

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE MINAS

**DISEÑO DE MANEJO DE AGUAS DE MINA, EN EL PIT BAQUETA DE LA
MINA PASO DIABLO, EDO. ZULIA, COMO APOORTE AL DESARROLLO
SUSTENTABLE DE LA REGIÓN**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS
POR EL BR. VAN ZANTEN VICENT, JOHAN OMAR

Caracas, mayo de 2004

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE MINAS

**DISEÑO DE MANEJO DE AGUAS DE MINA, EN EL PIT BAQUETA DE LA
MINA PASO DIABLO, EDO. ZULIA, COMO APOORTE AL DESARROLLO
SUSTENTABLE DE LA REGIÓN**

TUTORA ACADÉMICA: PROF. ALBA CASTILLO
TUTOR INDUSTRIAL: ING. ORLANDO ARNAUDEZ

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS
POR EL BR. VAN ZANTEN VICENT, JOHAN OMAR

Caracas, mayo de 2004



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
CONSEJO DE ESCUELA

MEMORANDUM

PARA: Br. JOHAN VANZANTEN
DE: Directora de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica
ASUNTO: Aprobación de Proyecto de Trabajo Especial de Grado
FECHA: 04/11/2003

Sírvase tomar nota que en la sesión de este Consejo de Escuela, efectuado el día 13-10-2003 se aprobó su Proyecto de Trabajo Especial de Grado titulado: "DISEÑO DE MANEJO DE AGUAS DE MINA, EN EL PIT BAQUETA DE LA MINA PASO DIABLO, ESTADO ZULIA, COMO APORTE AL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA REGIÓN ", bajo la supervisión de la Profesora Tutor: Ing. ALBA CASTILLO Profesor Cotutor: Tutor Industrial: ORLANDO ARNAUDEZ

La ejecución del trabajo deberá realizarse siguiendo las "Normas para el Trabajo Especial de Grado" de esta Escuela y para los efectos del artículo 15 de dichas Normas, la fecha de inicio de su trabajo es la misma fecha de esta aprobación.

La elaboración del Informe Final se llevará a cabo siguiendo el "Instructivo para la elaboración del Informe Final del T.E.G.". Copias de ambos folletos están disponibles en las oficinas del Departamento respectivo.

Este proyecto debe ceñirse estrictamente al cronograma de 06 meses que se ha presentado, sin poder ampliar los objetivos. En el caso de haber cualquier dificultad que impida la culminación en el lapso indicado, esto deberá ser informado oportunamente el Consejo de Escuela por los tutores o el tesista.

Atentamente,

Mónica M. [Firma]

Directora - Presidente

Copias:
Profesor Tutor
Profesor Cotutor
Tutor Industrial
Archivo Departamental
Archivo de Consejo de Escuela
Jefe de Ofic. de Control de Estudios



DEDICATORIA

*A Dios, a mi madre y en especial al amor de mi vida,
quien cada día estoy más seguro que será mi futura
esposa y la madre de mis hijos. A quien siempre
estare agradecido por apoyarme incondicionalmente.*

CAROLINA COLINA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela por haberme permitido la oportunidad de realizar y culminar mis estudios, en una carrera que defino entre ciencia y arte de la cual cada día me enorgullezco más.

A la Prof. Alba Castillo por haber confiado en mi, al ofrecerme este tema para mi Trabajo Especial de Grado y quien además supo inculcar en mi persona la importancia y el valor agregado que tiene el presente trabajo.

Al Ing. Orlando Arnaudez por brindarme el apoyo técnico y logística para la realización del presente trabajo, además de mostrar en todo momento interés en el trabajo que realice.

A la Lic. Carolina Colina por haberme brindado el apoyo y aclarar mis pensamientos todas las veces que tuve que tomar decisiones importantes durante mi carrera ya que sin su ayuda seguramente no hubiese culminado mis estudios.

Al Prof. Díaz Quintero por ayudarme a entender aspectos sumamente complejos que desarrolle en este trabajo especial de grado y de los cuales no poseía suficiente conocimiento.

Al Ing. Ernesto Alió por ofrecerme sus conocimientos y su experiencia en la búsqueda de la mejor solución al problema estudiado.

Al personal de Carbones del Guasare, S.A., especialmente a los Ing Jose Antonio Paredes, Julio García, Nestor Rodriguez, Robinson Ríos, al TSU. Edgardo Romero por haber prestado la colaboración para la realización

de mi trabajo de campo, a las Lic. Fabiola Neri, Brenda Sánchez, por brindarme su apoyo y por siempre hacer lo que estaba en sus manos para ayudarme, a la Sra Maritza Antunez por siempre colaborarme en las múltiples oportunidades que necesite de ella.

A los Ing. Vrotnovski Cediél, Daniel Chiquito y Rene Abreu, por prestarme su colaboración y brindarme su amistad de una manera totalmente desinteresada, como compañeros de la UCV que somos.

A mi familia y en especial a mi madre por brindarme el apoyo necesario e incentivarme en los momentos que pensé no poder más con las exigencias de los estudios y en especial en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado.

JOHAN O. VAN ZANTEN V.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA

**DISEÑO DE MANEJO DE AGUAS DE MINA, EN EL PIT BAQUETA DE LA
MINA PASO DIABLO, ESTADO ZULIA, COMO APOORTE AL
DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA REGIÓN**

Tutora Académica: Prof. Alba Castillo, Tutor Industrial: Ing. Orlando Arnaudez
Fecha: mayo – 2004

Palabras claves: Suspensión hídrica, Intensidad de lluvia, Aguas de escurrimiento, caudal, Nivel piezométrico, Acuífero

RESUMEN El presente trabajo propone la construcción de obras de drenaje para conducción de aguas de mina y retención de sólidos en suspensión hídrica, en el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, operada por la empresa CARBONES DEL GUASARE, S.A. El propósito del manejo de agua de mina es evitar las inundaciones, que ocurren frecuentemente durante los períodos de precipitación, con la misión y visión de conservación ambiental e inserción de la actividad minera en el concepto de sustentabilidad. En este estudio se realizó el trabajo en campo, en dos períodos. Se elaboraron curvas IDF para el dimensionamiento de la canalización de aguas de escurrimiento. La intensidad de lluvia asumida para diseño fue de 80 mm/hr para un total de 5 canales, ubicados en las rampas de acarreo y en los niveles +48 msnm y -24 msnm. En el diseño, los canales se conectan mediante una torrentera. Además se propone la construcción de un dique de sedimentación al Oeste de la vía en construcción entre el Pit Baqueta y el área de las trituradoras. Para el control de las aguas subterráneas se propone la realización de pozos de drenajes ubicados en la pared Este de la mina. La permeabilidad del área se estimó en $2 \cdot 10^{-4}$ m/s. El flujo lateral estimado, en el subsuelo de la cuenca carbonífera, resultó en $12,3 \cdot 10^6$ m³/año. En las condiciones actuales no fue posible determinar el cambio originado en el nivel piezométrico. Por tal razón se consideró arriesgado proponer la ubicación de un sistema de recarga artificial. De iniciar otras operaciones mineras sobre la cuenca hídrica de San Rafael de Guasare, como está propuesto en planes de desarrollo de la región, equivalentes al Pit Baqueta, es fundamental implementar un sistema de recarga artificial que garantice la compatibilidad en el uso del territorio.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	5
MARCO TEÓRICO	7
ANTECEDENTES	7
MARCO METODOLÓGICO	9
TIPO DE INVESTIGACIÓN	9
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	10
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	11
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	11
ANÁLISIS DE DATOS.....	12
CAPÍTULO I	14
1 RECURSOS FÍSICOS Y AMBIENTALES EXISTENTES EN EL ESTADO	
ZULIA	14
1.1 CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS	16
1.1.1 Localización.....	17
1.1.2 Clima y Vegetación.....	17
1.2 RECURSOS FÍSICOS	21

1.2.1	Reservas Minerales en la Cuenca Carbonífera de San Rafael de Guasare	21
1.2.2	Consideraciones Geológicas de la Cuenca Carbonífera San Rafael de Guasare.....	22
1.2.3	Consideraciones Estructurales y Tectónicas	30
1.3	RECURSOS AMBIENTALES	32
1.3.1	Reservas en la Cuenca Hídrica de San Rafael del Guasare ...	32
1.3.2	Comunidades Indígenas.....	35
1.3.3	Comunidades Biológicas	37
CAPITULO II		40
2 GENERALIDADES DE CARBONES DEL GUASARE, S.A.		40
2.1	RESEÑA HISTÓRICA	41
2.2	UBICACIÓN Y ACCESO A LA MINA PASO DIABLO.....	43
2.3	MISIÓN DE CDG	43
2.4	VISIÓN DE CDG	45
2.5	VALORES DE CDG	45
2.6	OBJETIVOS DE CDG.....	48
2.6.1	Objetivos de Producción.....	48
2.7	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	49
2.8	OPERACIONES BÁSICAS DE MINERÍA	50
2.9	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	52
CAPITULO III		55
3 DESARROLLO TEÓRICO		55

3.1	CICLO HIDROLÓGICO	56
3.2	PRECIPITACIÓN.....	59
3.2.1	Parámetros de la Precipitación.....	60
3.3	ESCORRENTÍA.....	61
3.3.1	Coeficiente de Escorrentía	62
3.3.2	Tiempo de Concentración de Escorrentía	62
3.4	AGUA SUBTERRÁNEA.....	63
3.4.1	Permeabilidad del Suelo.....	65
3.4.2	Técnicas de Medición de Permeabilidad en Medio Poroso	67
3.4.3	Radio de Influencia de un Pozo Drenante	67
3.4.4	Influencia de la Geología en el Flujo Lateral	69
3.5	MANEJO DE AGUAS DE MINA	69
3.6	DRENAJE SUPERFICIAL	71
3.7	TÉCNICAS DE MANEJO Y CONTROL DE AGUA DE MINA.....	72
3.7.1	Canales de Drenaje.....	72
3.7.2	Diques de Drenaje.....	77
3.7.3	Cuencas de Sedimentación.....	78
3.7.4	Canales Colectores y Disipadores.....	80
3.7.5	Pozos Horizontales y Subhorizontales para Drenaje del Agua Subterránea	82
3.7.6	Pozos Verticales de Bombeo	83
3.8	DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE.....	85
3.8.1	Zona Protectora de Cuenca Hídrica	86

