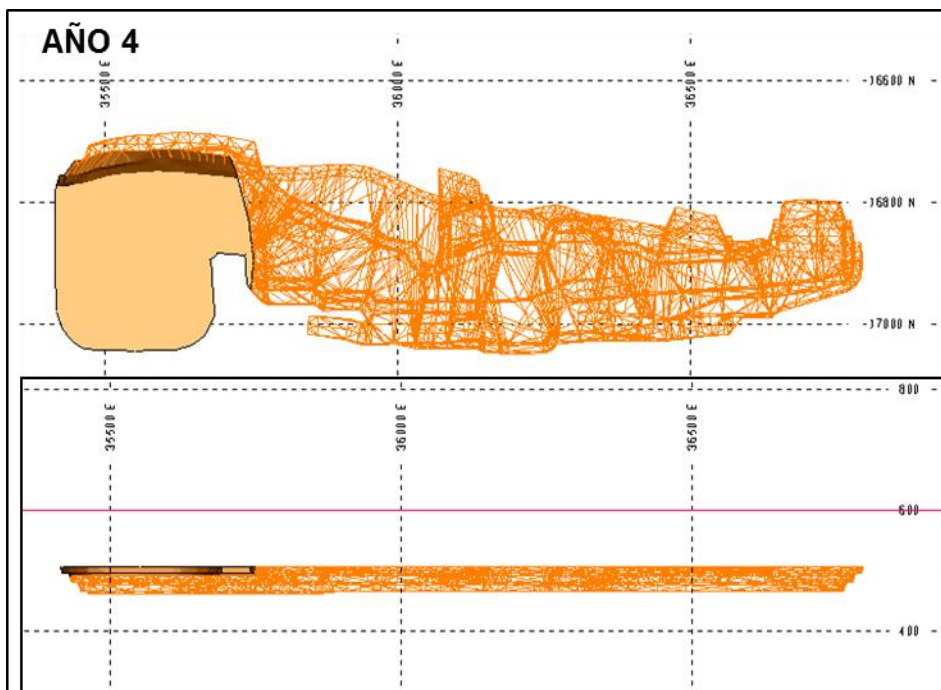
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.10 Vista del corte para el año 2 de excavacion, Cerro Ricardo



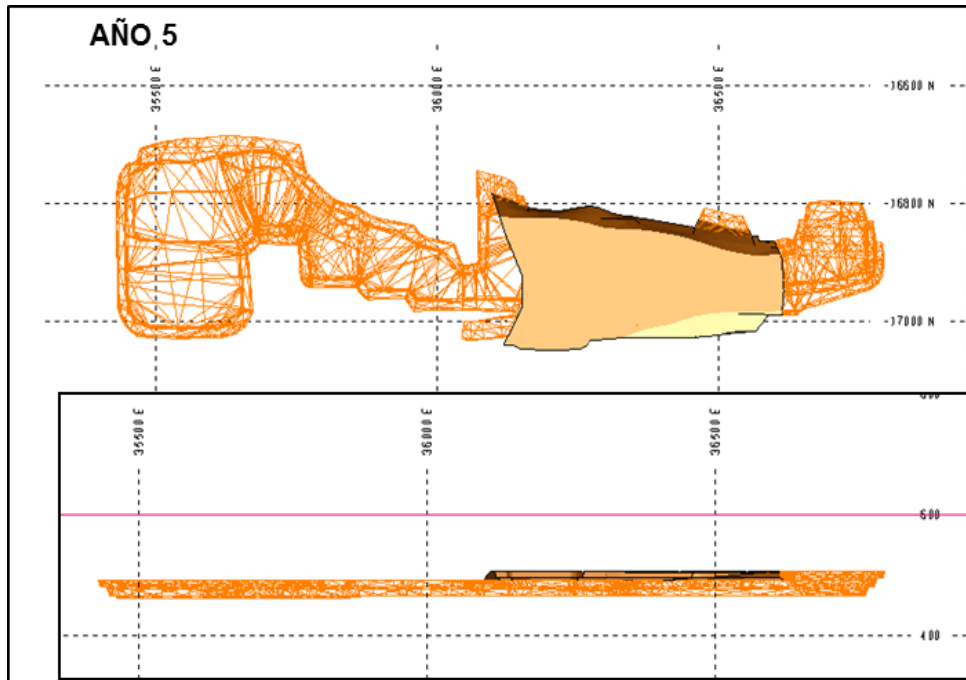
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.11 Vista del corte para el año 3 de excavacion, Cerro Ricardo



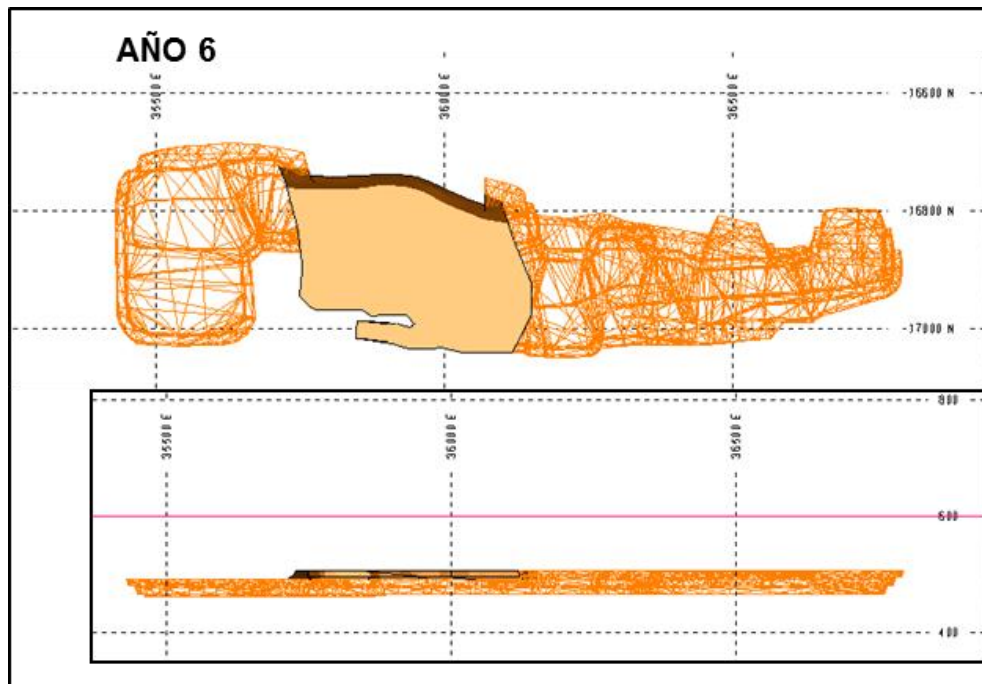
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.12 Vista del corte para el año 4 de excavacion, Cerro Ricardo



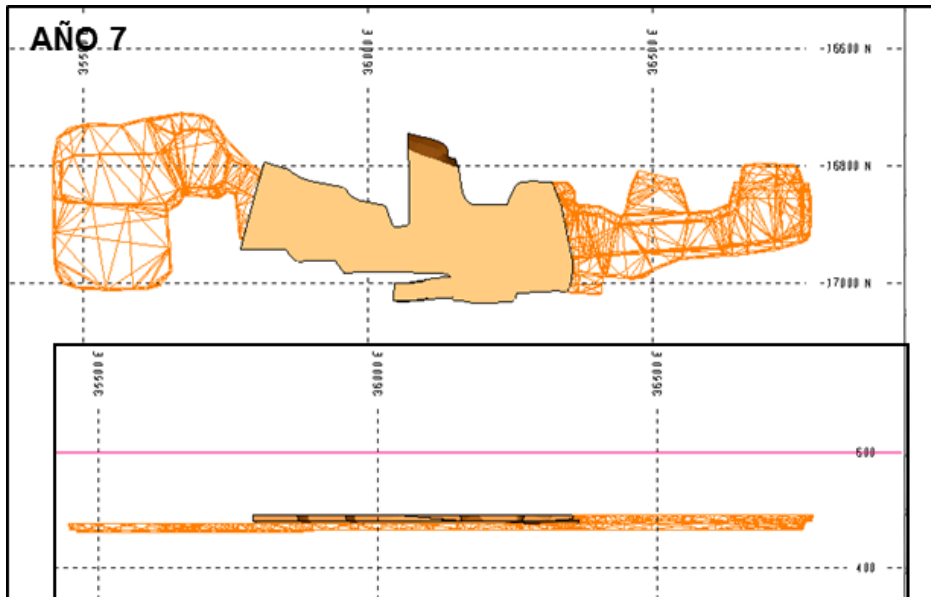
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.13 Vista del corte para el año 5 de excavacion, Cerro Ricardo

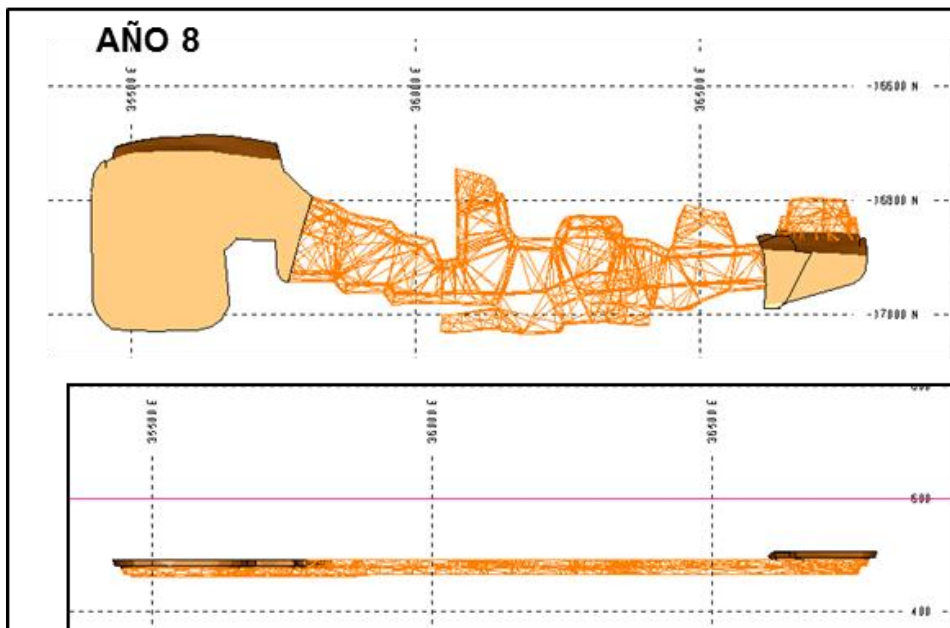


Fuente: Elaboración propia

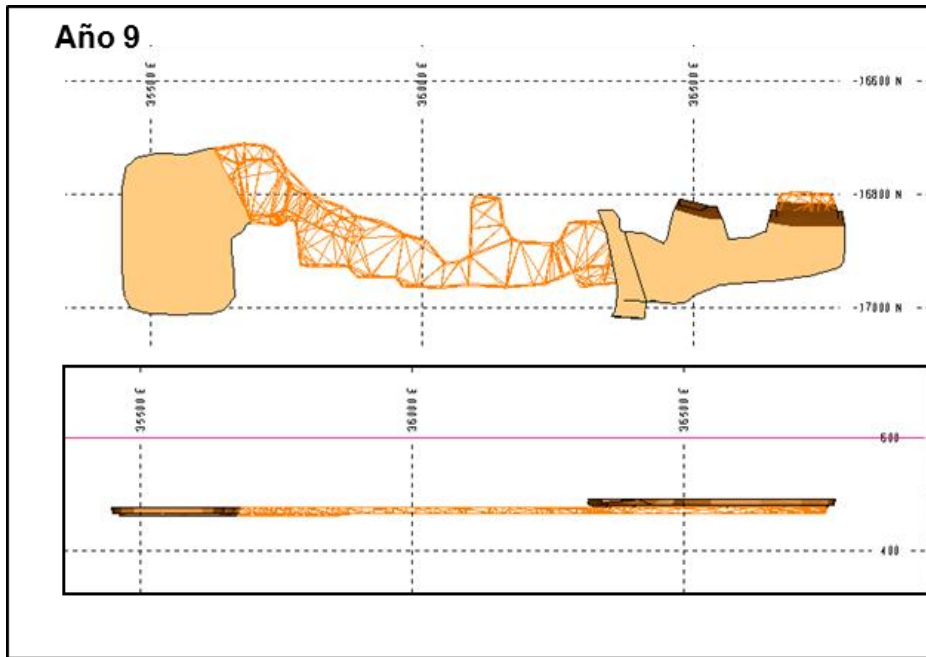
FIGURA 4.14 Vista del corte para el año 6 de excavacion, Cerro Ricardo



Fuente FIGURA 4.15 Vista del corte para el año 7 de excavacion, Cerro Ricardo

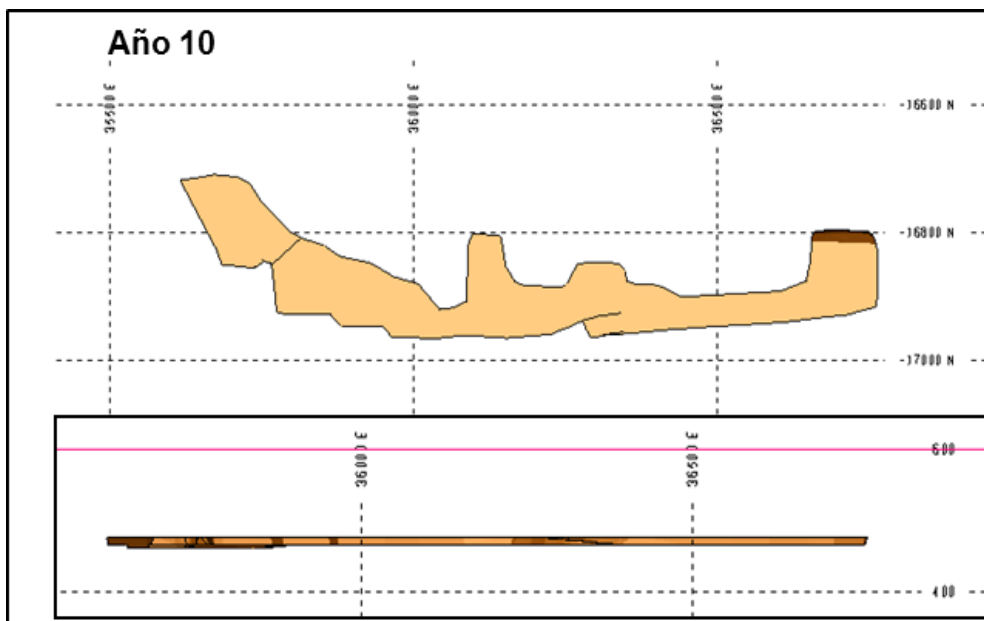


Fuente FIGURA 4.16 Vista del corte para el año 8 de excavacion, Cerro Ricardo



Fuente: Elaboración propia

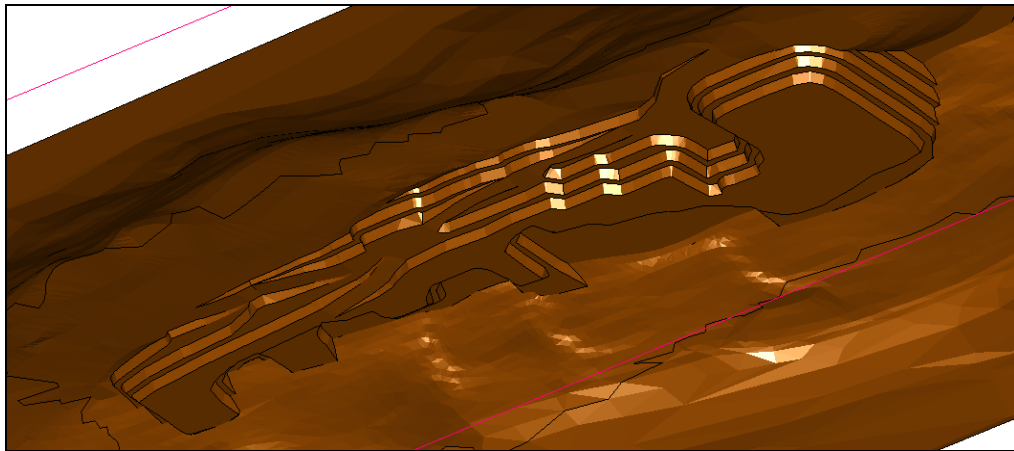
FIGURA 4.17 Vista del corte para el año 9 de excavacion, Cerro Ricardo



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.18 Vista del corte para el año 10 de excavacion, Cerro Ricardo

En la figura 4.19 se puede apreciar cómo queda la topografía una vez culminada la excavación



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.19 Modificación de la Topografía una vez culminada la fosa de excavación, Cerro Ricardo

4.2.4.2 Resumen De Las Toneladas Y Grados Químicos De La Secuencia De Excavación Anualizada

La tabla 23 muestra los cortes realizados para cada año de excavación con su respectivo tonelaje y grado químico

Tabla 23 Cortes Por Año de Excavación, Cerro Ricardo

Año	Nivel	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	PPC	P	Mn
1	535-1	65.242	61,61	1,85	2,35	7,54	0,061	0,048
	520-1	2.130.059	53,48	7,93	2,22	6,41	0,059	0,030
	505-1	730.560	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028
	TOTAL	2.925.861	52,81	9,26	2,22	6,28	0,059	0,030
2	505-2	3.036.125	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028
3	505-3	3.074.235	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028
4	490-4	3.316.087	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029
5	490-5	3.295.021	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029
6	490-6	3.309.872	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029
7	490-7	229.928	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029
	475-7	3.287.006	43,84	26,87	1,96	4,90	0,059	0,031
	TOTAL	3.516.934	43,97	26,47	1,97	4,92	0,059	0,030
8	475-8	3.374.021	43,84	26,87	1,96	4,90	0,059	0,031
9	475-9	2.315.222	43,84	26,87	1,96	4,90	0,059	0,031
	460-9	1.122.300	42,84	30,38	2,06	4,98	0,061	0,034
	TOTAL	3.437.522	43,51	28,01	2,00	4,93	0,060	0,032
10	460-10	3.327.051	42,84	30,38	2,06	4,98	0,061	0,034
		32.612.729						

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 se puede observar el resumen de las toneladas y grados químicos excavados por año, cabe destacar que todos los tonelajes que posee la tabla son las llamadas metas de producción anuales, además la tabla posee una columna nombrada Toneladas Acumuladas, que no es más que el tonelaje acumulado a través de los años, evidentemente el tonelaje del último año debe coincidir con el total de reservas recuperables en el yacimiento.

Tabla 24 Resumen de las Toneladas y Grados Químicos por Año de Excavación, Cerro Ricardo

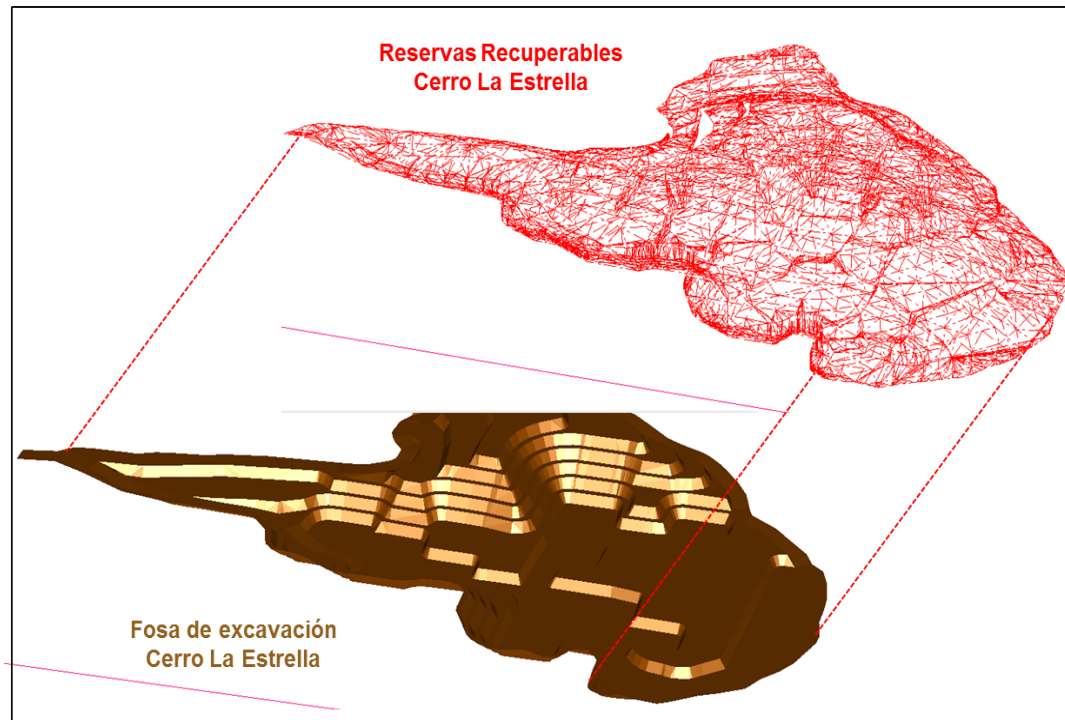
Año	Toneladas	%Fe	%SiO2	%Al2O3	PPC	P	Mn	Toneladas acumuladas
1	2.925.861	52,81	9,26	2,22	6,28	0,059	0,030	2.925.861
2	3.036.125	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028	5.961.986
3	3.074.235	50,08	13,80	2,19	5,78	0,058	0,028	9.036.221
4	3.316.087	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029	12.352.308
5	3.295.021	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029	15.647.329
6	3.309.872	45,90	20,82	2,11	5,24	0,056	0,029	18.957.201
7	3.516.934	43,97	26,47	1,97	4,92	0,059	0,030	22.474.135
8	3.374.021	43,84	26,87	1,96	4,90	0,059	0,031	25.848.156
9	3.437.522	43,51	28,01	2,00	4,93	0,060	0,032	29.285.678
10	3.327.051	42,84	30,38	2,06	4,98	0,061	0,034	32.612.729

Fuente: Elaboración propia

4.3 Cerro La Estrella

4.3.1 Reservas Recuperables Del Cerro La Estrella Y Grados Químicos Correspondientes

Las reservas recuperables para el Cerro La Estrella se encuentran ilustradas en la figura 4.20 se muestra el sólido al cual nos referimos.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.20 Vista de la Fosa de Excavacion y del solido que Representa las Reservas Recuperables del Cerro LA Estrella

Toda la información que nos sumista este solido está plasmado en la tabla 25, en la cual se muestran las toneladas y grados químicos de los distintos tipos de material asociados al yacimiento

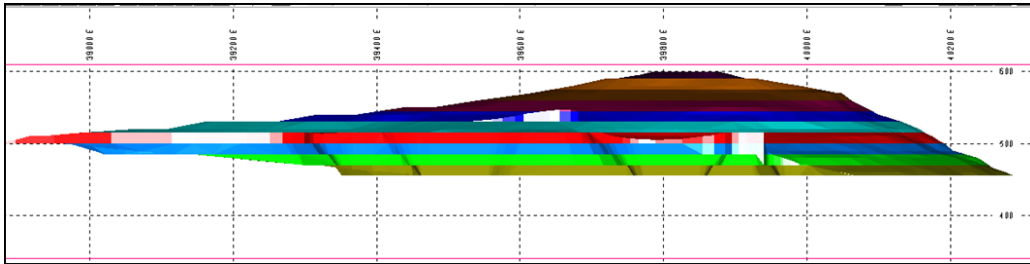
Tabla 25 Reservas Recuperables del Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
	Alto tenor Conforme	40.509.642	54,12	3,46	1,07	3,25	0,052	0,020
MPNC	Alto tenor No Conforme	823.192	57,60	7,26	3,46	6,90	0,065	0,026
	Bajo Tenor Friable	18.591.367	50,66	23,18	1,52	2,85	0,059	0,023
	Bajo Tenor Duro	15.636.605	42,70	35,15	1,35	2,20	0,053	0,021
	Laterita	23.676.103	34,04	31,49	9,08	10,71	0,064	0,025
	Total MPNC	58.727.267	41,94	29,49	4,55	5,90	0,059	0,023
	Total	99.236.909	46,91	18,87	3,13	4,82	0,056	0,022
	Relacion de Excavacion	0,69 : 1						

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Reservas Recuperables Para Cada Nivel De Excavación

Para lograr detallar y entender el comportamiento del yacimiento La Estrella a medida que se va descendiendo, se le efectuó un cálculo de reservas recuperables a cada nivel de excavación, fraccionando por rodajas horizontales el sólido total, en la figura 4.21 se muestra el sólido de reservas una vez efectuado el fraccionamiento por rodajas, cada nivel de excavación posee un color propio.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.21 Sólido de la Fosa del Cerro La Estrella Dividido por niveles Excavacion

La figura 4.21 Nos muestra los niveles de excavación del Cerro La Estrella, a cada uno de estos niveles se le adjudico un color propio para diferenciarlo del resto, cada nivel posee una altura de 15 metros y en este diseño de fosa en particular se tendrán 10 niveles, comenzando desde la parte superior con el nivel 590, siendo seguido por los niveles 575, 560, 545, 530, 515, 500, 485, 470 y 455 respectivamente.

A continuación se muestran las tablas de reservas recuperables por nivel de excavación:

Tabla 26 Reservas Recuperables del Nivel 590, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 590	Alto Tenor Conforme	302.689	43,78	1,99	1,00	3,88	0,042	0,010
	Alto tenor No Conforme	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Bajo Tenor Friable	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total	302.689	43,78	1,99	1,00	3,88	0,042	0,010
	Relacion de Excavacion	100% :1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Reservas Recuperables del Nivel 575, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 575	Alto Tenor Conforme	1.883.846	49,38	1,58	1,12	4,55	0,053	0,014
	Alto tenor No Conforme	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Bajo Tenor Friable	111.238	54,32	18,32	1,25	2,77	0,046	0,016
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Total MPNC	111.238	54,32	18,32	1,25	2,77	0,046	0,016
Total	1.995.084	49,66	2,52	1,13	4,45	0,052	0,014	
Relacion de Excavacion		16,94 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Reservas Recuperables del Nivel 560, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 560	Alto Tenor Conforme	4.076.806	55,85	2,05	1,14	4,32	0,051	0,017
	Alto tenor No Conforme	8.651	45,87	10,44	9,84	14,11	0,057	0,025
	Bajo Tenor Friable	400.637	53,42	20,08	1,24	2,29	0,057	0,019
	Bajo Tenor Duro	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
	Laterita	191.980	46,51	11,10	9,13	13,24	0,057	0,024
	Total MPNC	601.268	51,10	17,08	3,89	5,96	0,057	0,021
Total	4.678.074	55,24	3,98	1,50	4,53	0,052	0,018	
Relacion de Excavacion		6,78 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Reservas Recuperables del Nivel 545, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 545	Alto tenor Conforme	6.544.117	54,98	2,84	1,13	3,32	0,050	0,018
	Alto Tenor No Conforme	9.050	58,22	6,89	3,18	6,68	0,072	0,016
	Bajo Tenor Friable	732.131	52,38	21,53	1,26	2,31	0,054	0,021
	Bajo Tenor Duro	186.379	47,60	28,34	1,17	2,42	0,056	0,021
	Laterita	1.008.643	39,68	19,72	9,58	13,92	0,057	0,024
	Total MPNC	1.936.203	45,33	21,18	5,60	8,39	0,056	0,022
Total	8.480.320	52,78	7,03	2,15	4,48	0,051	0,019	
Relacion de Excavacion		3,38 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Reservas Recuperables del Nivel 530, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 530	Alto Tenor Conforme	7.262.470	55,56	2,91	1,10	3,19	0,051	0,019
	Alto tenor No Conforme	185.105	60,37	5,00	3,26	5,41	0,068	0,027
	Bajo Tenor Friable	2.151.622	52,34	21,72	1,28	2,15	0,054	0,022
	Bajo Tenor Duro	628.985	44,27	32,74	1,27	2,67	0,054	0,020
	Laterita	2.211.390	37,15	23,63	9,50	13,71	0,060	0,027
	Total MPNC	5.177.102	45,16	23,28	4,86	7,27	0,06	0,02
Total	12.439.572	51,23	11,38	2,67	4,89	0,05	0,02	
Relacion de Excavacion		1,40 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Reservas Recuperables del Nivel 515, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 515	Alto Tenor Conforme	7.626.765	54,21	3,36	1,01	3,16	0,050	0,020
	Alto tenor No Conforme	131.314	57,30	7,72	3,50	6,84	0,061	0,027
	Bajo Tenor Friable	2.981.856	50,91	23,34	1,36	2,50	0,053	0,022
	Bajo Tenor Duro	1.348.923	44,26	33,35	1,02	2,33	0,049	0,021
	Laterita	3.261.792	31,15	33,49	9,45	12,47	0,060	0,024
	Total MPNC	7.723.885	41,51	29,11	4,76	6,75	0,055	0,022
Total	15.350.650	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021	
Relacion de Excavacion		0,99 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Reservas Recuperables del Nivel 500, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 500	Alto Tenor Conforme	5.693.777	53,39	4,60	1,01	2,83	0,056	0,020
	Alto tenor No Conforme	293.739	56,78	7,97	3,21	7,60	0,063	0,027
	Bajo Tenor Friable	3.901.672	50,55	23,56	1,38	2,77	0,054	0,022
	Bajo Tenor Duro	2.741.414	43,98	33,78	1,08	2,25	0,052	0,021
	Laterita	4.479.054	30,02	36,04	9,36	11,62	0,061	0,025
	Total MPNC	11.415.879	41,08	30,51	4,49	6,24	0,057	0,023
	Total	17.109.656	45,18	21,89	3,33	5,11	0,056	0,022
	Relacion de Excavacion	0,50 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Reservas Recuperables del Nivel 485, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 485	Alto Tenor Conforme	3.110.606	52,54	4,63	0,98	2,66	0,055	0,021
	Alto tenor No Conforme	55.824	56,42	5,97	4,72	8,62	0,066	0,022
	Bajo Tenor Friable	3.851.548	50,62	22,78	1,62	3,21	0,064	0,023
	Bajo Tenor Duro	3.669.286	42,41	35,92	1,15	2,27	0,052	0,021
	Laterita	5.335.181	33,40	33,45	8,89	9,86	0,064	0,025
	Total MPNC	12.911.839	41,19	30,85	4,50	5,72	0,060	0,023
	Total	16.022.445	43,40	25,76	3,82	5,12	0,059	0,023
	Relacion de Excavacion	0,24 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Reservas Recuperables del Nivel 470, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 470	Alto Tenor Conforme	2.677.100	54,55	5,57	1,12	2,75	0,057	0,023
	Alto tenor No Conforme	110.715	56,57	9,46	3,43	6,20	0,068	0,024
	Bajo Tenor Friable	2.595.749	48,49	25,16	2,08	3,41	0,067	0,024
	Bajo Tenor Duro	4.035.037	41,81	35,80	1,68	2,72	0,054	0,022
	Laterita	4.961.130	35,90	30,83	8,95	8,85	0,070	0,026
	Total MPNC	11.702.631	40,92	31,08	4,87	5,50	0,064	0,024
	Total	14.379.731	43,46	26,33	4,17	4,99	0,063	0,024
	Relacion de Excavacion	0,23 : 1						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Reservas Recuperables del Nivel 455, Cerro La Estrella