3.8.2	Procesos de Sequía y Desertificación	87
3.8.3	Erosión y Transporte de Sedimentos	89
3.8.4	Vulnerabilidad de Acuíferos.....	90
3.8.5	Desarrollo Sustentable	92
CAPÍTULO IV		94
4 ANÁLISIS DE DATOS.....		94
4.1	AGUAS DE PRECIPITACIÓN	95
4.1.1	Datos de intensidad de precipitación.....	95
4.1.2	Cálculo de las Curvas IDF	97
4.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	109
4.2.1	Ensayos de Permeabilidad.....	109
4.2.2	Niveles Piezométricos	112
CAPÍTULO V		117
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS		117
5.1	ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA DE LA MINA.....	118
5.2	CARACTERÍSTICAS DE UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS.....	121
5.3	SISTEMAS DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	122
5.4	RELACIÓN ENTRE FALLAS GEOLÓGICAS Y FLUJO SUBTERRÁNEO.....	124
5.5	EVALUACIÓN DEL ACUÍFERO	126
5.5.1	A Escala Local.....	126

5.5.2	A Escala Regional	128
5.6	FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA A LA EXCAVACIÓN MINERA.....	130
5.7	MANEJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	131
CAPITULO VI		133
6 DISEÑO PARA EL MANEJO INTEGRAL DE AGUAS DE MINA.....		133
6.1	ESTRUCTURAS DE MANEJO DE AGUAS EN EL INTERIOR DEL PIT BAQUETA.....	135
6.1.1	Canal en rampa o vía de acarreo, ubicada en la Pared Este	135
6.1.2	Canal en rampa o vía de acarreo, ubicada en la Pared Sur...	139
6.1.3	Canal Interno ubicado en el Nivel +48 msnm.	144
6.1.4	Canal Interno ubicado en el Nivel –24 msnm.	147
6.1.5	Torrentera de Conducción de Aguas del Nivel +48 msnm al Nivel –24 msnm	150
6.2	ESTRUCTURA DE MANEJO DE AGUAS, EN EL EXTERIOR DEL PIT BAQUETA.....	153
6.2.1	Dique de Sedimentación al Borde Oeste de la Vía Directa al Área de las Trituradoras (en construcción)	153
CONCLUSIONES		157
RECOMENDACIONES.....		163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		166
ANEXOS.....		169

ÍNDICE DE TABLAS

1. Tabla 1. Objetivos de Producción 2001 al 2005.....	49
2. Tabla 2. Velocidad máxima admisible de circulación.....	74
3. Tabla 3. Número de Maning.....	76
4. Tabla 4. Espaciamiento medio entre diques.....	78
5. Tabla 5. Valores de intensidad de precipitación (mm)	
E.M. EL CARBÓN.....	98
6. Tabla 6. Valores de intensidad de precipitación (mm)	
E.M. CARICHUANO.....	98
7. Tabla 7. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. EL CARBÓN.....	100
8. Tabla 8. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. EL CARBÓN.....	101
9. Tabla 9. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. EL CARBÓN.....	102
10. Tabla 10. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. CARICHUANO.....	104
11. Tabla 11. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. CARICHUANO.....	104
12. Tabla 12. Resultados de la determinación de curvas IDF	
E.M. CARICHUANO.....	105
13. Tabla 13. Resultados de parámetros Gumbel.....	106

14. Tabla 14. Coordenadas de piezómetros en la pared Este.....	109
15. Tabla 15. Resultados de los ensayos de en el Piezómetro PHG-1.....	111
16. Tabla 16. Resultados de los ensayos de en el Piezómetro PHG-4.....	111
17. Tabla 17. Resultados de los ensayos de en el Piezómetro PHG-5.....	112
18. Tabla 18. Coordenadas de pozos para control de aguas.....	113
19. Tabla 19. Coordenadas de pozos anteriores a la excavación minera.....	114
20. Tabla 20. Resumen de estructuras para el control de aguas de escorrentía.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Figura 1. Reservas de mineral de carbón en la Cuenca Carbonífera del Guasare.....	23
2. Figura 2. Recursos geológicos de mineral de carbón presentes en Venezuela.....	23
3. Figura 3. Correlación geológica de la cuenca de Maracaibo.....	29
4. Figura 4. Áreas Bajo Régimen de Administración Especial de la Región Zuliana, donde destaca el Río Guasare.....	33
5. Figura 5. Mapa de Ubicación de la Mina Paso Diablo.....	44
8. Figura 6. Diagrama de Operaciones Básicas de la Mina Paso Diablo.....	51
9. Figura 7. Mapa de Paneles de Trabajo de la Mina Paso Diablo.....	54
10. Figura 8. Ciclo Hidrológico.....	57
11. Figura 9. Zonas con diferente tiempo de concentración en una misma cuenca.....	63
12. Figura 10. Distribución del agua en la Tierra.....	64
13. Figura 11. Aporte de Aguas Subterráneas a un Pit de mina.....	70
14. Figura 12. Ábaco para el diseño rápido de canales de drenaje en taludes.....	76
15. Figura 13. Canales colectores y disipadores.....	81
16. Figura 14. Sistema de torrenteras.....	82
17. Figura 15. Cantidad de agua caída para las E.M. El Carbón y Carichuano.....	96

18. Figura 16. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia.....	107
19. Figura 17. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia.....	108
20. Figura 18. Niveles piezométricos de los piezómetros en la pared Este.....	115
21. Figura 19. Niveles piezométricos de los pozos de control de aguas subterráneas.....	116
22. Figura 20. Balance Hídrico del área de la mina.....	119
23. Figura 21. Columna litoestratigráfica tipo del área de la mina.....	120
24. Figura 22. Pozo saltante en el Pit Baqueta.....	121
25. Figura 23. Esquema de los piezómetros instalados en la Pared Este del Pit Baqueta.....	125
26. Figura 24. Esquema de los piezómetros instalados en la Pared Este del Pit Baqueta.....	126
27. Figura 25. Mapa de superposición de cuencas carbonífera e hídrica.....	129
28. Figura 26. Sección transversal del canal en la vía de acarreo Este.....	137
29. Figura 27. Sección transversal del canal en la vía de acarreo Sur.....	140
30. Figura 28. Sección transversal del canal en la vía de acarreo sur.....	143
31. Figura 29. Sección transversal del canal interno en el nivel +48 msnm.....	145

32. Figura 30. Sección transversal del canal interno en el nivel	
-24 msnm.....	149
33. Figura 31. Sección transversal de la torrentera ubicada en la	
Pared Este.....	151
34. Figura 32. Construcción típica de un dique de escollera.....	154

INTRODUCCIÓN

En el pit Baqueta ubicado en la Mina Paso Diablo de la empresa Carbones del Guasare, S.A. (CDG), se producen inundaciones de considerable magnitud, las cuales generan pérdidas de tiempo y de recursos financieros de consideración.

En momentos de alta precipitación, el sistema de bombeo es rebasado, generándose, de esta manera, las inundaciones. Adicionalmente se produce el arrastre de sedimentos a la mina, lo cual impide el desempeño efectivo de las bombas de achique. En el área minera, el nivel promedio de precipitaciones anuales se ubica en unos 1200 mm, pero en las zonas aledañas, las cuales se consideran como de influencia o de aporte de volúmenes considerables de agua, este promedio de precipitaciones se eleva a unos 2.000 mm.

Las áreas menos elevadas topográficamente son zonas de descarga de aguas subterráneas, y el perfil geológico típico, incluido el carbón, presenta una porosidad de media a alta, por lo que la excavación de la mina (pit) se comporta como un pozo drenante, afectado por importantes flujos laterales de agua en el subsuelo.

Es importante destacar la complejidad que aporta el hecho de trabajar con aguas subterráneas, ya que no existen procesos definidos o tabulados que ayuden a solventar la falta de datos existente, lo cual ha sido una de las principales dificultades al realizar este trabajo de investigación, por lo que

han sido representados significativos espacios con escasa información, lo cual genera una incertidumbre de considerable importancia.

Este trabajo se realizó de tal manera que cumpla con los requisitos para ser un estudio amplio e integral referente al balance hídrico de la zona, con el fin de establecer las fuentes y volúmenes de aguas consideradas de inundación, lo cual permitió determinar la mejor solución al problema de las inundaciones en la Mina Paso Diablo. Esta resultó una solución mixta, conformada principalmente, por sistemas de canalización, diques y un sistema de pozos, para tratar tanto las aguas de escorrentía superficial, como las aguas de flujo lateral en el subsuelo, respectivamente.

Este diseño, para el manejo de aguas de mina, está en concordancia con la conservación ambiental de la región, colaborando a la inserción de la actividad minera, específicamente del carbón, en el concepto de desarrollo sustentable, ya que crecientemente se percibe a la minería como una actividad de reputación cuestionable y hasta degradante, destructiva y dañina para el medio ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, de CDG, se producen inundaciones de considerable magnitud, las cuales generan pérdidas de tiempo y de recursos financieros de consideración, las cuales han imposibilitado el acceso a los mantos de carbón más potentes, hasta por un período de tres días.

En momentos de alta precipitación, alrededor de 90 mm / hr, el sistema de bombeo es rebasado, generándose las inundaciones dentro del pit. Adicionalmente se produce el arrastre de sedimentos a la mina, impidiendo el funcionamiento efectivo de las bombas de achique en el sumidero de la mina.

Las aguas que llegan al pit provienen de precipitación directa, escorrentías y flujos laterales en el subsuelo, siendo este último origen el más difícil de cuantificar, debido a las características anisotrópicas que presentan las estructuras geológicas y la estratificación del macizo rocoso.

La excavación de la mina funciona como un pozo drenante, de aproximadamente 4 Km² de superficie. Tomando en cuenta que el agua bombeada, desde la mina, es descargada a cauces naturales cercanos, es posible inferir la limitación potencial para la recarga del subsuelo y las relaciones causa-efecto que pueden aumentar los riesgos en la región, por restringir aun más la disponibilidad de recursos hídricos en la Cuenca Protectora de Recursos Hídricos de San Rafael del Guasare, decretada como Área Bajo Régimen de Administración Especial, ABRAE, en 1973.