	Tipo de Mena	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Nivel 455	Alto Tenor Conforme	1.331.467	51,59	5,64	1,09	2,79	0,052	0,024
	Alto tenor No Conforme	28.796,00	58,97	5,79	3,03	6,85	0,067	0,024
	Bajo Tenor Friable	1.864.913	50,16	23,47	1,51	3,26	0,069	0,024
	Bajo Tenor Duro	3.026.582	41,79	36,29	1,59	2,34	0,054	0,022
	Laterita	2.226.932	37,01	31,04	8,13	7,86	0,070	0,027
	Total MPNC	7.147.223	42,55	31,19	3,61	4,32	0,063	0,024
	Total	8.478.690	43,97	27,18	3,22	4,08	0,06	0,02
	Relacion de Excavacion	0,19 : 1						

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Resumen De Las Reservas Recuperables Por Nivel De Excavación

Para visualizar y relacionar mejor los niveles se organizaron los datos en la tabla 36, la cual es un resumen que permite observar los valores totales de toneladas y grados químicos por nivel del Cerro La Estrella:

Tabla 36 Resumen de las Reservas Recuperables por Nivel de Excavacion, Cerro La Estrella

Nivel de Excavacion	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
565	302.689	43,78	1,99	1,00	3,88	0,042	0,010
550	1.995.084	49,66	2,52	1,13	4,45	0,052	0,014
535	4.678.074	55,24	3,98	1,50	4,53	0,052	0,018
520	8.480.320	52,78	7,03	2,15	4,48	0,051	0,019
505	12.439.572	51,23	11,38	2,67	4,89	0,053	0,021
490	15.350.650	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021
475	17.109.656	45,18	21,89	3,33	5,11	0,056	0,022
460	16.022.445	43,40	25,76	3,82	5,12	0,059	0,023
445	14.379.731	43,46	26,33	4,17	4,99	0,063	0,024
430	8.478.690	43,97	27,18	3,22	4,08	0,061	0,024
Total	99.236.909	46,91	18,87	3,13	4,82	0,056	0,022

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Secuencia De Excavación Anualizada

4.3.4.1 Calculo Del Tonelaje Ideal A Extraer Por Año

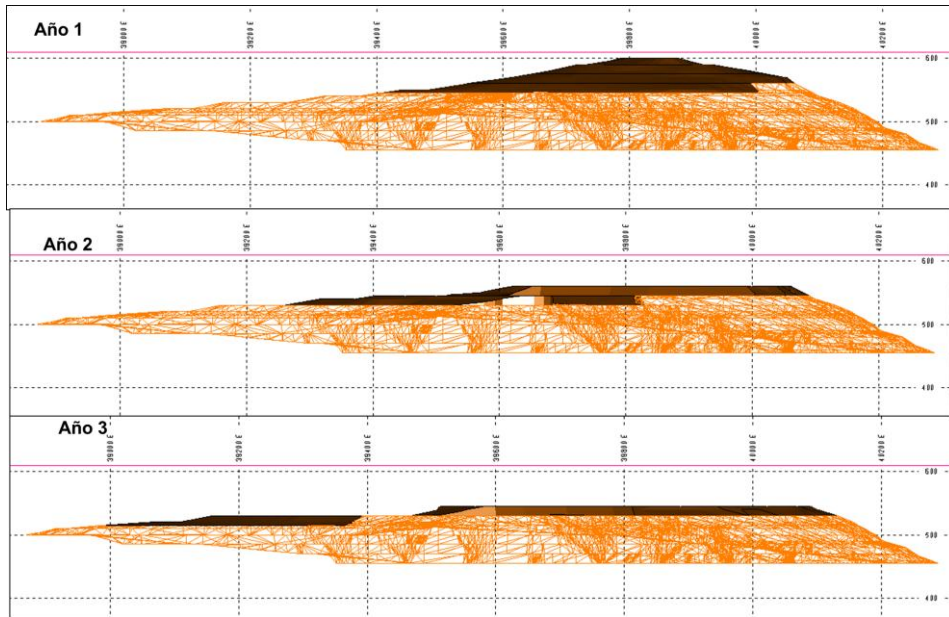
Para obtener este valor hay que aplicar la ecuación 1

$$TI = \text{toneladas totales} / \text{años de explotación}$$

En este caso las toneladas totales son 99.236.911, sustituimos este valor en la ecuación

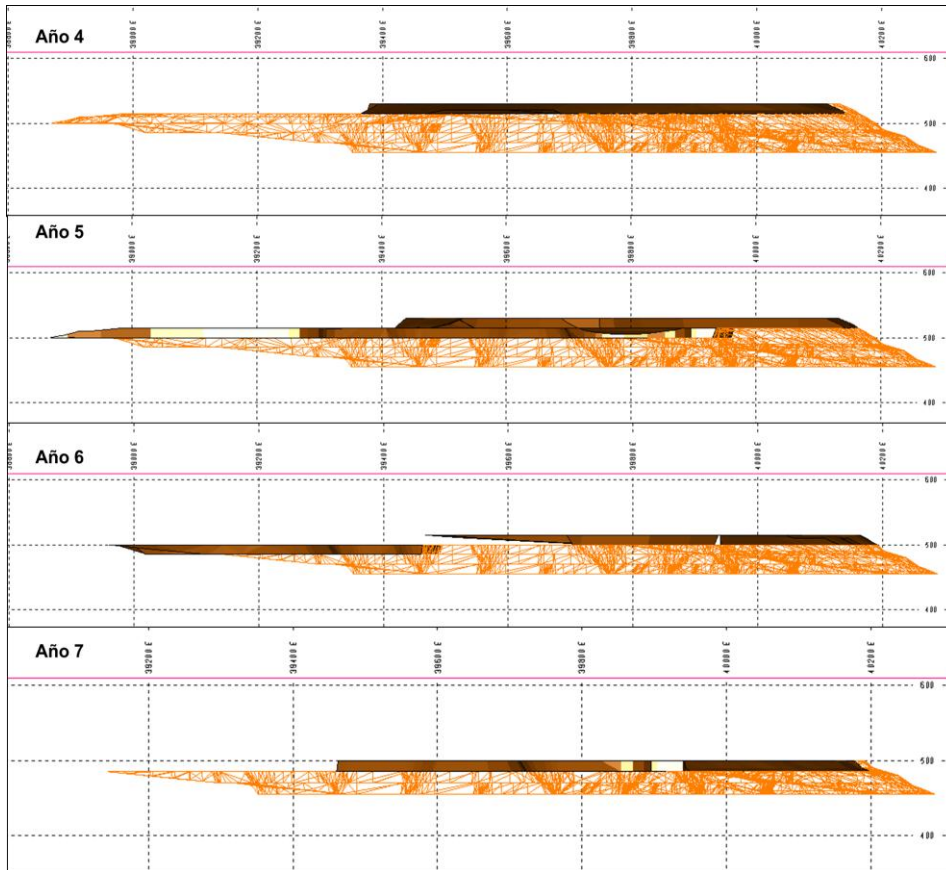
$$TI = 99.236.911 / 10 \quad TI = 9.923.691$$

Con el valor TI, se realizan los cortes tratando en lo posible que las toneladas de dichos cortes se aproximen lo más posible a este valor y de esa forma se definen las metas de producción anuales. A continuación se muestran los cortes realizados desde una vista de planta y una vista de perfil. Ver figuras 4.22, 4.23 y 4.24



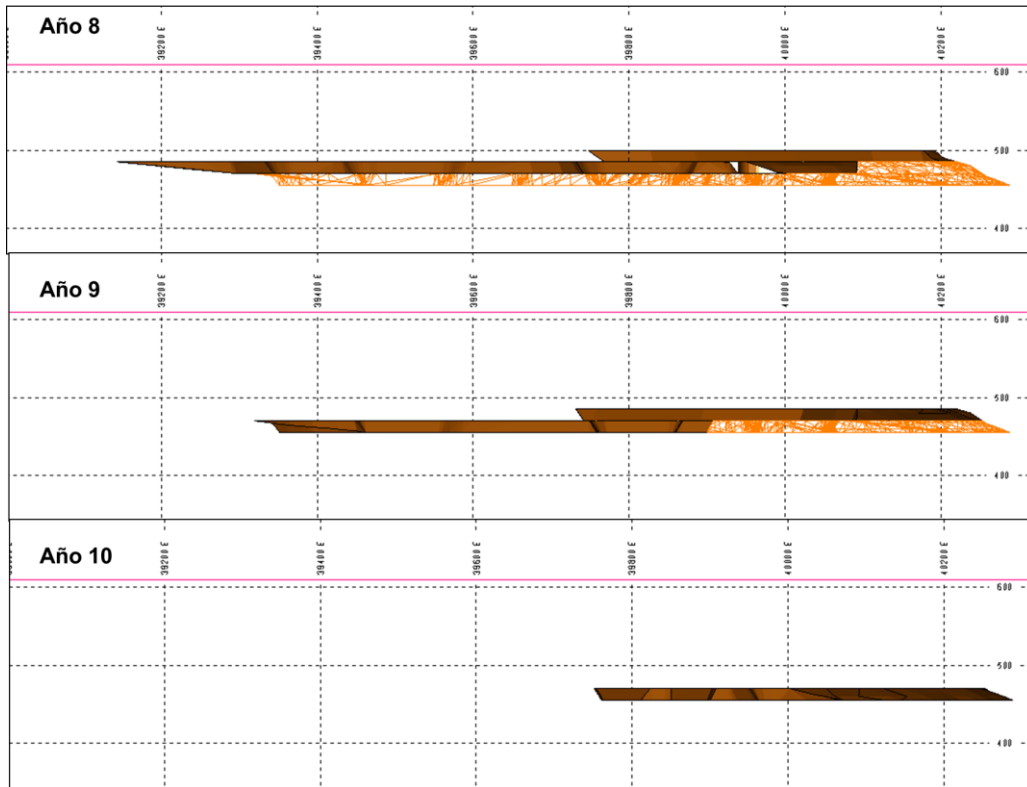
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.22 Secuencia de Excavacion desde el Año 1 hasta el Año 3. Cerro La Estrella



Fuente: Propia

FIGURA 4.23 Secuencia de Excavacion Desde el Año 4 Hasta el Año 7, Cerro La Estrella



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.24 Secuencia de Excavacion Desde el Año 8 Hasta el Año 10, Cerro La Estrella

En la figura 4.24 se puede apreciar cómo queda la topografía una vez culminada la excavación

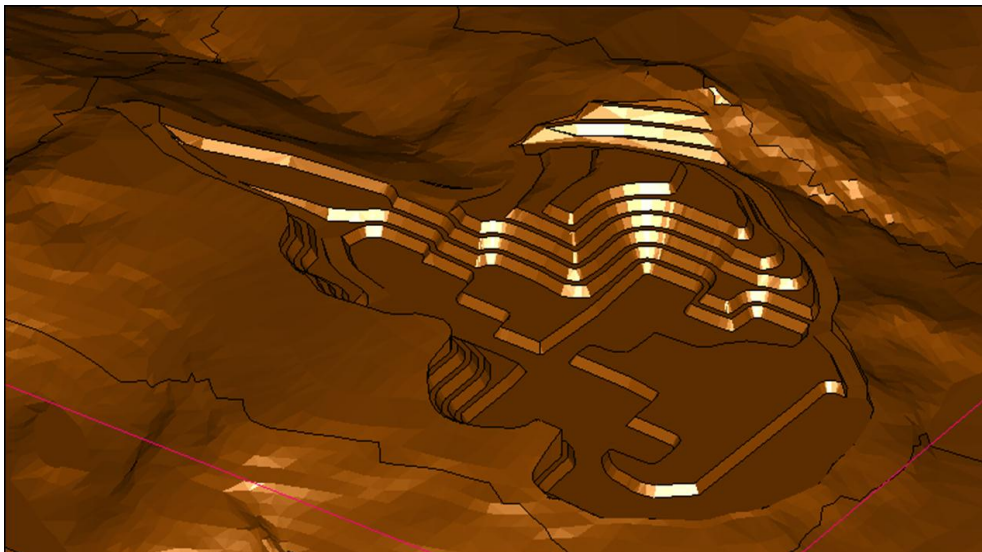


FIGURA 4.25 Modificacion de la Topografia Una Vez Culmnada la Fosa, Cerro La Estrella

4.3.4.2 Resumen De Las Toneladas Y Grados Químicos De La Secuencia De Excavación Anualizada

La tabla 40 muestra los cortes realizados para cada año de excavación con su respectivo tonelaje y grado químico

Tabla 37 Cortes por Año de Excavación, Cerro La Estrella

	Nivel- Año	Toneladas	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
1	565-1	302.689	43,78	1,99	1,00	3,88	0,042	0,010
	550-1	1.995.084	49,66	2,52	1,13	4,45	0,05	0,014
	535-1	3.425.100	55,24	3,98	1,50	4,53	0,052	0,018
	TOTAL	5.722.873	52,69	3,37	1,34	4,47	0,051	0,016
2	535-2	1.252.974	55,24	3,98	1,50	4,53	0,052	0,018
	520-2	3.820.025	52,78	7,03	2,15	4,48	0,051	0,019
	TOTAL	5.072.999	53,38	6,27	1,99	4,49	0,051	0,019
3	520-3	4.660.295	52,78	7,03	2,15	4,48	0,051	0,019
	505-3	912.310	51,23	11,38	2,67	4,89	0,053	0,021
	TOTAL	5.572.605	52,52	7,74	2,23	4,54	0,052	0,020
4	505-4	6.205.650	51,23	11,38	2,67	4,89	0,053	0,021
5	505-5	3.848.837	51,23	11,38	2,67	4,89	0,053	0,021
	490-5	2.150.055	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021
	TOTAL	5.998.892	50,01	13,15	2,75	4,92	0,053	0,021
6	490-6	6.054.085	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021
7	490-7	7.146.510	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021
	475-7	3.005.860	45,18	21,89	3,33	5,11	0,056	0,022
	TOTAL	10.152.370	47,04	17,97	3,02	5,01	0,054	0,022
8	475-8	14.103.796	45,18	21,89	3,33	5,11	0,056	0,022
	460-8	1.576.080	43,40	25,76	3,82	5,12	0,059	0,023
	TOTAL	15.679.876	45,00	22,28	3,38	5,11	0,057	0,022
9	460-9	14.446.365	43,40	25,76	3,82	5,12	0,059	0,023
	455-9	1.632.000	43,46	26,33	4,17	4,99	0,063	0,024
	TOTAL	16.078.365	43,40	25,82	3,85	5,11	0,060	0,023
10	455-10	12.747.731	43,46	26,33	4,17	4,99	0,063	0,024
	430-10	8.478.690	43,97	27,18	3,22	4,08	0,061	0,024
	TOTAL	21.226.421	43,66	26,67	3,79	4,63	0,062	0,024
		97.764.136						

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38 se puede observar el resumen de las toneladas y grados químicos excavados por año, cabe destacar que todos los tonelajes que posee la tabla son las llamadas metas de producción anuales, además la tabla posee una columna nombrada Toneladas Acumuladas, que no es más que el tonelaje acumulado a través de los años, evidentemente el tonelaje del último año debe coincidir con el total de reservas recuperables en el yacimiento.

Tabla 38 Resumen de las Toneladas y Grados Químicos por Año de Excavación, Cerro La Estrella

								Toneladas
año	tonelada	%Fe	%SiO2	%Al2O3	PPC	P	Mn	Acumuladas
1	10.085.905	53,01	4,57	1,61	4,48	0,051	0,017	10.085.905
2	10.352.527	52,00	4,69	1,64	3,45	0,235	0,209	20.438.432
3	10.323.390	50,28	6,10	1,59	3,07	0,327	0,304	30.761.822
4	10.903.609	47,82	16,32	2,89	4,97	0,053	0,021	41.665.431
5	10.445.962	45,58	21,04	3,26	5,09	0,056	0,022	52.111.393
6	10.454.996	44,80	18,22	3,64	4,15	0,051	0,018	62.566.389
7	10.622.652	43,40	4,53	4,78	0,59	0,030	0,004	73.189.041
8	10.420.514	43,44	19,66	4,36	3,64	0,053	0,018	83.609.555
9	10.114.209	43,61	26,58	3,89	4,72	0,062	0,024	93.723.764
10	5.513.147	43,97	27,18	3,22	4,08	0,061	0,024	99.236.911

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V
ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CERRO REDONDO

5.1.1 Análisis Sobre Las Reservas Recuperables Del Grupo Redondo

Las reservas recuperables para el Cerro Redondo calculadas a partir del diseño de su fosa de excavación arrojo como resultado que se pueden recuperar 59.139.381 Toneladas de material con una relación de excavación de 2,69:1, donde el primer valor representa la mena y el segundo representa el estéril, estos datos se encuentran representados en la tabla 1, la cual es la base de este análisis.

Basándome en la Tabla 1 la cual representa las “Reservas Recuperables” del Cerro Redondo” he generado dos gráficas, la primera de ella refleja la distribución porcentual de los diferentes tipos de material presentes en el yacimiento (alto tenor, bajo tenor friable, bajo tenor duro y laterita), mientras que la segunda tabla refleja los grados químicos asociados a estas reservas recuperables, representados como porcentajes (%Fe, %SiO₂, %Al₂O₃, %PPC, %P y %Mn). Ver Graficas 1 y 2



Gráfica 1 Distribucion Porcentual de los Tipos de Material presentes en el Cerro Redondo

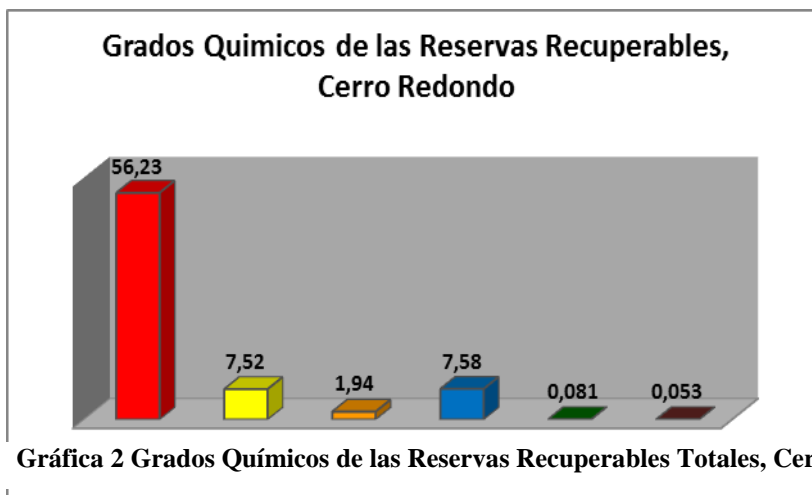
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1 se observa que las reservas recuperables están constituidas mayoritariamente por material de alto tenor el cual representa el 73% del total de toneladas, esto vendría siendo 43.095.137 toneladas de material.

A continuación se presenta los parámetros químicos o rangos de tenores para que un material sea considerado de buena calidad y sea aceptado por el mercado.

	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Rango	55-70	0-15	0-2	0-10	0-0,200	0-0,500

En la gráfica 2 se muestran los grados químicos de las reservas recuperables del Cerro redondo



Gráfica 2 Grados Químicos de las Reservas Recuperables Totales, Cerro Redondo

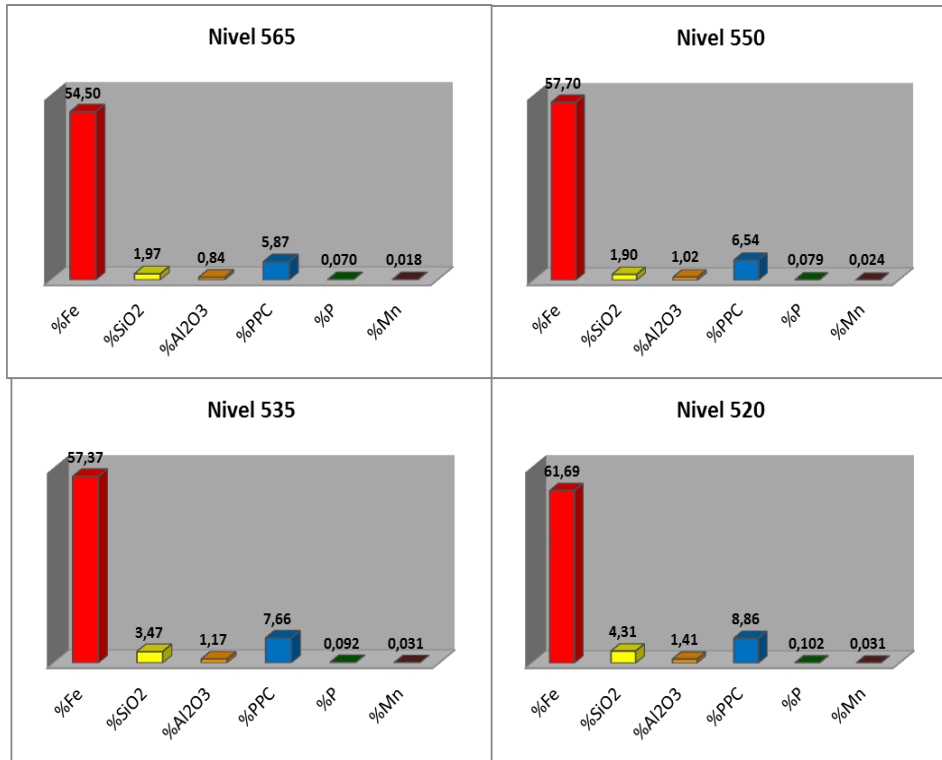
Fuente: Elaboración propia

Comparando la gráfica 2 con los parámetros químicos ideales, se evidencia que esta cumple con todos los parámetros exigidos, puesto que cada valor de sus porcentajes está dentro de los rangos establecidos, aunque el valor de Al₂O₃ está muy cercano al límite superior de su rango.

5.1.2 Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro Redondo

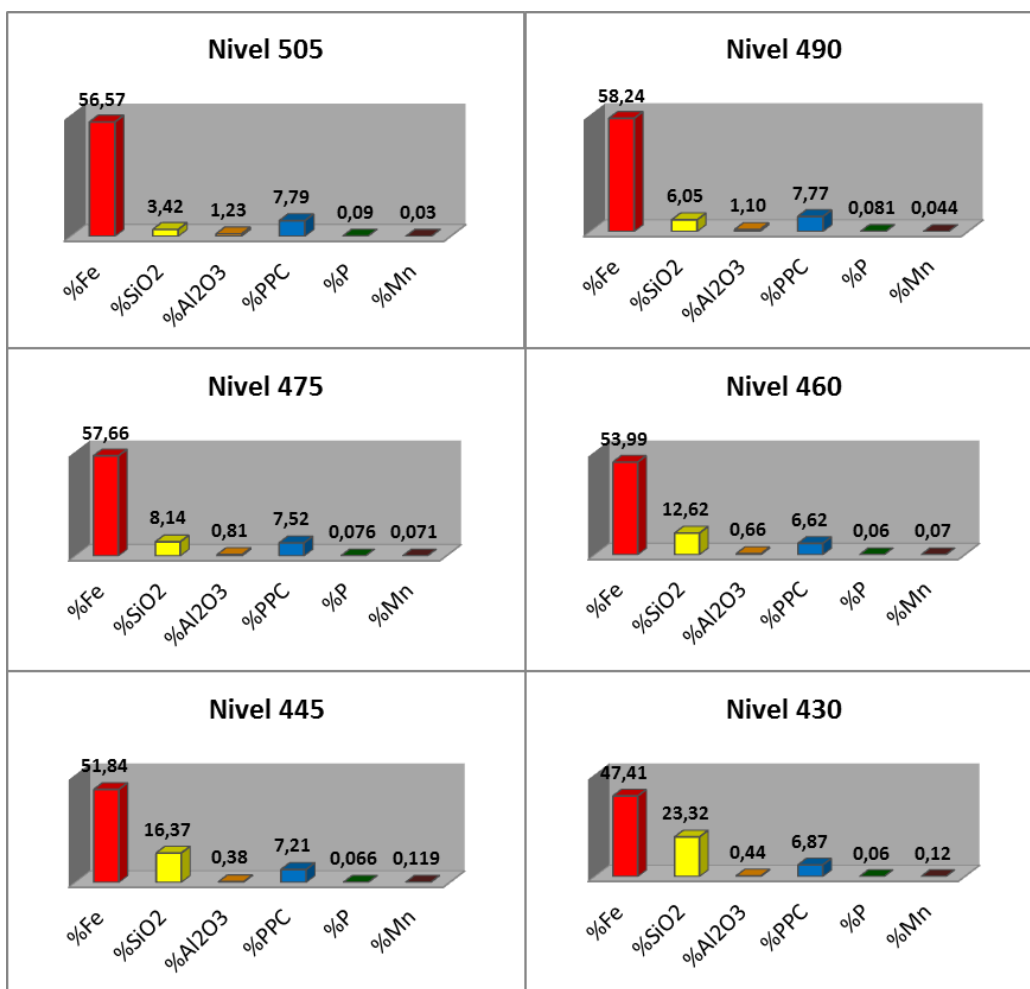
El Diseño de la fosa en el Cerro Redondo posee 10 niveles de excavación, los cuales se analizan por separado para lograr discernir el comportamiento a medida que se profundiza en los niveles, para ello se elaboraron graficas a partir de las tablas correspondientes a cada nivel y se comparan con los rangos de grados químicos requeridos. Las tablas que sirvieron de base para generar los gráficos fueron la tabla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 para generar las gráficas de

los niveles 565, 550, 535, 520, 505, 490, 475, 460, 445 y 430 respectivamente.
Ver grafica 3 y 4.