Por otra parte es posible prever que en el futuro, cuando se inicie la explotación de otras minas de carbón, en condiciones semejantes a las actuales y cuya ubicación espacial intercepta a la red de flujo subterráneo, se incrementen las dificultades de la recarga del subsuelo aguas abajo de las explotaciones mineras. Todo esto podría iniciar procesos de desertificación, tal como ha ocurrido en otras partes del mundo, limitando o mermando el equilibrio ecológico y el desarrollo socioeconómico de la región.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un diseño para el manejo de las aguas de mina, en el pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, en la Cuenca Carbonífera de Guasare, en el Edo. Zulia, mediante canalización, bombeo y disposición eficiente de aguas provenientes de precipitaciones, esorrentías y flujos laterales en el subsuelo, como aporte al desarrollo sustentable, al mejorar la calidad de la gestión ambiental en el sistema de aprovechamiento mineral.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el comportamiento hidrológico e hidrogeológico en la zona donde se encuentra la Mina Paso Diablo de la empresa Carbones del Guasare.

- Caracterizar la permeabilidad y la porosidad de las rocas en la zona excavada para extracción del carbón.
- Evaluar el sistema de drenaje y bombeo existente en la Mina Paso Diablo, y los registros de inundaciones.
- Cuantificar la descarga que se realiza sobre la Cuenca Hídrica de San Rafael del Guasare por la excavación minera.
- Realizar el balance hídrico del área de la mina, cuantificando todos sus componentes.
- Identificar el cambio producido en las líneas isopiécicas a medida que se profundiza la excavación minera.
- Diseñar el método de control y extracción de aguas más apropiado para evitar nuevos episodios de inundaciones en el Pit Baqueta.
- Extrapolar los resultados obtenidos al escenario futuro donde se encuentren en producción otras excavaciones mineras similares e inferir el posible impacto ambiental.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La operadora minera Carbones del Guasare, S.A. necesita realizar un estudio amplio e integral referente al balance hídrico de la zona, a fin de establecer las fuentes y volúmenes de las aguas consideradas como de inundación, lo cual permita revisar y determinar la solución de manejo de

agua existente y diseñar un plan para el manejo de aguas de mina con el fin de evitar el problema de las inundaciones.

El desarrollo sustentable en la industria extractiva mineral requiere de la integración de objetivos de crecimiento económico, de progreso social y de equilibrio ecológico (Davies, 1999), de la misma manera que requiere la visión integrada del espacio y del tiempo (Castillo, 2003), como variables fundamentales de la actividad económica de minería. De acuerdo con Castillo y van Zanten (2003), otra variable de interés consiste en la co-territorialidad de los recursos económicos y del ambiente. De allí que la evaluación de variables geométricas y espaciales en ambas cuencas, hídrica y carbonífera, se plantea en el contexto de la visión integrada de desarrollo económico y de protección ambiental.

El propósito de este estudio es determinar la mejor solución al manejo de las aguas de mina en el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, controlando de esta manera el problema de las inundaciones y minimizando la afectación que se realiza sobre la Zona Protectora de la Cuenca Hídrica San Rafael del Guasare, en la Serranía de Perijá, en el Edo. Zulia. Esta Zona Protectora, como se mencionó, constituye un ABRAE.

Con este estudio la compañía CDG podrá lograr dos propósitos: 1).- Controlar el problema de las inundaciones, evitando así las pérdidas de tiempo y de recursos financieros de consideración, y 2).- Colaborar con el desarrollo socio-económico de la región, reduciendo la posibilidad de iniciación de procesos de sequía y ulterior desertificación, que aumentarían

las presiones en la calidad de vida de comunidades asentadas en el área y que pondrían en riesgo la co-territorialidad de diferentes actividades económicas tradicionales en la región, a lo largo del tiempo.

Este estudio introduce la oportunidad de evaluar las implicaciones y estrategias para resolver la demanda y disponibilidad de los recursos hídricos, en función de los planes de desarrollo de extracción mineral, incrementando la inserción de la industria minera, específicamente del carbón, en el contexto del desarrollo sustentable, con los beneficios que esto implica, para el colectivo integrado por la comunidad y el promotor económico.

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

- Bolívar A., Luis G.; Universidad Central de Venezuela. Medidas de prevención/mitigación del impacto ambiental producido en: calidad de las aguas, calidad del aire y por ruido, en la explotación de carbón. Mina Paso Diablo, Carbones del Guasare, S.A. 1997.

Aporta recomendaciones para el control y manejos de impactos generados por la explotación del carbón en la Mina Paso Diablo, respondiendo a la atención que debe prestarse al deterioro inminente e inevitable de factores ambientales con marcada vulnerabilidad y hace

referencia a las fluctuaciones del nivel freático en el Pit Baqueta, en una ventana de tiempo limitada a 4 años, entre 1990 y 1994, observando la relación existente entre dichas fluctuaciones y la intensidad de las precipitaciones caídas en el área.

- García R., E. J.; Cabrera A., Jorge E.; Universidad Central de Venezuela. Posibilidades de recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras en el área de Jusepín y Caicara por parte del frente de montañas área norte de Monagas. 2000.

Analiza la posibilidad de la recarga natural de los acuíferos profundos y establece un modelo hidrogeológico conceptual por lo que brinda la oportunidad de conocer de antemano los requisitos para la elaboración de modelos hidrogeológicos en general.

- Sixto, Jaspe; Universidad Central de Venezuela; Evaluación de la minería del carbón en los estados Zulia y Falcón para la creación de distritos mineros sustentables. 2002.

Pretende evaluar la incorporación de indicadores de sustentabilidad en la toma de decisiones para crear distritos mineros, en provincias geográficas con potencial minero de carbón, a fin de lograr la coexistencia de las actividades de aprovechamiento de recursos minerales explotables con los recursos socio-biológicos a ser protegidos, la investigación realizada por Jaspe (2002), está en armonía con el objetivo de la presente investigación, al

promover la inserción de la actividad minera dentro del concepto de sustentabilidad.

- Carrillo, Daniel; Estratigrafía y tectónica con relación al anteproyecto de una obra de embalse en el área del Río Guasare. 1978.

Desarrolla un estudio geológico-estratigráfico de un área aproximada de 60 km², al norte de la Cordillera de Perijá; además establece las principales características hidrogeológicas existentes en la Formación Guasare.

A pesar de que el área estudiada no coincide con la ubicación de la Mina Paso Diablo, se encuentra cerca (a menos de 5 km), por lo que los resultados referentes a condiciones hidrogeológicas pueden en muchas ocasiones ser extrapolados, permitiendo estimar las condiciones de permeabilidad así como las principales características estructurales del área de la mina.

MARCO METODOLÓGICO

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque que se le ha dado a este Trabajo Especial de Grado es de tipo cuantitativo, al relacionar las variables de extracción de agua de la mina, con la afectación del entorno ambiental. Se aplicaron tres tipos de investigación, los cuales son: i).- *Investigación de Campo*, relacionada con la

toma de datos existentes de niveles piezométricos en pozos de monitoreo de aguas subterráneas y con la toma de registros referentes a historiales de precipitaciones e inundaciones producidas en la Mina Paso Diablo, ii).- *Investigación de Correlación*, referente a la correlación que se trató de establecer entre: las variables hidrológicas e hidrogeológicas y el comportamiento de las aguas en el área de la mina, y iii).- *Investigación Descriptiva*, debido a que se desarrolló un modelo para el comportamiento de las aguas en el lugar de interés, así como la determinación de la influencia de diversas estructuras para el control de las aguas, en dicho comportamiento.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es No Experimental, dado que las variables que intervienen no pueden ser manipuladas de alguna manera por el investigador.

En este proyecto se está en el contexto de la investigación Transeccional - Correlacional, debido a que los datos se recolectaron en un solo momento, en un tiempo único y se ha tratado de relacionar las variables climáticas e hidrogeológicas con el diseño adecuado para el manejo de aguas de mina. De tal forma se ha cuantificado la afectación que se genera sobre el medio ambiente y su posible mitigación. Para dar, como resultado, una propuesta para el mejoramiento de la calidad del desarrollo de la minería del carbón, en la región zuliana, con miras a la sustentabilidad en la industria extractiva mineral.

POBLACIÓN Y MUESTRA

El objeto de estudio en esta investigación es el Manejo de Aguas de Mina y la afectación de factores ambientales en la Sierra de Perijá, en el Edo. Zulia. La población estudiada está compuesta por todas aquellas variables, que forman parte del balance hídrico de la porción de la Cuenca de San Rafael del Guasare, las cuales forman parte de los recursos ambientales existentes. Por otra parte, la muestra está conformada por los datos obtenidos en campo referentes a precipitaciones, permeabilidades del macizo rocoso del área de la mina, sistema de bombeo y las canalizaciones excavadas para el drenaje por gravedad del agua.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Para esta investigación las técnicas e instrumentos para la recopilación y análisis de los datos y variables, son variados, adaptados y aplicados según las necesidades que se identificaron en el avance de la investigación.

En primer lugar, la recopilación se hizo levantando información dispersa, para establecer el comportamiento meteorológico del área de la mina y proyectar su comportamiento, con ayuda de herramientas de cálculo, contenidas en el programa Excel de Microsoft, y un computador personal. En segundo lugar, la obtención de datos hidrogeológicos, los cuales fueron tomados en campo, mediante diferentes pruebas de ensayos de permeabilidad, con el fin de modelar el comportamiento de las aguas,

consideradas de inundación. Además se tomaron datos referentes a las características del sistema de manejo de las aguas de mina.

Los datos obtenidos en esta fase fueron analizados mediante un sistema de balance hídrico, en donde se cuantificaron cada una de las variables que lo conforman, profundizando sobre el estudio referente a la co-territorialidad de recursos ambientales y económicos (mineros).

ANÁLISIS DE DATOS

En esta investigación el análisis de los datos se realizó de manera numérica; además ciertas variables fueron tratadas de manera interpretativa.