Gráfica 3 Grados Químicos del nivel 565 hasta el nivel 520, Cerro Redondo

F1



Fuente: Elaboración propia

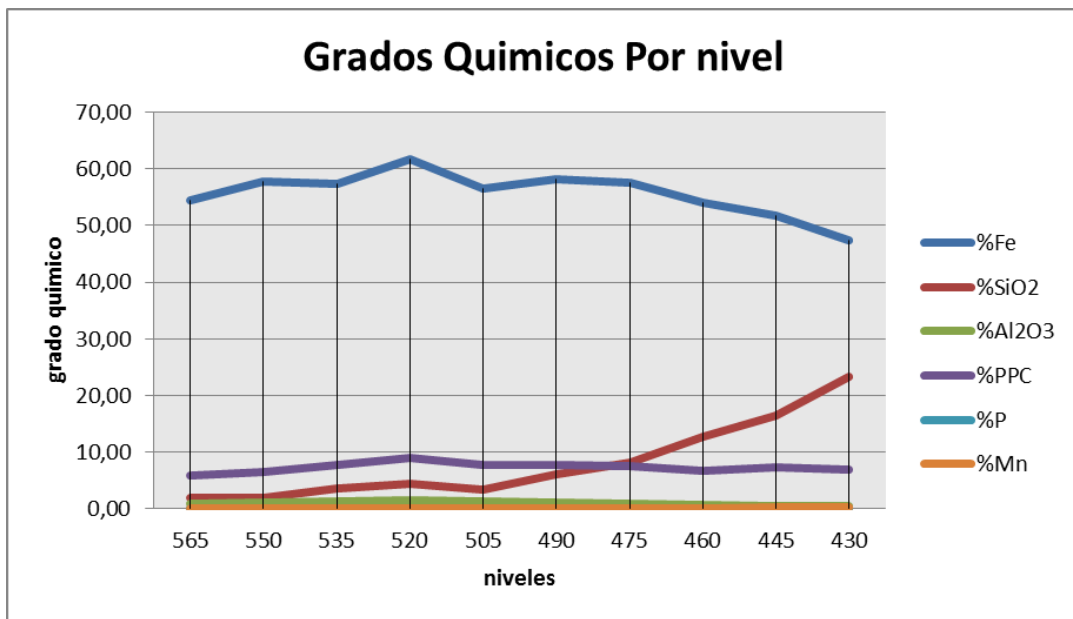
Gráfica 4 Grados Químicos del Nivel 505 hasta el Nivel 430, Cerro Redondo

Al comparar los grados químicos de cada nivel de excavación con los parámetros, se nota que 6 de los 10 niveles cumplen perfectamente con estos rangos, los 4 restantes que se salen de los rangos son:

- ✓ Nivel 565: este nivel si bien es el nivel superior presenta la particularidad de que su tenor de Fe es 54,5 % quedando por debajo del mínimo requerido que es 55%, por otro lado los porcentajes de SiO₂, Al₂O₃, PPC, P y Mn son muy bajos lo que es muy favorable.
- ✓ Nivel 445: este nivel posee dos parámetros desfavorables el primero de ellos es que su tenor de Fe está por debajo del límite inferior requerido

51,84%, mientras que la concentración de sílice es superior al límite superior requerido 16,37.

- ✓ Nivel 430: este es el último nivel de excavación y por ende es el que aporta menos toneladas y al igual que el nivel anterior (460) este no cumple con dos de los parámetros, ya que posee bajo de tenor de Fe y alta concentración de Sílice.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5 Grados Químicos Por Nivel, Cerro Redondo

En la gráfica 5 se muestra el comportamiento de los grados químicos a través de los niveles de excavación, como puntos importantes se puede destacar, en primer lugar que la concentración de alúmina (Al_2O_3), PPC, P y Mn se mantienen constantes y en el rango exigido a lo largo de los niveles de excavación, en segundo lugar hablaremos la sílice (SiO_2), este elemento en particular presenta un incremento de su concentración a medida que se va profundizando en sus niveles, su menor concentración está en el nivel 565 que es el nivel superior mientras que su mayor concentración se presenta en el último nivel de excavación (430), por último hablaremos de la concentración de Fe la cual está representada por la curva de color azul, en esta se evidencia que luego

del primer nivel (565) esta se mantiene constante entre los niveles 550 y 475 para luego descender armónicamente en los últimos niveles.

Detallando la tabla 12 “Resumen de Reservas Recuperables por Nivel de Excavación, Cerro redondo” se observa que los niveles que poseen más tonelaje son los niveles 505 y 490 con valores de tonelaje de 10.966.797 y 11.190.648 respectivamente, estos dos niveles cumplen a plenitud con todos los parámetros requeridos, por otro lado los niveles que aportan menor tonelaje son los niveles 565, 550, 445 y 430, siendo los dos últimos niveles los que presentan bajos tenores de Fe y altos tenores de Sílice, pero como su carga porcentual en términos de toneladas es poca en comparación con los demás niveles, los parámetros totales no son afectados en gran medida por estos dos niveles. En la tabla 39 se muestran las toneladas que aportan cada nivel de excavación.

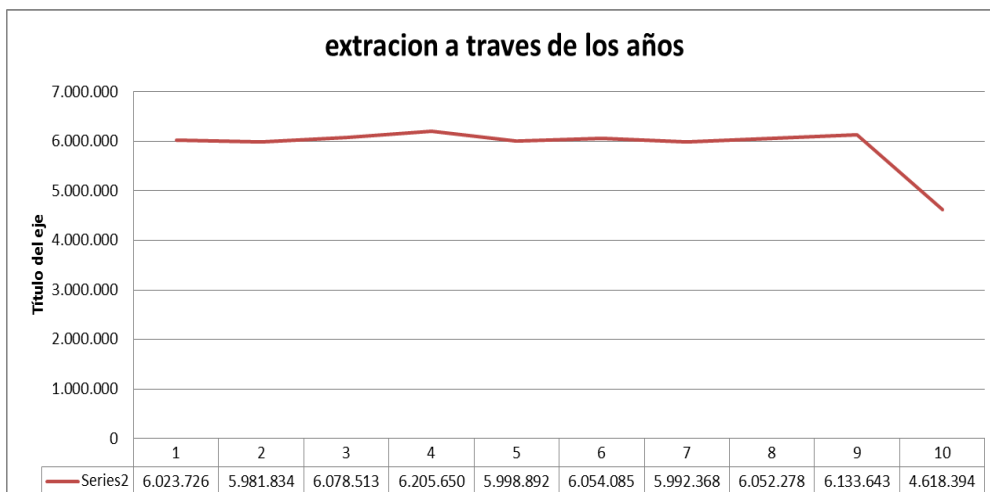
Tabla 39 Toneladas por Nivel de Excavacion, Cerro Redondo

565	229.891
550	2.368.735
535	5.586.909
520	8.986.228
505	10.966.797
490	11.190.648
475	7.482.058
460	6.077.723
445	3.709.292
430	2.541.102

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro Redondo

Este análisis se efectuó sobre la tabla 13 “Cortes Realizados Por Año de Excavación, Cerro Redondo” y la tabla 14 “Resumen de las Toneladas y Grados químicos por Año de Excavación, Cerro Redondo” generando a partir de ellas dos graficas que permiten una mejor interpretación de los datos obtenidos, la primera de ella es la gráfica 6 en la cual se refleja el patrón de explotación durante la vida de la mina en relación a las toneladas extraídas por año.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6 Extracción a través de los años, Cerro Redondo

En la tabla 6 se puede observar que las toneladas extraídas por año se mantienen en un rango constante aproximado a los 6 millones de toneladas anuales, este patrón es de esperarse ya que los cortes realizados sobre los niveles de excavación del Cerro Redondo se realizaron garantizando que el tonelaje fuese aproximado a 5.913.938 que es valor TI (Tonelaje Ideal) que no es más que el resultado de dividir las toneladas totales recuperables del yacimiento dividido entre los diez (10) años de explotación, esto nos da un patrón para realizar los cortes y como se evidencia este patrón se pudo realizar para cada año, exceptuando al año 10 en el cual se extraerán 4.618.394 toneladas, esto se debe a que en los 9 años previos los cortes están por encima del valor (TI) y esa diferencia luego se refleja en el último año de extracción.

Por otro lado los valores de toneladas para cada año representan las metas de producción anual, es decir todas las fases siguientes a este estudio deben garantizar que estas metas se cumplan a plenitud en la tabla 40 se muestran la recopilación de esas metas de producción así como las toneladas acumuladas por año que no es más que la sumatoria acumulada para cada año y representan las metas de producción que deben alcanzarse a medida que pasan los años de explotación.

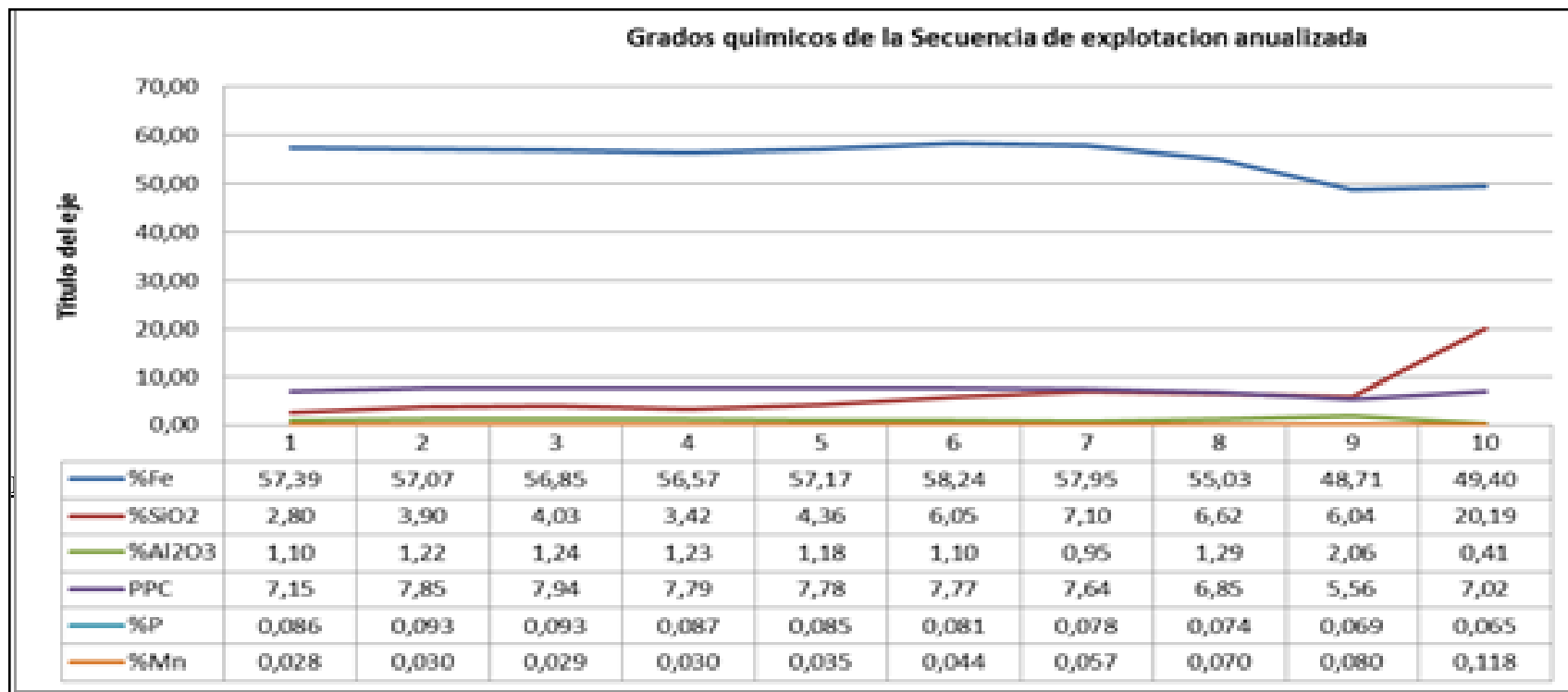
Tabla 40 resumen de toneladas por año, Cerro Redondo

año	Toneladas anuales	toneladas acumuladas
1	6.023.726	6.023.726
2	5.981.834	12.005.560
3	6.078.513	18.084.073
4	6.205.650	24.289.723
5	5.998.892	30.288.615
6	6.054.085	36.342.700
7	5.992.368	42.335.068
8	6.052.278	48.387.346
9	6.133.643	54.520.989
10	4.618.394	59.139.383

Fuente: Elaboración propia

Como es de esperarse las toneladas acumuladas para el año 10, deben coincidir con las toneladas totales recuperables, puesto que para ese año se acaba la explotación. En este caso son 59.139.383 toneladas

A continuación se presenta la gráfica 7 en ella se muestran el comportamiento de los grados químicos a través de los años de explotación, es decir, como varían los tenores en la secuencia de excavación anualizada. Cabe destacar que esta grafica fue generada con los datos suministrados de la tabla 14 descrita en el capítulo IV.



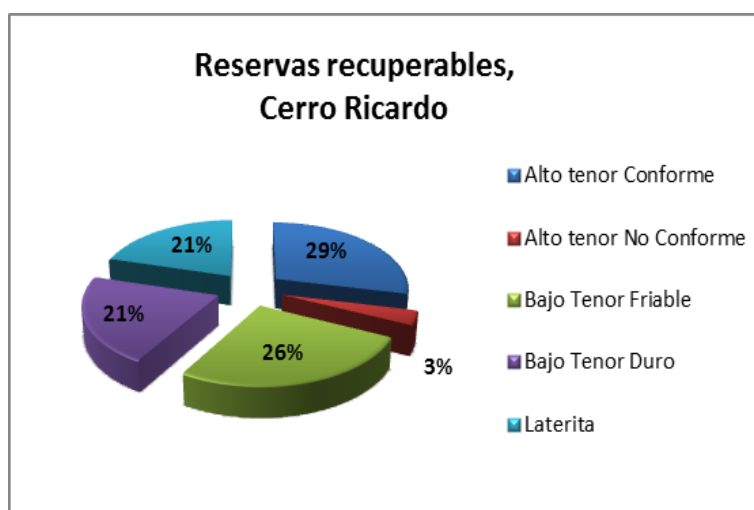
Gráfica 7 Grados Quimicos de la Secuencia de Excavacion anualizada

En la gráfica se observa que los porcentajes de Al_2O_3 , PPC y P se mantienen con poca variación, es decir, marcan una tendencia a lo largo de la explotación y dentro del rango exigido, mientras que para los valores de Fe y SiO_2 también se mantienen regulares hasta llegar a los últimos años de explotación donde el porcentaje de hierro desciende mientras que el porcentaje de sílice sube drásticamente.