Los datos referentes a meteorología fueron tratados de manera estadística, a través de curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración IDF, para determinar los tiempos de retorno de las precipitaciones consideradas como problemáticas, durante las cuales la mina ha sufrido inundaciones. Por otra parte se determinó, mediante análisis de mapas topográficos, el área de la cuenca tributaria de aguas de escorrentía, donde tras haber obtenido dicha área y la estimación de la precipitación de interés antes mencionada, se calculó el volumen de agua que ingresa por escorrentía. Una vez obtenidas las proyecciones de las precipitaciones, se calcularon los tamaños de las canalizaciones y de las diferentes estructuras de sedimentación que son necesarias.

Los datos obtenidos de los diferentes ensayos de permeabilidad, bien sean tipo Lefranc o tipo Leugeon, ofrecieron la oportunidad de saber la

velocidad del agua que se desplaza en el subsuelo, con lo cual se obtuvo, luego de escoger una sección representativa de la mina, el caudal de agua que puede entrar a la misma, a través de los cortes de los taludes.

Una vez analizados los datos y los resultados de los cálculos se realizó un balance hídrico de donde se obtuvo la capacidad requerida de las bombas de achique, alojadas en un sumidero en el fondo de la mina.

Luego de determinado el caudal que se desplaza en el subsuelo y el cual ingresa a la mina para su posterior bombeo, fue posible inferir la afectación que se realiza sobre la recarga natural del subsuelo y cómo se afecta, de manera directa, el entorno ambiental. También fue posible inferir niveles de afectación con visión hacia el futuro, cuando comiencen a ser explotados, con métodos de explotación semejantes, otros recursos carboníferos en la misma región. Es importante destacar la relación espacial entre la disposición de la cuenca carbonífera y de la cuenca hídrica.

CAPÍTULO I

RECURSOS FÍSICOS Y AMBIENTALES EXISTENTES EN EL ESTADO ZULIA

“Cualquier bien capaz de suministrar a su poseedor alguna utilidad o beneficio constituye un *recurso*, en términos usuales de economía. De acuerdo con las diferentes formas en que un ser humano puede enfocar el uso y/o disfrute de la Tierra,(...)”. (*Bustillo y López, 2000*).

El estado Zulia, en la región noroccidental de Venezuela, según Encarta (2003), se ha consolidado como un polo de desarrollo para Venezuela durante el siglo XX, favorecido por la disponibilidad de recursos naturales y las facilidades portuarias que éste posee. Aunque es un estado reconocido principalmente por su industria petrolera, el sector oeste del lago de Maracaibo se caracteriza, no obstante, por actividades económicas del sector agropecuario, como el cultivo de uva, coco, maíz y por ganadería para carne y leche; además por una variedad de industrias del sector de manufactura de alimentos.

Sin embargo, los yacimientos de carbón de la cuenca Guasare-Socuy-Cachirí son importantes recursos minerales que existen en la región y que actualmente se vislumbran como un polo de desarrollo económico para el siglo XXI. Al sur de este sector se encuentran áreas cenagosas con grandes recursos de fauna silvestre.

Como indican J. Paz y B. Bravo (1993), es posible darse cuenta de la aceleración que ha existido en el proceso de contaminación del Lago de Maracaibo. Esto ha puesto en peligro el equilibrio del ecosistema y vulnerado la capacidad natural de asimilación y autodefensa frente al volumen de nutrientes y otras sustancias que recibe.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARNR), ha difundido públicamente, en el año 2002, que el Lago de Maracaibo recibe las descargas domésticas, sin tratar, de más de 3 millones de habitantes, 110 industrias altamente contaminantes, 220 granjas porcinas, 22 derrames de petróleo mensuales y grandes cantidades de nutrientes y plaguicidas a través de los ríos tributarios. Con estas descargas se sobrepasa la capacidad de auto purificación del ecosistema (J. Pérez, MARN 2002).

1.1 CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS

Como se indica en www.venezuelatuya.com/geografía/, de los 63.100 Km² que ocupa la superficie del estado Zulia (6,92% de territorio nacional y sexto estado de mayor tamaño), 50.230 Km² (79,6%) corresponden al área continental, ocupando los otros 12.780 Km² (20,4%) el Lago de Maracaibo y parte del Golfo de Venezuela.

Posee 1.252 Km de costa, de los cuales 185 Km corresponden a costas marítimas, 728 Km a costas lacustres y 340 Km a costas fluviales. El origen de su plataforma continental se debe principalmente a una división de la Cordillera de los Andes. Por su extremo occidental se eleva la Cordillera de Perijá y por su extremo sur occidental y meridional se levanta la Cordillera de los Andes, contribuyendo aun más las estribaciones de la Serranía de Ziruma en su parte sur oriental. Estas dos primeras conllevaron a que se creara una depresión tectónica, que con el tiempo se formaría en una cuenca sedimentaria, ocupando su centro el Lago de Maracaibo.

Una característica muy importante de resaltar es que por el hecho de que el Lago de Maracaibo, aunque se comunice con el Golfo de Venezuela constituido por agua salada, se encuentra conformado por agua dulce, ya que su canal de comunicación con el Golfo de Venezuela posee poca profundidad, siendo su principal fuente de alimentación los innumerables ríos que desembocan en él.

1.1.1 LOCALIZACIÓN

El Yacimiento Carbonífero del Guasare se encuentra ubicado en el pie de monte oriental de la Sierra de Perijá en el Sinclinal de Manuelote, al noroeste del estado Zulia, en el municipio Páez. Se ubica en las coordenadas geográficas N 1.215.000 – 1.225.000 de latitud norte y E 795.000 – 800.000 de latitud oeste. La cuenca carbonífera tiene una extensión aproximada de 50 km de largo, en dirección norte–sur, por unos 3 km de ancho. El poblado más cercano al área de trabajo de la Mina Paso Diablo es Carrasquero, el cual se encuentra a 53 km y la mina Paso Diablo se encuentra a unos 100 km al noroeste de la ciudad de Maracaibo.

1.1.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

Los datos básicos considerados como parámetros climatológicos son: la precipitación, la temperatura, y la evaporación. CDG, mediante un convenio de cooperación técnica con MARN (convenio CDG – MARN),

mantiene en funcionamiento tres estaciones meteorológicas completas; La estación climatológica Carichuano, ubicada en las coordenadas 11°00'20" de latitud norte y 72°16'20" de longitud oeste , la estación climatológica El Carbón, ubicada en las coordenadas 11°04'24" de latitud norte y 72°15'28" de longitud oeste y la estación climatológica ubicada en el Embalse de Manuelote.

PRECIPITACIÓN

Según histogramas de precipitación de la estación climatológica El Carbón, elaborados por MARN (2003), la distribución media mensual para ocho años (periodo 1994 – 2002), es bimodal, las máximas precipitaciones se producen entre los meses de abril a mayo y de agosto a noviembre; las mínimas se registran entre los meses de diciembre a marzo y de junio a julio, con un promedio anual de 1.004,2 mm.

Las precipitaciones anuales registradas en la estación El Carbón son muy variables, particularmente entre 1996 y el resto de los años. El año 1996 la precipitación anual fue de 633,4 mm, en cambio en el resto de los años varía entre 990,5 mm (1998) y 1.191,9 mm (1995).

En la estación climatológica Carichuano, para el periodo de ocho años (1994 – 2002), la distribución mensual de las precipitaciones también es bimodal, muy similar al registro de la estación climatológica El Carbón, con máximos entre los meses de abril a mayo y de agosto a noviembre; en cambio los mínimos se registran entre los meses de diciembre a marzo y junio a julio. El promedio anual para este periodo es de 1.012,0 mm, el cual

tiene poca diferencia (998,3 mm) con relación al último período evaluado, 1994 – 1998.

TEMPERATURA:

La temperatura mínima media varía entre 21,1 °C y 25.5 °C, con un promedio anual de 23,5 °C en la estación climatológica EL Carbón y entre 21,6 °C y 24,4 °C, con un promedio anual de 23,1 °C en la estación climatológica Carichuano. La Temperatura máxima media varia entre 31,5 °C y 35,2 °C con un promedio anual de 32,5 °C para la segunda estación climatológica. La temperatura media anual varía entre 26,3 °C y 29,9 °C, con un promedio anual de 28,3 °C y entre 26,2 °C y 29,1 °C, con un promedio anual de 27,8 °C, respectivamente. La diferencia de la temperatura media con relación a la máxima y la mínima es cerca de ± 5 °C.

EVAPORACIÓN:

Las distribuciones mensuales de la evaporación potencial para el periodo de 1994 – 2002, en las estaciones climatológicas El Carbón y Carichuano, son similares. Estas distribuciones son bimodales, con máximos entre los meses de marzo a abril y de junio a septiembre y los mínimos entre octubre y febrero y en el mes de mayo. Los promedios anuales para la primera estación climatológica es de 1.985,1 mm y de 1.958,5 mm para la segunda. Estos valores son parecidos a los del periodo 1994 – 1998, el último que fue evaluado. Los meses con evaporaciones más altas coinciden con los meses de mayor temperatura.

GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE

Según González de Juana (1986) los suelos se encuentran conformados por una gran variedad de materiales litológicos y texturizables bajo cambiantes condiciones climáticas y topográficas a través de las diferentes eras geológicas, así como a la complejidad de los procesos formativos de la Sierra de Perijá.

Según análisis hipsométrico (1995) de CDG, se llegó a la conclusión de que el área en estudio, viene a formar parte del relieve del piedemonte, perteneciente a la cuenca del río Guasare, la cual constituye una zona de altitud moderada cuyas partes más bajas se encuentran entre los 80 y 100 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y las más elevadas alcanzan altitudes de unos 220 m.s.n.m.

De una forma general, la cuenca hidrográfica del Guasare presenta una pendiente media de un 52%.

Esta área se caracteriza por presentar:

- Una zona plana y suavemente inclinada, cuyas pendientes no son mayores de un 7%.
- Una zona que viene a ser la parte más accidentada del área estudiada, formada por algunas montañas adyacentes a los caños y cuyas pendientes sobrepasan el 20%.
- El sector donde se encuentra la mina, está constituido por colinas y valles con elevaciones máximas de 200 m.s.n.m y cota media de 150 m.s.n.m.

SUELOS

Por otra parte, los suelos que conforman este sector presentan entre sus características más resaltantes las siguientes: Presentan un horizonte Ocrico, contextura franca y un horizonte Argílico, entre 20-80 cm, con textura franco arcillosa; permeabilidad moderada; ph ligeramente a moderadamente ácido (5,9 – 6,6); bajo a muy bajo contenido de carbón orgánico, levemente lixiviado, baja conductividad eléctrica y sin problemas de salinidad.

1.2 RECURSOS FÍSICOS

En concordancia con lo que establece Bustillo y López, 2000. Los recursos físicos son aquellos recursos que se encuentran en la tierra, aptos para su aprovechamiento, y estos pueden ser clasificados según su naturaleza en recursos minerales y recursos hidráulicos.

1.2.1 RESERVAS MINERALES EN LA CUENCA CARBONÍFERA DE SAN RAFAEL DE GUASARE

De acuerdo con informes técnicos de CDG, los recursos geológicos totales presentes en la Cuenca Carbonífera del Guasare son de 6.803 MMTn, mientras que las reservas minerales están cuantificadas en 1.021 MMTn. Las reservas minerales totales en el área norte del depósito Paso Diablo son 135 MMTn. Todo el tonelaje está reportado sobre la base de una densidad relativa estandarizada a 3,5% de humedad natural.

Las reservas carboníferas en la Mina Pasi Diablo, han sido divididas en cuatro bloques principales con el propósito de hacer un análisis rápido.

Estas cuatro áreas son:

- Baqueta– El pit actual hasta la pared final alta.
- Baqueta Norte– El área inmediatamente al norte del actual pit Baqueta, la cual ha sido previamente desarrollada en 1999.
- Cerro Baqueta (Pork Chop Hill)– el área entre el actual pit Baqueta y la anterior mina Paso diablo.
- Área Norte – el área al extremo norte de las reservas, al norte de Baqueta Norte y limitada por el banqueo de mina.

Las figuras 1 y 2, muestran respectivamente, la cantidad de reservas de mineral de carbón con los que cuenta la cuenca carbonífera y la cantidad de recursos de carbón presentes en Venezuela.

1.2.2 *CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS DE LA CUENCA CARBONÍFERA SAN RAFAEL DE GUASARE*

González de Juana y otros (1980), señalan que los yacimientos minerales de tipo sedimentario se encuentran unidos a depósitos geológicos

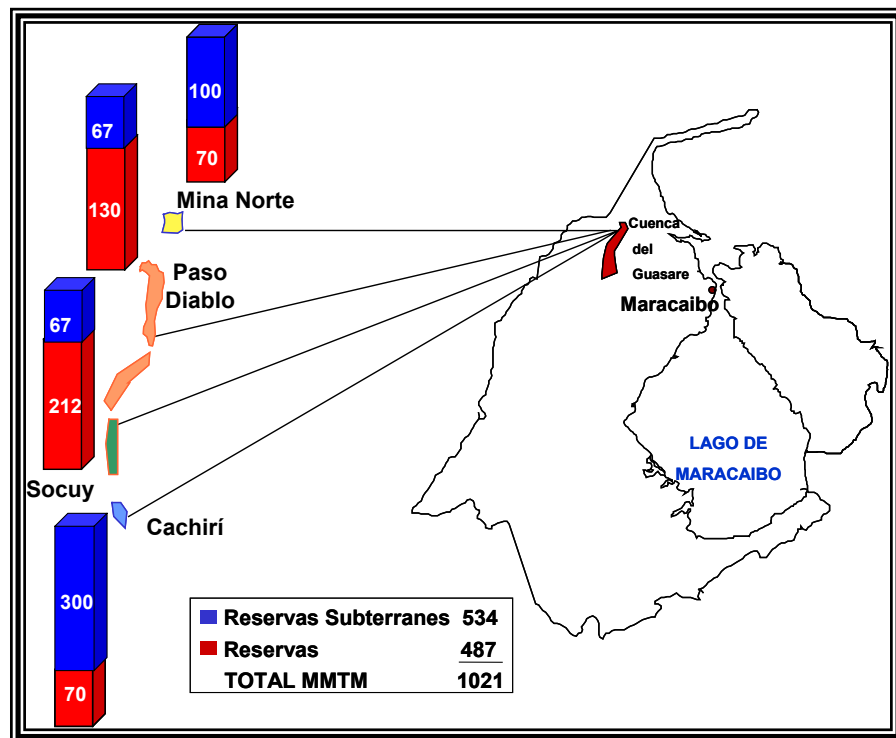


Figura 1. Reservas de mineral de carbón en la Cuenca Carbonífera del Guasare.
Fuente: C.D.G. (2000)

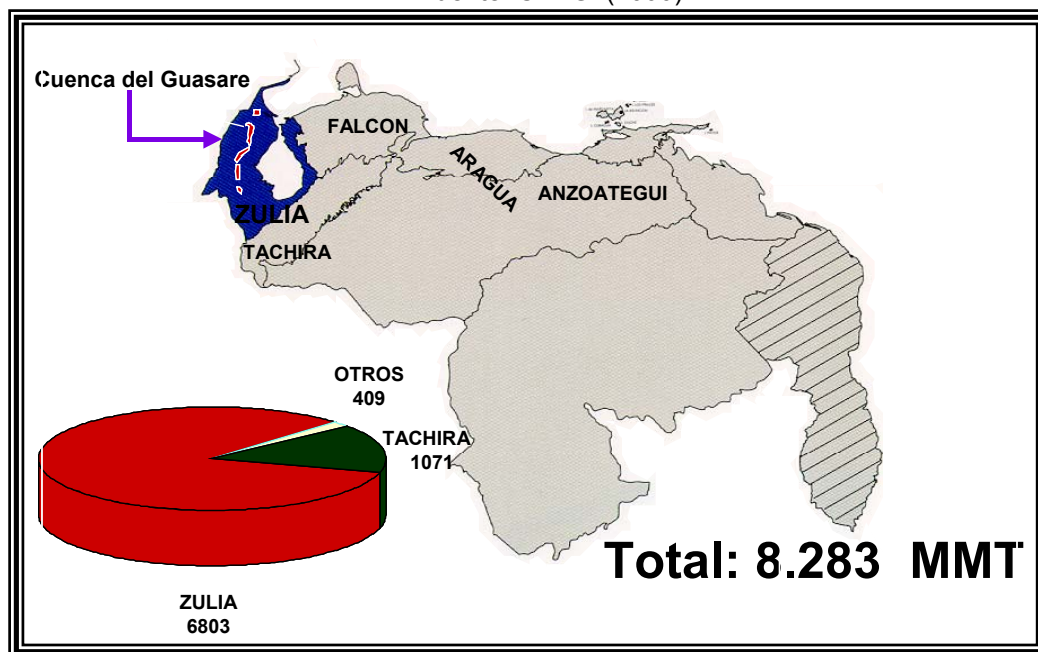


Figura 2. Recursos geológicos de mineral de carbón presentes en Venezuela.
Fuente: C.D.G. (2000)

de una determinada edad, esto se encuentra relacionado a que en la Tierra (o de determinadas zonas de la misma) existieron períodos relativamente cortos, favorables para la acumulación del carbón, separados por períodos prolongados en los que no se produjo acumulación mineral.

Las unidades litológicas que afloran en esta sub-zona, la atraviesan de NE a SW en una secuencia normal de sedimentación. Estos afloramientos pertenecen a las Formaciones Guasare, Marcelina y Misoa. Diferenciando a la Formación Marcelina por ser la de mayor interés geo-económico en el sector por ser la principal portadora de carbón.

FORMACIÓN GUASARE

Como se señala en www.lexicoestratigrafico.com.ve (2003), la Formación Guasare, de edad Terciario temprano, pertenece al Paleoceno Inferior y Medio, teniendo un desarrollo areal amplio, pues ha sido encontrada en el subsuelo de la parte norte del Lago de Maracaibo.

Su contacto con la Formación Marcelina, es suprayacente, concordante y abrupto. Como referencia generalizada se considera que el límite estratigráfico está por debajo del carbón, el cual presenta un horizonte de caliza fosilífera subyacente. Dicho carbón vendría a ser el primero del grupo 1 de la Formación Marcelina.

Este contacto superior no es constante; se cita en otros sitios la presencia de una delgada capa de yeso que no ha sido encontrada en el área estudiada; la mayoría de las veces, sin embargo, se presenta una caliza fosilífera cavernosa con bastantes huellas de disolución, acompañada de

rocas de origen secundario como trasvertidos que aparecen formando pequeños diques en los caños y cascadas petrificadas en los caños afluentes.

Su espesor total desde su contacto con la Formación Mito Juan ha sido calculado en otros trabajos para el área entre 380 y 425 m. Litológicamente la Formación Guasare está caracterizada por calizas grises, finas, opacas, primordialmente fosilíferas (coquinas), intercaladas con areniscas calcáreas de grano fino, y en paquetes de poco espesor, limolitas y lutitas carbonáceas, calcarenitas de color gris.

Por la dureza de las calizas, que son porcentualmente más abundantes, se formó por erosión diferencial del relieve, la Fila del Guasare cuyas prominencias son visibles desde el área de la misma.

Su contacto con la Formación Marcelina, suprayacente, se ha reconocido en numerosos sondeos y se le atribuye transicional abrupto, ubicado en el primer carbón de medio metro de espesor que infrayace a una caliza delgada.

Es importante destacar que esta formación geológica, a pesar de que está conformada en su mayoría por calizas, se encuentra a más de 400 m de profundidad en el área de la mina, por lo que el aporte de aguas subterráneas es limitado.

FORMACIÓN MARCELINA

González de Juana y otros (1980), establecen la edad de la Formación Marcelina como Paleoceno Superior-Eoceno Inferior, equivalente con la

Formación Los Cuervos en la región de los Andes. Sus contactos tanto con la Formación Guasare como con la Formación Misoa-Mostrencos son concordantes y transicionales, presentando localmente contacto de falla con la primera, en un sector del caño Paz.

Como se establece en www.lexicoestratigrafico.com.ve (2003), su litología es la de mayor interés geo-económico en el sector por ser la principal portadora de carbón, razón por la cual ha sido sometida a exhaustivos estudios geológicos de superficie y en el subsuelo, arrojando resultados positivos en cuanto a su condición geológica para una minería a Cielo Abierto (Mina Paso Diablo) y en cuanto a la calidad físico-química de sus carbones, para uso siderúrgico y termoeléctrico.