5.2 CERRO RICARDO

5.2.1 Análisis Sobre Las Reservas Recuperables, Cerro Ricardo

Las reservas recuperables del Cerro Ricardo están plasmadas en la tabla 15, la cual establece que al culminar de extraer el material de la fosa se tendrán 32.612.729 toneladas de material con una relación de excavación de 0,40 : 1, donde el primer valor corresponde al valor de la mena y el segundo valor al estéril, dicho esto se puede afirmar que según esa relación existe mayor cantidad de estéril que de material mena, lo cual lo analizaremos con detalle, por otra parte la información de esos resultados se elaboraron dos graficas la primera de ella la gráfica 8, establece la distribución porcentual de los tipos de material presentes en el la fosa que se va a excavar y la gráfica 9 representan los grados químicos de las reservas recuperables totales.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8 Distribucion Porcentual de los Tipos de Material Presentes en el Cerro Ricardo

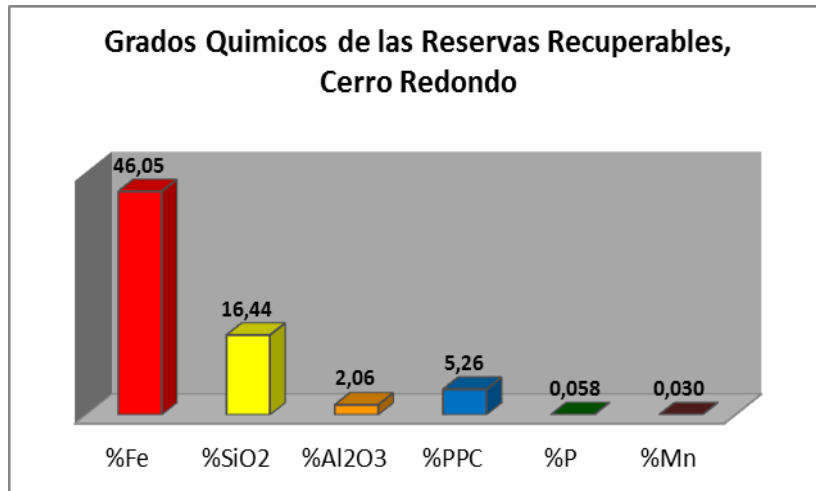
Detallando la gráfica 8, observamos que existe una distribución casi equitativa en los porcentajes de tipo de material, exceptuando el alto tenor no conforme, es decir, que los porcentajes de tipología de material están muy cercanos, aunque queda claro que el mayor porcentaje de estas toneladas corresponden a un material de alto tenor, no existe una diferencia muy grande en

relación a los materiales de bajo tenor friable, bajo tenor duro y laterita, a tal punto que la sumatoria de los porcentajes de estos últimos es mayor que la del porcentaje de alto tenor, de allí que la relación de excavación dio 0,40: 1, .es decir, que para extraer 40 toneladas de mena se deben extraer 100 toneladas de estéril.

Es importante resaltar que el material que se encuentran en los yacimientos del Distrito Ferrífero Piar, es un material todo en uno, es decir, que no existe una diferencia visual o clara de cuando un material es mena o estéril, esta clasificación se obtiene luego que el material es analizado químicamente y si los grados químicos cumplen con los parámetros de clasificación se considera que el material es mena, es importante aclarar este punto puesto que si un material es llamado estéril no significa que dicho material sea inservible o que no posea suficiente hierro, es todo lo contrario posee un tenor considerable de hierro pero inferior a los parámetros del establecidos, generalmente se realizan mezclas entre diferentes tipos de material para que el resultado sea un material que cumpla con los parámetros pero no exceda los mismos, es decir, que el material sea bueno, pero no excelente ya que esto traería pérdidas a la empresa, de allí la importancia de tener material de buena calidad y de calidad media para poder efectuar dichas mezclas y así aumentar la producción.

A continuación se presenta la gráfica 9, en ella se visualiza los grados químicos de las toneladas que se recuperaran los cuales serán comparados con los parámetros requeridos:

	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%PPC	%P	%Mn
Rango	55-70	0-15	0-2	0-10	0-0,200	0-0,500



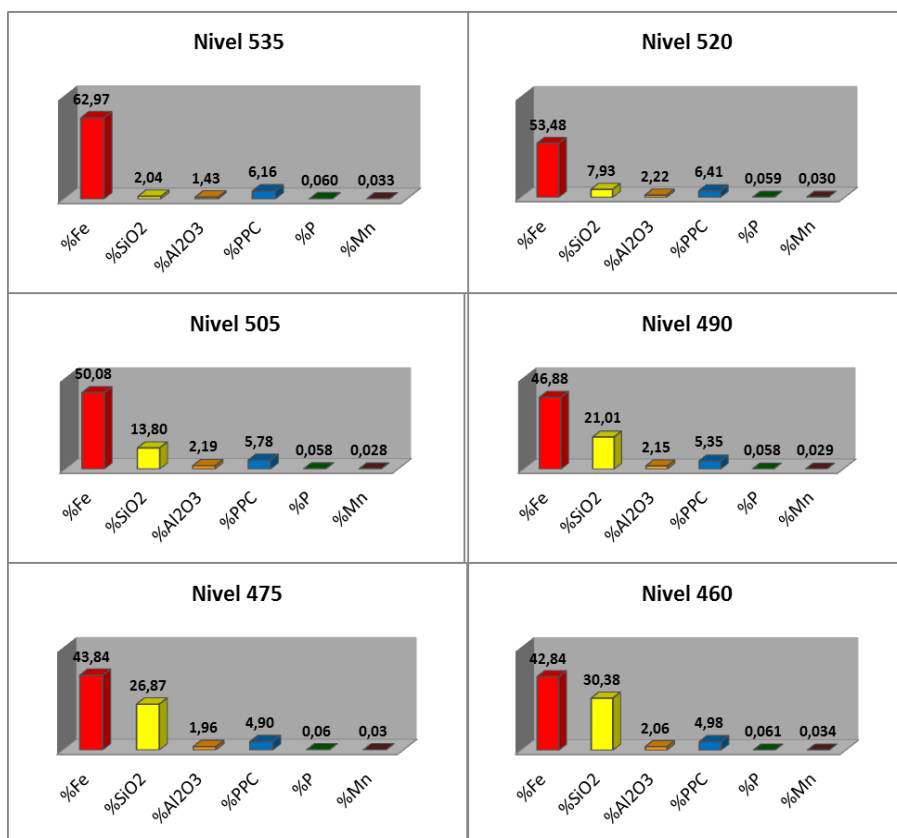
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9 Grados Químicos de las Reservas recuperables, Cerro Ricardo

Comparando grados químicos con los parámetros establecidos se evidencia que el material que se extraerán de la fosa no cumple con el mínimo %Fe requerido y excede el %SiO₂ y el %Al₂O₃ tolerable, el valor del tenor de Fe es 46,05 y el rango en el que debe estar es (55-70), mientras que la concentración de sílice es 15,37 debería de estar en el rango (0-15), por otro lado la alúmina no debería exceder el 2% y en ese caso si lo hace.

5.2.2 Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro Ricardo

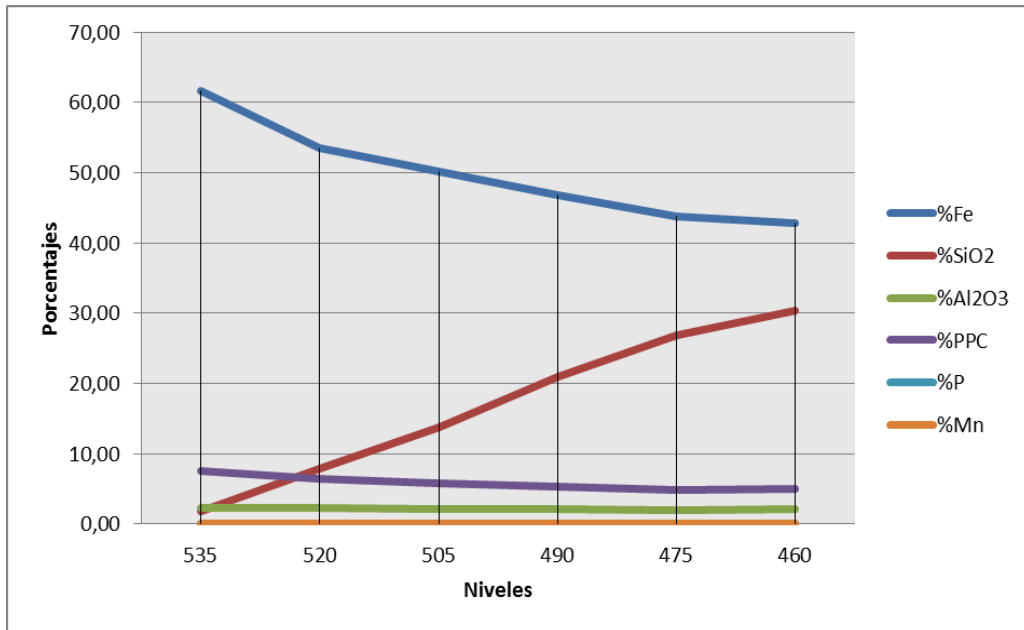
El Diseño de la fosa en el Cerro Ricardo posee 6 niveles de excavación, los cuales se analizan por separado para lograr discernir el comportamiento a medida que se profundiza en los niveles, para ello se elaboraron graficas a partir de las tablas correspondientes a cada nivel. Las tablas que sirvieron de base para generar los gráficos fueron las tablas 16, 17, 18, 19, 20 y 21 con ellas se generaron las gráficas que evalúan los niveles 535, 520, 505, 490, 475 y 460 respectivamente. Ver graficas 10 y 11



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10 Grados Químicos Por Niveles

Observando la gráfica 10, se pueden establecer tres (3) tendencias que están claramente identificadas a medida que se va descendiendo por los niveles, la primera de ella es que el tenor de hierro va decreciendo, como puntos de referencia tenemos los dos extremos en el nivel superior (535) el tenor de hierro es 62,97, mientras que en el último nivel (460) el valor es 42,84. La segunda tendencia es la concentración de sílice (SiO₂) esta es inversamente proporcional a la concentración de hierro puesto que esta va incrementándose a medida que descendemos de nivel, para el nivel superior la concentración de sílice es de 2,04 y para el ultimo nivel es 30,38, la cual es una gran variación. La tercera tendencia es que los valores de Al₂O₃, PPC, P y Mn se mantienen siempre en un rango constante sin variar mucho, este análisis se evidencia mejor en la gráfica 11 donde se trazan las líneas de tendencias que se describieron anteriormente

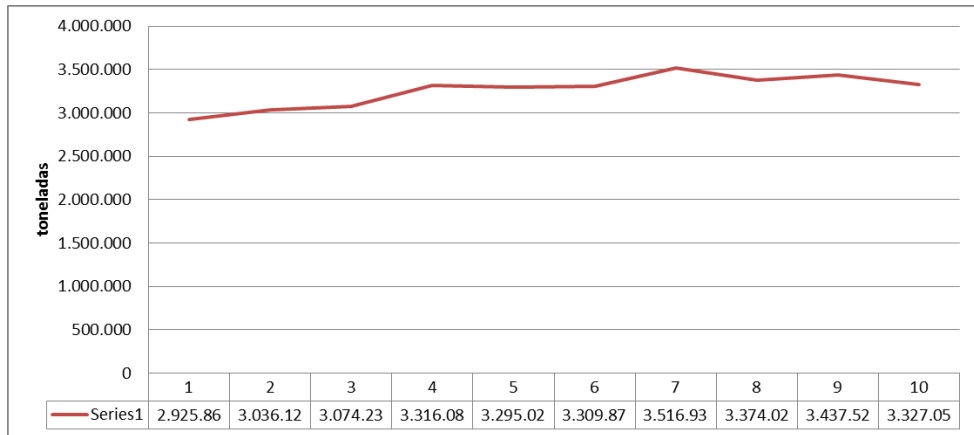


Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 11 Líneas de Tendencia de los Grados Químicos por Nivel, Cerro Ricardo

5.2.3 Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro Ricardo

Este análisis se efectuó sobre la tabla 23 “Cortes Realizados Por Año de Excavación, Cerro Ricardo” y la tabla 24 “Resumen de las Toneladas y Grados químicos por Año de Excavación, Cerro Ricardo”, generando a partir de ellas dos graficas que permiten una mejor interpretación de los datos obtenidos, la primera de ella es la gráfica 12 en la cual se refleja el patrón de explotación durante la vida de la mina en relación a las toneladas extraídas por año.

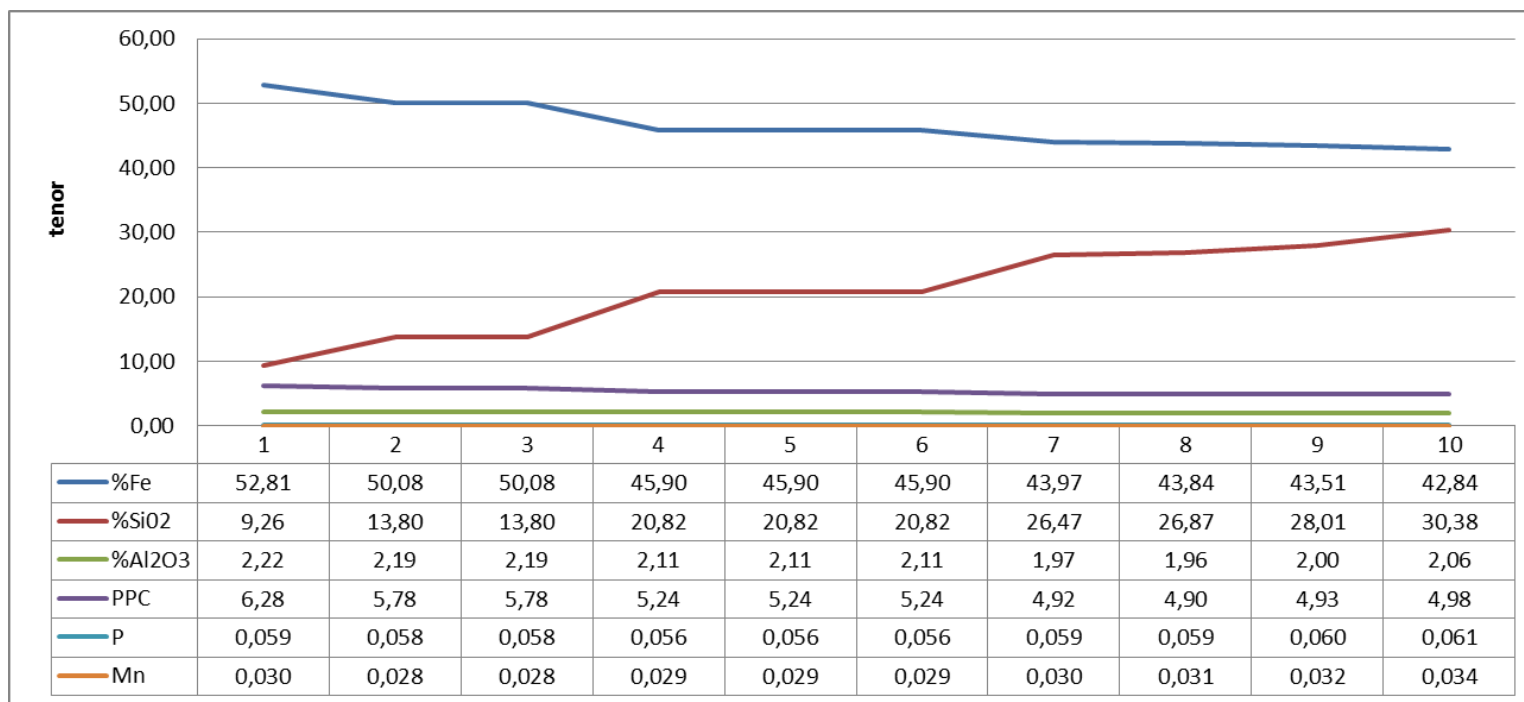


Fuente: Elaboración propia

Gráfica 12 Extracción a través de los años, Cerro Ricardo

La grafica 12 nos muestra la cantidad de material que se extraerá por año, como se puede observar estas toneladas se mantienen en un rango que va desde poca más de 2.9 millones de toneladas hasta los 3.5 millones de toneladas, esto ocurre porque previamente se realizó el cálculo de tonelaje ideal (TI), dando como resultado un valor de 3.221.154 toneladas, tomando este valor se realizaron los cortes anuales sobre cada nivel correspondiente tratando en lo posible de que los cortes arrojaran un tonelaje muy aproximado al del TI, al finalizar lo que se obtuvo fueron las metas de producción anual, a continuación se presenta un resumen que muestra las toneladas anuales (metas) y las toneladas acumuladas que también pueden ser consideradas como metas pero no anuales sino las metas que se deben alcanzar para cierto periodo de tiempo, es decir, transcurrido 3, 4, 5.. años.

Año	Toneladas anuales	Toneladas acumuladas
1	2925861	2925861
2	3036125	5851722
3	3074235	8887847
4	3316087	11962082
5	3295021	15278169
6	3309872	18573190
7	3516934	21883062
8	3374021	25399996
9	3437522	28774017
10	3327051	32211539



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13 Grados Químicos de la Secuencia de Excavacion Anualizada

En la gráfica se observa que los porcentajes de Al_2O_3 , PPC y P se mantienen con poca variación, es decir, marcan una tendencia a lo largo de la explotación y dentro del rango exigido, mientras que para los valores de Fe y SiO_2 son inversamente proporcionales a medida que pasan los años el porcentaje de hierro va disminuyendo mientras que el porcentaje de sílice va aumentando.

5.3 CERRO LA ESTRELLA

5.3.1 Análisis Sobre Las Reservas Recuperables, Cerro La Estrella

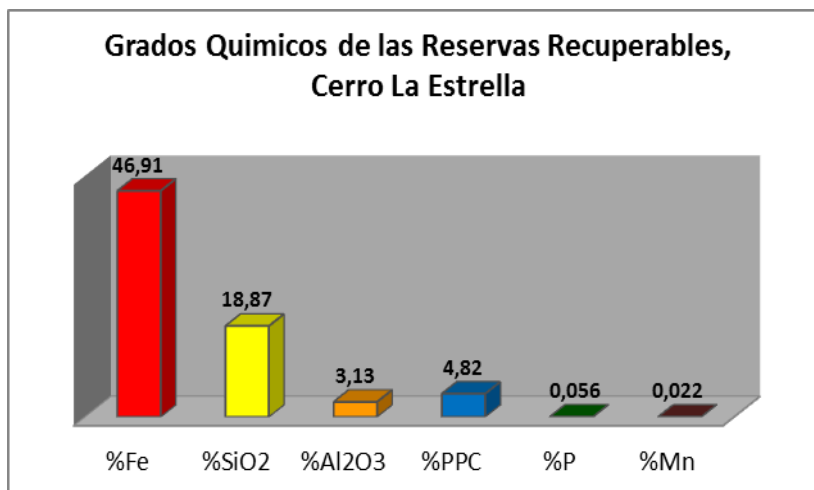
Las reservas recuperables del Cerro La Estrella están plasmadas en la tabla 25, la cual establece que al culminar de extraer el material de la fosa se tendrán 99.236.909 toneladas de material con una relación de excavación de 0,69 : 1, donde el primer valor corresponde al valor de la mena y el segundo valor al estéril, dicho esto se puede afirmar que según esa relación existe mayor cantidad de estéril que de material mena, lo cual lo analizaremos con detalle, por otra parte la información de esos resultados se elaboraron dos graficas la primera de ella la gráfica 14, establece la distribución porcentual de los tipos de material presentes en la fosa que se va a excavar y la gráfica 15 representan los grados químicos de las reservas recuperables totales.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14 Distribucion Porcentual de los Tipos de Material presentes en el cerro La Estrella

La grafica 14 muestra el grado porcentual que posee cada tipo de material donde se destaca el material de alto tenor con un 41% del tonelaje total, sin embargo, notamos que del 59% restante la laterita asume un roll protagonista, esto puede ocasionar que la calidad del material en términos de parámetros químicos se vea afectada



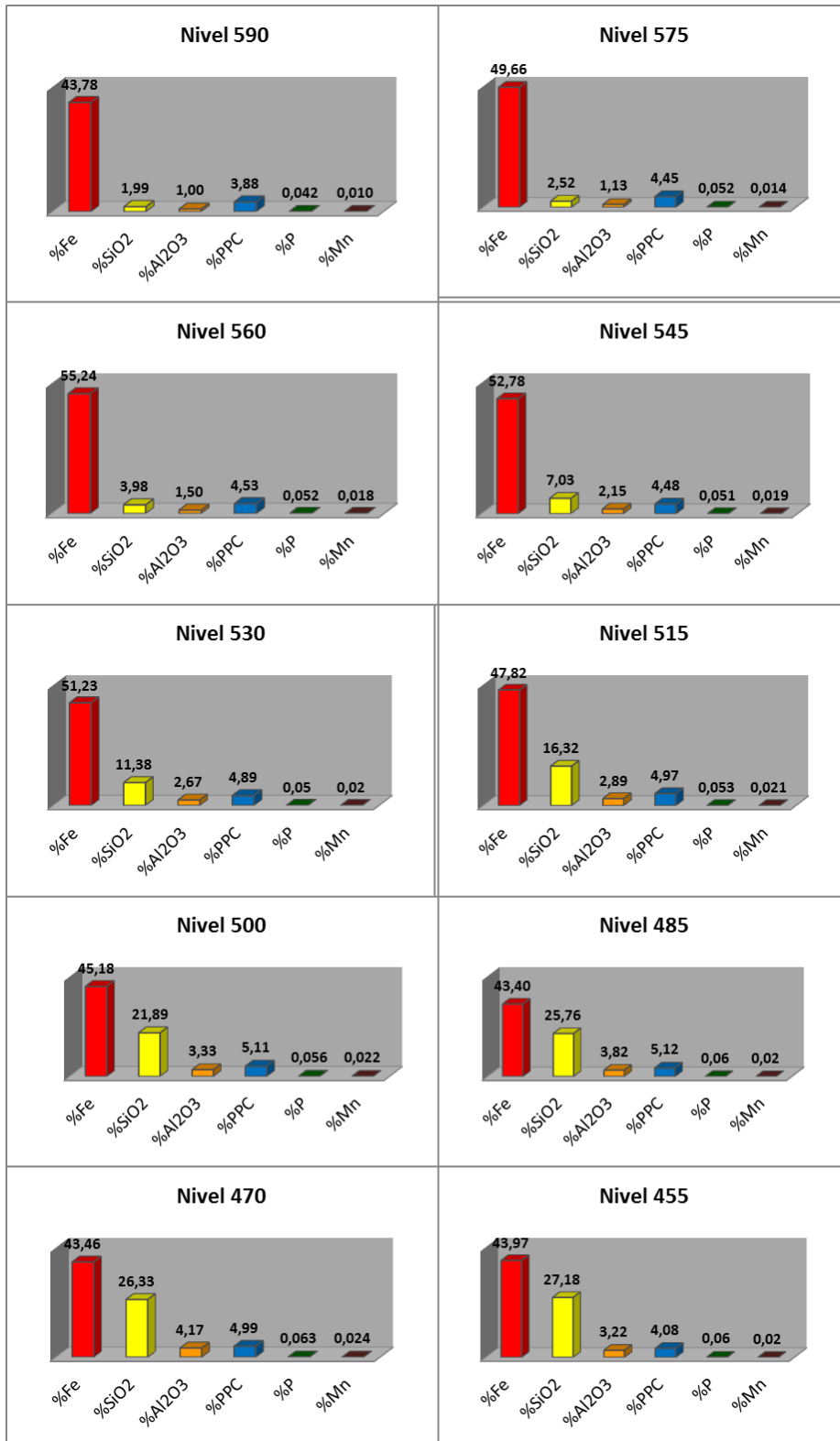
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 15 Grados Químicos de las Reservas Recuperables
Totales, Cerro La Estrella**

La grafica 15 muestra los grados químicos presentes en la excavación, para este caso no son los más idóneos, en primer lugar el hierro (Fe) presenta un tenor de 46,91% este está muy por debajo de los parámetros requeridos y por otro lado los valores de sílice y alúmina son muy altos en comparación con los parámetros establecidos, ya que el rango para el sílice es que este dentro de (0 - 15) y el valor que tenemos es 18,87, mientras que el rango para la alúmina es (0- 2) y el valor que tenemos es 3,13.

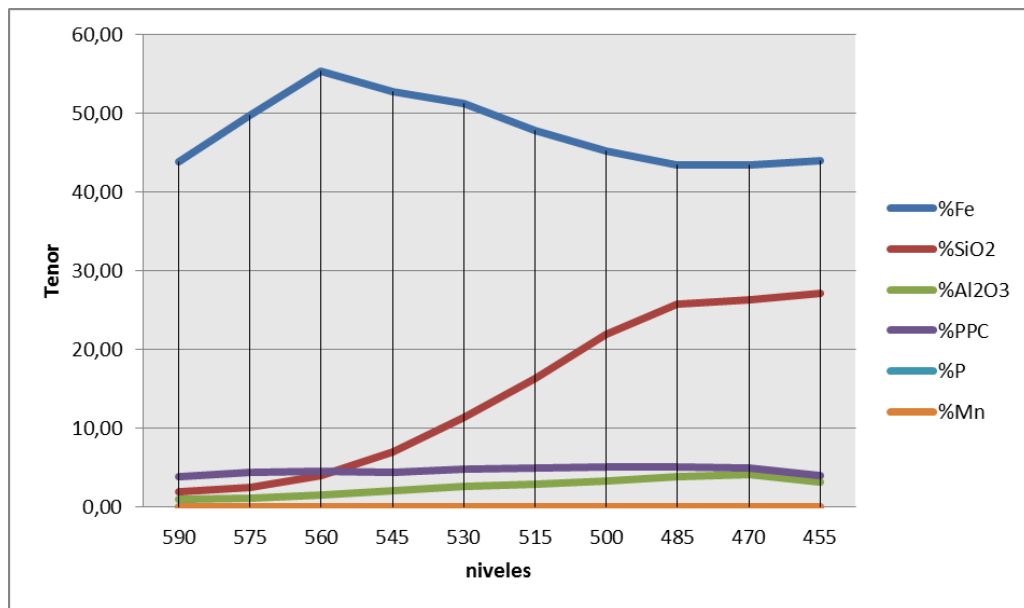
5.3.2 Análisis Sobre Los Niveles De Excavación, Cerro La Estrella

El diseño de la fosa en el Cerro La Estrella posee 10 niveles de excavación, los cuales se analizan por separado para lograr discernir el comportamiento a medida que se profundiza en los niveles, para ello se elaboraron graficas a partir de las tablas correspondientes a cada nivel. Las tablas que sirvieron de base para generar los gráficos fueron las tablas 26, 27, 28, 29, 30,31, 32, 33, 34 y 35 con ellas se generaron las gráficas que evalúan los niveles 590, 575, 560, 545, 530, 515 500, 485, 470 y 455 respectivamente. Ver grafica 16



Gráfica 16 Grados Químicos desde el Nivel 590 hasta el Nivel 455

Detallando la gráfica 16 vemos marcada dos tendencias que son inversamente proporcionales, ellas son la del porcentaje de sílice y el porcentaje de hierro, este último va decreciendo a medida que se va profundizando en los niveles, mientras que la concentración de sílice va aumentando en la misma proporción, por otro lado, los porcentajes de P, PPC, Mn y Al₂O₃, se mantienen constantes, pero el Al₂O₃ está muy por encima del rango que es (0-2).



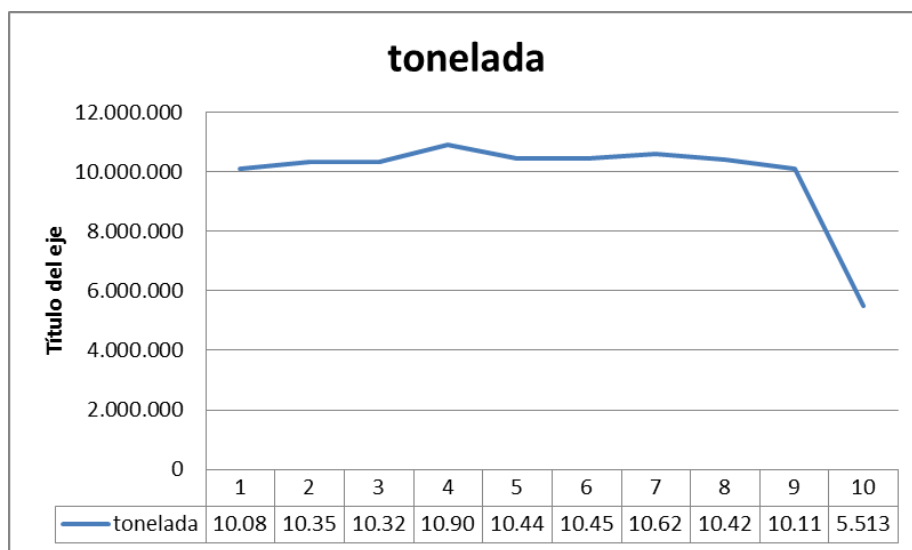
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 17 Grados Químicos Por Nivel de Excavacion

En esta grafica se muestran las líneas de tendencia de los grados químicos por niveles, al igual que en los Cerros Ricardo y Redondo, se nota que el tenor de Fe es inversamente proporcional al de sílice y que los demás parámetros se mantienen constantes a medida que se profundiza en los niveles.