El espesor máximo medio de la Formación Marcelina para la zona, varía entre 550 y 590 m; se trata de una secuencia estratificada de limolitas-lutitas carbonáceas de color gris oscuro; lutitas carbonáceas oscuras, generalmente negras; areniscas de color gris claro a blanquecinas y carbón de color negro, unas veces con brillo, otras mate.

Las lutitas carbonáceas tienen un alto contenido de materia orgánica, siendo descritas con cierta frecuencia como limolitas, especialmente cuando se presentan finamente interestratificadas, con capas de limos o arenas finas, formando lo que se ha llamado estratificación tipo *flaser* que es típica y abundante en la columna litológica de la zona y puede presentar diversas combinaciones de arenisca, limonita y lutita, con predominio de una de ellas.

Las areniscas se presentan con mayor frecuencia con grano fino a medio, generalmente bien cementadas y con una alta dureza y resistencia a la meteorización, que las hace resaltar en las zonas donde afloran. Además de estas rocas, se describen rocas quemadas producto de la cocción de rocas de litología diversa, resultado de la auto ignición del carbón, este material bien podría ser utilizado como material de préstamo para el recubrimiento de los canales de conducción de aguas de escorrentía, propuestos en la Sección 6.1.

En algunos sectores la secuencia estratigráfica comienza en su base con varias capas de calizas de espesores variables, de algunos centímetros hasta 3 m, algunas de ellas fosilíferas.

La primera capa de carbón de la Formación Marcelina se encuentra a unos 45 m aproximadamente por encima del contacto con la Formación Guasare y tiene 1 m de espesor. Los mantos de carbón, inmediatamente superiores, aumentan su potencia hasta el manto de carbón N° 4 que alcanza un espesor de hasta 13 m.

En sentido ascendente, se observa en la columna litológica que van desapareciendo las calizas y los fósiles, la estratificación cruzada es menos frecuente y se abren paso las lutitas, limolitas y areniscas de grano fino. En orden porcentual, la Formación Marcelina se caracteriza por presentar un 38% de limolitas, 30% de lutitas, 10% de areniscas, 10 % de intercalaciones finas de lutitas, limolitas, lodolitas y areniscas y finalmente 12% de carbón puro.

Como establece Rubio (1999), a pesar de que la mayoría de las veces las formaciones geológicas asociadas al Carbón están relacionadas con rocas poco permeables como lutitas, limolitas y lodolitas cuyos coeficientes de permeabilidad son muy bajos ($1 \cdot 10^{-5}$ cm/s – $1 \cdot 10^{-7}$ cm/s), es importante destacar que muy probablemente exista una permeabilidad secundaria, la cual se genera entre los contactos de los diferentes estratos de rocas y principalmente del carbón, debido a su poca dureza. Más aun, esta permeabilidad secundaria se podría ver favorecida por el fallamiento intenso característico de estas formaciones geológicas.

FORMACIÓN MISOA

González de Juana y otros (1980), establece que sobre la base de estudios palinológicos y de macro foraminíferos se ha determinado que la Formación Misoa data del Eoceno Medio Superior. Su contacto con la Formación Marcelina es discordante, pudiendo ser el conglomerado basal la expresión de un movimiento tectónico que marcó la iniciación de una transgresión.

Como se establece en www.lexicoestratigrafico.com.ve (2003), la litología, en su parte basal, está caracterizada por la presencia del conglomerado polimíctico, grueso, blanco grisáceo, con clastos de hasta 2,5 cm de cuarzo, carbón y una variedad de rocas en fragmentos redondeados, cementados en una matriz arenácea.

La sedimentación continúa con areniscas, limolitas y carbones; las primeras se presentan de color gris blanquecino a marrón, de grano fino a

medio, duras de estratificación, unas veces masivas y otras *flaser*, con inclusiones de materia orgánica y en general encontradas en la Formación Marcelina. Las limolitas se presentan de colores negro a gris, unas veces masivas y otras laminares, con bandas finas de color diferente; negro cuando son lutíticas y gris claro cuando son arenáceas, contienen mica, pirita y bastante materia orgánica.

En la Figura 3. Se muestra la correlación geológica existente entre las tres formaciones geológicas descritas anteriormente, pertenecientes a la

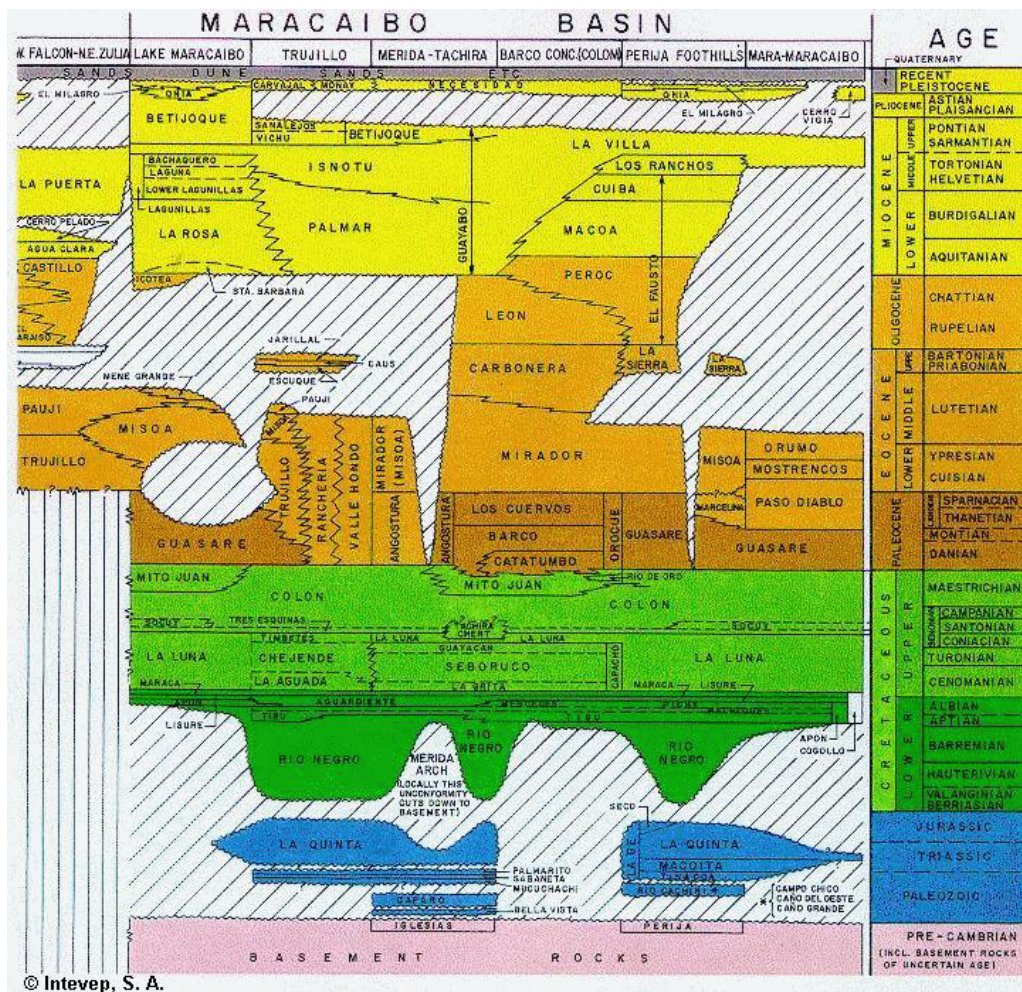


Figura 3. Correlación geológica de la cuenca de Maracaibo.
Fuente: INTEVEP (1998)

cuenca de Maracaibo.

1.2.3 CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES Y TECTÓNICAS

El norte de la Sierra de Perijá ha sido sometido a esfuerzos de una tectónica de compresión (fallas inversas, plegamientos y discordancias) durante el Terciario Superior y el Cuaternario. Identificándose así un sistema de fallas regionales de carácter longitudinal o de rumbo, con respecto a la estructura principal, completando con fallas menores de ajuste, unas aproximadamente perpendiculares a las anteriores y otras diagonales.

El arreglo tectónico – estructural es fundamentalmente el resultado de esfuerzos compresionales Este-Sureste con empujes provenientes de la cadena orogénica de Perijá.

En el Anexo 1 se presenta un mapa geoestructural, en donde, a pesar de la falta de detalle, por la escala utilizada (1:25.000) permite obtener una idea del fracturamiento y fallamiento intenso de la zona.

La falla de Oca es un rasgo estructural importante en la región; particularmente, en la proximidad del río Guasare en el sector norte de la mina Paso Diablo. Este rasgo estructural ha incidido en las decisiones de planificación de mina. La zona superficial meteorizada de roca y suelos coluvio-aluvionales, las capas de carbón y las zonas de roca quemada, representan las unidades estratigráficas que parecen presentar mejores condiciones de permeabilidad y conducción de aguas subterráneas. Los efectos de las estructuras de fallas no son bien conocidos, pero pueden

servir como conductoras de aguas o como barreras limitantes del flujo de las mismas (González de Juana y otros, 1980).

Como se establece en www.lexicoestratigrafico.com.ve (2003), el cuadro regional estructural se presenta del siguiente modo: la estructura geológica principal es el sinclinal asimétrico de Manuelote, que tiene unos 50 Km de largo y su eje se desarrolla del sur-suroeste al nor-noreste con un ligero buzamiento al sur.

Este macropliegue se descuelga de la Sierra de Perijá, que se halla al oeste, donde ha quedado al descubierto por la erosión de los sedimentos más antiguos, emergidos por la orogénesis andina durante el Terciario.

En el extremo norte, el sinclinal se cierra por acuñamiento en el área tectonizada de la falla de Oca. Al este, se tiene una profundización permanente de los estratos hasta alcanzar el eje del sinclinal que se encuentra a 7 Km al sur-este del centro de operaciones de CDG, el cierre está definido por la falla regional de El Tigre y su falla de ajuste Venecia (Sierra de Cachirí y de Guineos). Al oeste su límite lo marca una estructura anticlinal de flancos suaves (Formación Guasare).

En el Pit Baqueta de la Mina Pasi Diablo, puede decirse que ésta se encuentra en el flanco occidental del Sinclinal de Manuelote, en cuyo extremo norte se evidencia un estrangulamiento de la franja que se acuña parcialmente al contacto con la Formación Guasare, en las proximidades del río del mismo nombre.