5.3.3 Análisis Sobre La Secuencia De Excavación Anualizada, Cerro La Estrella

Este análisis se efectuó sobre la tabla 37 “Cortes Realizados Por Año de Excavación, Cerro La Estrella” y la tabla 38 “Resumen de las Toneladas y Grados químicos por Año de Excavación, Cerro La Estrella” generando a partir de ellas dos graficas que permiten una mejor interpretación de los datos obtenidos, la primera de ella es la gráfica 12 en la cual se refleja el patrón de explotación durante la vida de la mina en relación a las toneladas extraídas por año.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18 Extracción a través de los años, Cerro La Estrella

Esta grafica 18 nos detalla la cantidad de material que se extraerá por año, como se puede observar estas toneladas se mantienen en un rango que va desde poca más de 10 millones de toneladas hasta los 10,5 millones de toneladas, esto ocurre porque previamente se realizó el cálculo de tonelaje ideal (TI), dando como resultado un valor de 9.923.691 toneladas, tomando este valor se realizaron los cortes anuales sobre cada nivel correspondiente tratando en lo posible de que los cortes arrojaran un tonelaje muy aproximado al del TI.

El valor (TI) nos da un patrón para realizar los cortes y como se evidencia en la gráfica anterior este patrón se pudo realizar para cada año, exceptuando al

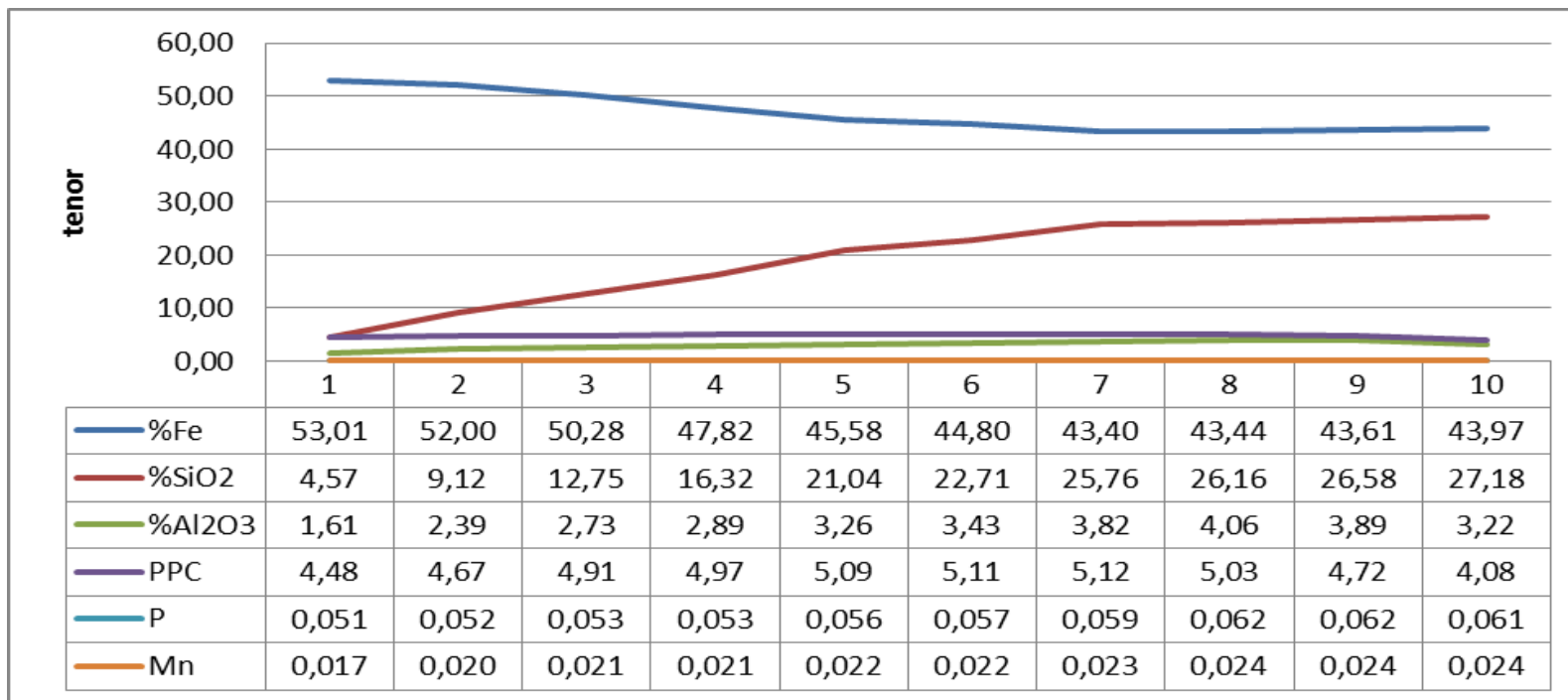
año 10 en el cual se extraerán aproximadamente 5 millones de toneladas, esto se debe a que en los 9 años previos los cortes están por encima del valor (TI) y esa diferencia luego se refleja en el último año de extracción.

Por otro lado los valores de toneladas para cada año representan las metas de producción anual, es decir todas las fases siguientes a este estudio deben garantizar que estas metas se cumplan a plenitud en la tabla 41 se muestran la recopilación de esas metas de producción así como las toneladas acumuladas por año que no es más que la sumatoria acumulada para cada año y representan las metas de producción que deben alcanzarse a medida que pasan los años de explotación.

Tabla 41 Resumen de toneladas por año de excavacion

año	toneladas anuales	toneladas acumuladas
1	10085905	10085905
2	10352527	20438432
3	10323390	30761822
4	10903609	41665431
5	10445962	52111393
6	10454996	62566389
7	10622652	73189041
8	10420514	83609555
9	10114209	93723764
10	5513147	99236911

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Propia

Gráfica 19 Grados Químicos de la Secuencia de Excavacion Anualizada

En la gráfica se observa que los porcentajes de PPC y P se mantienen con poca variación, es decir, marcan una tendencia a lo largo de la explotación y dentro del rango exigido, mientras que para los valores de Fe y SiO₂ son inversamente proporcionales a medida que pasan los años el porcentaje de hierro va disminuyendo mientras que el porcentaje de sílice va aumentado, por otro lado el Al₂O₃ se mantiene con poca variación a través del tiempo pero su valor esta fuera del rango de parámetros exigidos exceptuando el año 1

CONCLUSIONES

- ✓ Sé diseño la fosa de excavación para cada yacimiento, obteniendo como resultado la geometría, dimensiones y el valor de las toneladas recuperables para cada una, esto nos indica que para nuestros diseños de fosa el Cerro La Estrella es el que posee mayor cantidad de material extraíble seguido del Cerro Redondo y dejando de último al Cerro Ricardo.
- ✓ Se analizaron los grados químicos de cada fosa creada en los yacimientos, lo cual nos indicó que la única fosa que cumple con los parámetros actuales de calidad de concentración establecidos por la empresa para la comercialización del mineral de hierro fue la del Cerro Redondo.
- ✓ Se realizaron los cortes, los cálculos de reservas y la estimación de grados químicos por cada nivel de excavación de la fosa y en líneas generales quedo evidenciado que existe una tendencia para los tres yacimientos, a medida que se desciende de nivel la concentración de hierro disminuye, mientras que la concentración de Sílice aumenta casi en las mismas proporciones, lo que me lleva a afirmar que son inversamente proporcionales, es decir, entre mayor es la cantidad de sílice menor será la concentración de hierro y viceversa.
- ✓ Se logró establecer una secuencia de explotación adecuada para cada uno de los yacimientos, además con ellas se determinaron las metas de producción anual las cuales se mantienen cercanas a un valor ideal hasta el último año que es donde la meta en términos de toneladas es menor.
- ✓ Se obtuvo la vista final de la topografía modificada una vez culminado el proceso de excavación en cada uno de los yacimientos, donde se muestra

el impacto visual sobre la topografía que generara la ejecución de estas fosas.

RECOMENDACIONES

- ✓ La herramienta *Pit Expansion Tools* de *MineSight*® que es la encargada de realizar la geometría y diseño de la fosa de excavación, no acepta modificaciones una vez cerrada por lo que es importante tener todos los parámetros de diseño y la idea bien centrada de la fosa que se quiere diseñar antes de utilizar esta herramienta.
- ✓ A la hora de comenzar a explotar el Grupo Redondo se recomienda comenzar con el Cerro Redondo puesto que este es el que posee mayor tenor de hierro y cumple con los parámetros químicos exigidos por el mercado, lo que garantiza un retorno de capital sin implementar plantas de concentración para mejorar la calidad de material.
- ✓ Si lo que se desea es tener material de calidad se recomienda realizar planes de explotación menores a 10 años para de esta manera solo extraer el material de los nivel superiores del yacimiento que posee una química muy buena, producto de la geología de la zona.
- ✓ Es imprescindible instalar plantas de concentración de cuarcita para poder explotar los Cerros Ricardo y La Estrella, y de esta manera poder cumplir con los requisitos del mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ Anónimo. (s.f.). Mineral de Hierro en Latinoamérica–Venezuela. [Artículo en Línea]. Disponible: http://www.asimet.cl/hierro_venezuela.htm. [Consulta: 2014, Mayo 18].
- ✓ Ascanio, T. (1975). El Complejo de Imataca en los alrededores del Cerro Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo presentado en el X Congreso Geológico Interguayanos, Brasil.
- ✓ Ascanio, G. (1976). Compilación de la Información Sobre el Mineral de Hierro en Venezuela “Cerro La Estrella”. Informe Geológico Minero.
- ✓ Ascanio, G. (1976). Compilación de la Información Sobre el Mineral de Hierro en Venezuela “Cerro Ricardo”. Informe Geológico Minero.
- ✓ Bolívar H., Enyerberth J. (2012) “Actualización Y Optimización Del Procedimiento De Cálculo De Reservas Mediante La Planificación Interactiva En *Minesight*”. Informe De Pasantía. Universidad Central De Venezuela, Caracas.
- ✓ Case, R. (1965). El Complejo de Imataca, la anfibolita de Panamá y la trondhjemitita de Gurí; rocas precámbricas del Cuadrilátero de Las Adjuntas - Panamo, Estado Bolívar, Venezuela. Bol. Geol., Caracas-Vzla, 7(13): 105-215.
- ✓ CVG-Ferrominera Orinoco C.A. (1991). Estudios de los Yacimientos del DFP. [Informe Interno]. Gerencia de Minería, Superintendencia de Ing. de Mina, Jefatura de Área de Geología. Cd. Piar, Estado Bolívar.

- ✓ CVG Ferrominera Orinoco C.A., s.f. Informe Geológico del Cerro Redondo. [Informe Interno]. Superintendencia de Ingeniería de Minas, Jefatura de Área Geología. Cd. Piar, Estado Bolívar.
- ✓ CVG Ferrominera Orinoco C.A. (s.f.). Menas y Rocas del Distrito Ferrífero Piar. [Informe Interno]. Gerencia de Minería, Superintendencia de Ing. de Mina, Jefatura de Área de Geología. Cd. Piar, Edo. Bolívar.
- ✓ CVG-Ferrominera Orinoco C.A. (2001). Plan de Minas 2001-2025. [Informe Interno]. Gerencia de Minería, Superintendencia de Ing. de Mina, Jefatura de Área de Planificación y Desarrollo de Mina. Cd. Piar, Estado Bolívar.
- ✓ CVG Ferrominera Orinoco C.A. (2004). Reservas Geológicas de Mineral de Hierro del DFP. [Informe Interno]. Gerencia de Minería, Superintendencia de Ing. de Mina, Jefatura de Área de Geología. Cd. Piar, Estado Bolívar.
- ✓ CVG-TECMIN, Técnica Minera C.A. (1991). Informe de avance NB-20-2, NC-20-14 (Clima, geología, geomorfología, suelos, vegetación). Gerencia de Proyectos Especiales, Proyecto inventario de los recursos naturales de la región Guayana. Tomo I y II. Cd. Bolívar, Estado Bolívar.
- ✓ ECOCARBON, 1995 “Clasificación de Recursos y Reservas” [Página Web en Línea]. Disponible:
http://www.simco.gov.co/Portals/0/publicaciones/recursos%20y%20reservas_ecocarbon.pdf. [Consulta: 2014, Mayo 21].
- ✓ González de Juana, Iturralde de Arozena y X. Picard. (1.980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1.021 p.

- ✓ González, Juan P. (2012) Lineamientos CIM para Recursos y Reservas. [Documento en Línea].
Disponible:<http://www.comisionminera.cl/documentacion/category/32-seminario-valorizacion-de-propiedades-mineras-27-junio-2012?download=404:5-lineamientos-cim-ryr-jp-gonzalez-gte-golder>. [Consultado: 2014, Mayo 21]

- ✓ Herrera H., Juan, (2006) “Métodos de Minería a cielo Abierto” [Documento en Línea]. Disponible:http://oa.upm.es/10675/1/20111122_metodos_mineria_a_cielo_abierto.pdf. [Consulta: 2014, Mayo 29].

- ✓ Hurley, Fairbairn, Gaudette, Mendoza, Bellizzia, Espejo. (1977). Progress report on age dating in the north in Guayana Shield. Bol. Geol. 1973, Pub. Esp. 7, 4, 3035-3044

- ✓ Mendoza, V. (2000). Evolución Geotécnica del Escudo de Guayana. Puerto Ordaz, Venezuela. Pp 45-50

- ✓ *MINESIGHT.COM*. [Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.minesight.com/es-es/estoeminesight.aspx>. [Consulta: 2014, Junio 4]

- ✓ PDVSA-INTEVEP. (1997). Código Geológico de Venezuela - Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. [Página Web en Línea]. Disponible: www.pdvsa.com/lexico. [Consulta: 2014, Mayo 20]. Documento patrocinado por Petróleos de Venezuela, S.A.; editado por el Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN). Caracas-Vzla.

- ✓ Salazar V., Carmen Y. (2009). Recopilación Bibliográfica de los aspectos relacionados con reserva y recurso mineral. Informe de Pasantía. Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

- ✓ UNEXPO, 2010 “Clasificación Marco de las Naciones Unidas para la Energía Fósil y los Recursos y Reservas Minerales 2009 (CMNU-2009)” [Documento en Línea].
Disponible:http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/unfc2009/UNFC2009_ES39_s.pdf. [Consulta: 2014, Mayo 25].

- ✓ William E., Peña H., (2005) “Actualización De Las Reservas Geológicas De Cerro Toribio Y Cerro Redondo, Ubicados En El Municipio Autónomo Leoni, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad de Oriente, estado Bolívar.