Podemos encontrar en el sitio del Corredor de Falla Este, comprendido por 2 fallas inversas con saltos verticales de 20 a 50 m, buzamiento hacia el Oeste y rumbo N 10° E y en el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo una transicional, en su mayoría de dirección N 45° W. Se debe mencionar que en los afloramientos han sido descritas fallas locales menores con pequeños desplazamientos, del orden de metros, tanto verticales como horizontales, que pueden ser el resultado de relajamiento y descompresión post-tectónica.

1.3 RECURSOS AMBIENTALES

Según Bustillo y López (2000), los recursos ambientales son aquellos bienes, con la capacidad de aportar a su poseedor alguna utilidad o beneficio, desde el punto de vista de la ecología.

1.3.1 RESERVAS EN LA CUENCA HÍDRICA DE SAN RAFAEL DEL GUASARE

La cuenca se encuentra en un área de baja pluviosidad anual, entre 600 y 1.200 mm, principalmente inferior a 1.000 mm / año. Corresponde ésta a una región de restringida disponibilidad de agua, por tal razón el Ejecutivo Nacional decidió la tipificación de este territorio como un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), tal como se verá en la Sección 3.8.1., en la cual la aridez de los suelos es una característica relevante, de allí que se tipifican como aridisoles y con drenaje excesivo.

Destaca en el escenario hidrológico el río Guasare en la Cuenca Hídrica de San Rafael de Guasare, ver figura 4.

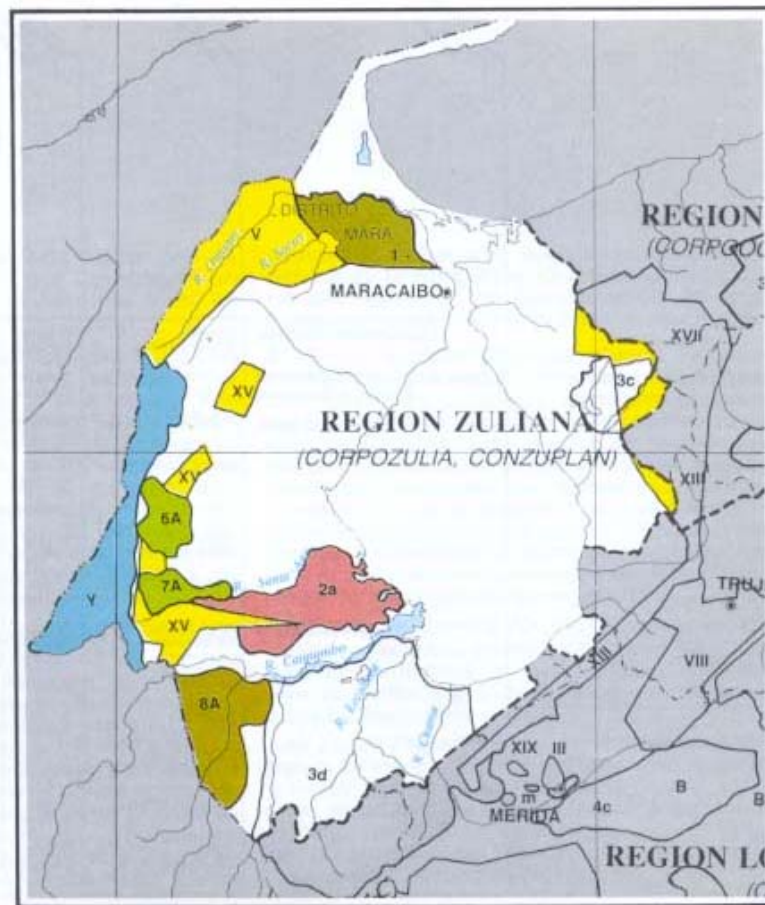


Figura 4: Áreas Bajo Régimen de Administración Especial de la Región Zuliana, donde destaca el Río Guasare.
Fuente: Maraven, S.A., Áreas Protegidas de Venezuela.

En la mayor parte del área donde se ubica el yacimiento carbonífero, aproximadamente el 60% presenta drenaje de tipo dendrítico, como consecuencia de la unidad litológica que incluye tanto la roca quemada como la roca no afectada por calcinación. Los caños son de régimen intermitente, siendo los principales: Planeta, Colorado y Baqueta. Los caños presentan caudal apreciable en épocas de lluvia, principalmente entre julio y septiembre. Se observan depósitos de travertino o tufas calcáreas,

dispuestas escalonadamente, a lo largo de los cauces, los cuales permiten la formación de lagunas naturales, que funcionan como decantadores.

La excavación de la mina, incluida el área de las escombreras, intercepta por el lado oeste a tres caños de mediana importancia: caño Derecho, caño Izquierdo y caño Colorado, y por el lado sur, intercepta al caño Carichuano.

La información hidrometeorológica medida es utilizada en planificación minera, para construcción civil y servicio de mina y para control de calidad ambiental, recientemente se ha instalado una estación metereológica, en el área del *Dispatch*, el cual será explicado en la Sección 2.8., en la Pared Alta del Pit Baqueta.

Para el control de calidad de las aguas en superficie, el convenio CDG-MARN, incluye el monitoreo de aguas del caño Paso Diablo en ocho puntos de control; desde su nacimiento, aguas arriba de la mina, hasta el río Guasare, donde hay un punto adicional, aguas abajo de la descarga del caño Paso Diablo. Asimismo, se toman muestras periódicas del caño Carichuano.

Por otra parte, se realizan mediciones mensuales de niveles estáticos de agua en diez pozos, distribuidos en el área de influencia de la mina, para el control de aguas subterráneas. También incluye el aforo mensual del caño Paso Diablo, en cuatro puntos diferentes, con captación trimestral de muestras de agua para análisis físicoquímico y biológico, a los fines de correlacionar resultados con aquellos de los pozos.

1.3.2 COMUNIDADES INDÍGENAS

En concordancia con lo establecido en <http://www.ub.es/geocrit/b3w-152.htm>, la población indígena actual del estado Zulia se reparte entre tres grupos étnicos importantes: los Guajiros o Wayuu, en la península de la Guajira (a ambos lados de la frontera colombo-venezolana, frontera que para ellos no tiene mucha significación desde el punto de vista histórico e incluso legal), los Yucpa y los Bari, estos dos últimos, pertenecientes al grupo de los Motilones, habitantes de las estribaciones meridionales de la serranía de Los Motilones, que pertenece al sistema de Perijá.

Como fue descrito en la sección 1.1.2, la Guajira es un área muy seca, sin embargo, el modo de vida de los Guajiros se ha adaptado bastante bien a un ambiente francamente hostil. Casi resulta asombrosa su supervivencia como un grupo étnico muy bien definido desde el punto de vista cultural, en las proximidades de una ciudad tan grande y cosmopolita como Maracaibo, con casi dos millones de habitantes. El orgullo del pueblo Guajiro y su sentido de "pertenencia" a la etnia "Wayuu", se ponen de manifiesto en la indumentaria típica, sobre todo de las mujeres, quienes, a diferencia de lo que sucede con los demás grupos indígenas americanos, han sido las principales responsables de esa supervivencia cultural.

Los Guajiros son buenos comerciantes y artesanos y tienen a la ganadería caprina como un complemento en su economía. La introducción de palmeras datileras, podría ser un excelente factor de desarrollo de la

Guajira, donde las condiciones son óptimas para dicha planta: sol y pocas lluvias, oscilaciones térmicas diarias bastante grandes (unos 15 grados aproximadamente) y un manto freático bastante próximo a la superficie, como resultado de la existencia de algunos relieves de rocas calcáreas del sistema de Perijá, paralelos a los Montes de Oca, que dirigen a los ríos Guasare, Socuy y algunos menores hacia el norte, es decir, hacia el área de clima seco de la Guajira.

Como se establece en <http://www.csf.colorado.edu/mail/elan.html>, recientemente las comunidades indígenas Yukpa y Bari, los campesinos y el sector ganadero, apoyados por la Alcaldía del Municipio Machiques y grupos ambientalistas de la región han decidido formar un gran frente contra la minería, promoviendo acciones legales ante la Corte Suprema de Justicia y la Corte Interamericana de los Derechos Humanos (CIDH, Washington).

Por otra parte, la Diócesis de Machiques reiteró el repudio de la Iglesia Católica a la explotación del carbón en la Sierra de Perijá. Este hecho revela un hito muy importante en la historia del movimiento ambientalista del Zulia y de Venezuela, al evidenciarse la coincidencia de amplios y heterogéneos sectores sociales en enfrentar la destrucción de los ecosistemas perijaneros, por el avance de los planes mineros y petroleros, preocupados principalmente por la destrucción ambiental que esto causaría en el último reducto de agua dulce de la región, pulmón verde y despensa vital del Zulia, como lo es la Sierra de Perijá.

1.3.3 COMUNIDADES BIOLÓGICAS

En la Sierra de Perijá todavía se encuentra casi la mitad de las 1.300 especies de aves que habitan en Venezuela. Como se establece en <http://csf.colorado.edu/mail/elan/mar01/0058.html>, aun es el hábitat natural de especies en extinción como: el Oso Frontino, la Danta, el Jaguar, el Condor de Los Andes, el Paují Copete de Piedra, el Caimán de la Costa, etc. Recibe aves migratorias de Norteamérica y otros continentes. Sirve de refugio a especies de mamíferos que representan la mitad de los ordenes existentes en el mundo. Además, es un sistema natural con un alto grado de endemismo, vale decir, con presencia de especies fáunísticas y florísticas únicas en el mundo.

Recientes investigaciones preliminares de La Universidad del Zulia (LUZ), lograron el descubrimiento de unas catorce especies nuevas para la Humanidad, en una exploración realizada tan sólo en la zona baja de la Sierra de Perijá, y se tiene por cierto que en los pisos medios y altos de la cordillera, muy poco investigada, se encuentren miles de nuevas especies y variedades desconocidas de gran utilidad para la ciencia. A la vez, enmarcada en los límites con Colombia presenta un alto valor geopolítico y geo-económico, pues posee ricos yacimientos de petróleo, carbón, bauxita, fosfato, oro, e inclusive, se afirma la existencia de mineral uranio, y otros minerales "estratégicos".

La vegetación varía de acuerdo a la temperatura, la precipitación y a la topografía del área, por lo cual, se puede decir que está constituida en su mayoría por especies deciduas, de capas redondas a semiplanas, de moderada densidad y con un dosel relativamente poco compacto. La vegetación de la zona está caracterizada por especies de porte mediano, bajo o rastreras, dado el alto grado de intervención a que fue sometida en épocas pasadas, al ser extraídas grandes cantidades de material comercial para surtir la industria del acerío de la zona.

En las áreas planas pueden diferenciarse tres estratos bien definidos, encontrándose de la siguiente manera: i).- un estrato superior o arbóreo representado por individuos aislados de algunas especies, tales como: Jabilla, Vera, Canalete, Curarire, Lara o Saman, entre otros, ii).- por especies herbarias y la regeneración natural de algunas especies del estrato superior; un sotobosque o piso intermedio el cual presenta la característica de ser despejado o ralo, con muy poca regeneración natural del bosque; y iii).- un estrato inferior, conformado en su mayoría por especies rastreras, las cuales no son muy exigentes en cuanto a luz solar se refiere.

Por las características antes indicadas es que grupos ambientalistas, tales como: ANPA Grupo Azul, Grupo Ambientalista del Bajo, entre otros, centran sus esfuerzos en dar un rechazo contundente a la actividad minera, y así lo hacen saber a través de comunicaciones enviadas a CORPOZULIA. Por esta razón, surge la necesidad de insertar la actividad minera, en este caso del carbón, en el concepto de desarrollo sustentable, para que sea un

proceso que se realice en armonía con el medio ambiente que la rodea, previendo y mitigando los impactos generados.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE CARBONES DEL GUASARE, S.A.

2.1 RESEÑA HISTÓRICA

De acuerdo con diversos informes técnicos de CDG, en 1876 se le atribuye el descubrimiento de la Cuenca Carbonífera del Guasare (CCG), al General, Ingeniero Geólogo y Geógrafo Wenceslao Briceño Méndez, quien por encargo del gobierno del estado Zulia, descubre los grandes afloramientos de carbón lustroso que existen en el sector del Guasare; pero no fue hasta 1972 cuando el Ministerio de Energía y Minas (MEM), inicia los estudios geológicos, certificando la existencia de importantes reservas de carbón. A partir de 1973 se otorga a la Corporación de Desarrollo del Zulia, (CORPOZULIA) las concesiones sobre 70.000 hectáreas, para la exploración de la CCG.

En 1976 se crea Carbones del Zulia S.A. (CARBOZULIA), filial de CORPOZULIA y el Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV). En 1986, por decisión del Ejecutivo Nacional, Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) adquiere las acciones que CORPOZULIA y el FIV tenían en CARBOZULIA y se firma el convenio de arrendamiento a PDVSA de las concesiones otorgadas a CORPOZULIA en 1973, mediante el compromiso del pago de una compensación de 10% del valor del producto libre de fletes y seguros (FOB, por sus siglas en inglés, free on board) de las exportaciones de carbón, iniciándose entre otras actividades el proceso de licitación del socio internacional, el cual concluyó con la creación de CDG, el 2 de agosto de 1988.

CDG se dedicaría a partir de esa fecha, 1988, a la exploración y explotación del yacimiento “Paso Diablo”, ubicado en la zona del Guasare, distrito Mara, al norte del estado Zulia. Estas actividades incluyen minería, transporte y comercialización del carbón extraído en la mina, siendo la producción planteada de 1,5 MMTn. A partir de 1990, CDG, da un giro comercial al aumentar su producción hasta 2,5 MMTn, momento en el cual se inicia la exoneración del Impuesto Sobre la Renta (ISLR), otorgado por el Ejecutivo Nacional por un período de 5 años.

Tres años más tarde, CDG es conformada como una empresa mixta cuyos socios principales son CARBOZULIA, filial de PDVSA en un 49%, la empresa AGIPCOAL de Italia con un 48% y por SOFIMARA del Banco de Maracaibo con un 3%. Para ese año se exportó la cantidad de 5,6 MMTn de carbón. Desde 1999 la empresa CDG firmó un contrato por 5 años con la empresa Morrison Knudsen Corporation (MKC) perteneciente a la empresa Washington Group y radicada en los Estados Unidos, (USA), esta empresa tiene más de 80 años de experiencia en minería de carbón, implementando mejoras en el proceso, reduciendo los costos y aumentando la eficiencia operacional de la mina, recientemente, por decreto del Ejecutivo Nacional, las acciones pertenecientes a PDVSA fueron cedidas a CORPOZULIA, con miras a promover la descentralización y el desarrollo de tipo endógeno de la industria Venezolana.

2.2 UBICACIÓN Y ACCESO A LA MINA PASO DIABLO

El acceso a las oficinas de CDG, ubicadas en la Mina Paso Diablo, se realiza mediante las vías asfaltadas de la carretera Maracaibo – Carrasquero y la carretera Maracaibo - La Mirella - Campamento General Wenceslao Briceño Méndez, que conducen hasta las instalaciones de la mina. Desde Maracaibo, aproximadamente a 3 Km, luego de pasar el caserío La Mirella, se toma un desvío hacia la derecha que conduce al centro de operaciones mineras de CDG. El acceso hacia el campamento se realiza por vías asfaltadas, transitables durante todo el año y para todo tipo de vehículo. Ver figura 5.

2.3 MISIÓN DE CDG

Según se recoge textualmente en www.guasare.com, CDG tiene como misión: “Producir, transportar y embarcar consistentemente carbón de alta calidad de una manera eficiente y a costos efectivos en el mercado internacional; operando con seguridad y responsabilidad ambiental. Enfocándonos en las necesidades de los clientes de carbón de alta calidad con precios competitivos, Carbones del Guasare combinará la calidad mundialmente conocida de sus reservas con la eficiente utilización de su capital, tecnología y recurso humano para maximizar el valor de los accionistas y posicionarla para futuros crecimientos, reconociendo el valor de sus trabajadores y apoyando el desarrollo del entorno local.” Por este compromiso ético hacia las personas es posible plantear el objetivo de este

estudio, dado que el manejo de agua de mina requiere ser apreciado no sólo como la búsqueda de solución para las inundaciones de la mina sino como el aporte para manejar adecuadamente el agua de fuente natural disponible en la región del piedemonte sureste de Perijá.

2.4 VISIÓN DE CDG

Asimismo, en el sitio web referido se describe la visión de CDG como: "Llegar a ser el suplidor preferido de clientes que requieran un suministro consistente de carbón de alta calidad, producido y entregado con seguridad, eficiencia y competitividad." En la época actual, una actividad minera eficiente debe propiciar el desarrollo integral de su personal en armonía con el medio ambiente, insertando los diferentes procesos mineros al concepto de sustentabilidad, razón por la que el manejo de agua de mina debe ser tratado con especial cuidado, ya que este recurso pasa a ser uno de los más importantes en la comparación de actividades económicas co-territoriales en una zona con poca disponibilidad natural de agua.

2.5 VALORES DE CDG

La compañía CDG tiene unos valores que caracterizan su cultura y determinan su actuación durante el desarrollo de sus actividades, las cuales son citadas en el sitio web www.guasare.com:

"La Ética, porque conducimos nuestras actividades con estricto apego a los principios y obligaciones morales en la relación con nuestros accionistas,

trabajadores, clientes, sindicatos, proveedores, contratistas y comunidad, guiados por la transparencia en todos nuestros actos y por el cumplimiento estricto de los acuerdos y compromisos adquiridos.

La Lealtad, porque integramos conductas y actitudes para ser cada vez más fiel nuestro apego a la cultura del negocio y al cumplimiento de nuestra misión como empresa. Somos leales hacia nosotros mismos nuestras familias y todas las personas o instituciones con quienes interactuamos.

La Honestidad, constituye la fuerza moral que guía nuestra actuación corporativa en todas nuestras esferas de acción y se expresa en el comportamiento íntegro observado por nuestro personal en la vida familiar, profesional y social. Se manifiesta en la honestidad intelectual en todos nuestros actos y en el manejo de los recursos y bienes de la empresa.

La Eficiencia, porque realizamos todas nuestras actividades laborales regidos por altos niveles de exigencia en el desempeño de todos los integrantes de la organización, ejecutando todas las tareas encomendadas con una alta calidad en los resultados parciales y totales. Se manifiesta en la óptima calidad de nuestro producto siempre dentro de los más altos estándares de exigencia internacional.

La Integración, porque reconocemos el sistema en el cual nos desenvolvemos y trabajamos para ser parte funcional de él. Porque nos identificamos con la misión, visión y valores de la corporación y nos sentimos parte fundamental de la organización para la cual trabajamos, incorporando en este proceso integrador a nuestras familias.

La Responsabilidad, porque nos sentimos comprometidos a mantener los más altos niveles de responsabilidad en todas las manifestaciones organizacionales, profesionales y personales y somos consecuentes con los principios de nuestra empresa. Nuestros trabajadores cumplen sus deberes conociendo que son respetados en sus compromisos derivados de nuestra misión.

El Respeto, promovemos la actuación considerada y respetuosa hacia nuestros compañeros de trabajo, familiares, clientes, proveedores y comunidad en general manteniendo relaciones interpersonales basados en la colaboración, el respeto y la honestidad.

El Profesionalismo, porque creemos en el desarrollo del talento, premiamos el desempeño eficiente y asumimos con empeño y dedicación el reto de nuestra formación. Procuramos el mejoramiento continuo de nuestras actividades mediante el análisis crítico de los procesos actuales y su optimización.

Sentido de Pertenencia, se manifiesta en la identificación de nuestros trabajadores con la visión, misión y valores de la organización y en el empeño y dedicación por la obtención de las metas que hacen de Carbones del Guasare, S.A. una empresa exitosa y ejemplo del Estado Zulia, de Venezuela y del mundo.”

Teniendo en cuenta que en otras actividades mineras alrededor del mundo se han producido impactos ambientales de importancia y estando consciente de que la actividad minera es una actividad económica que debe

dejar beneficios, no solo económicos sino ambientales, mitigando y/o corrigiendo los daños producidos al medio ambiente y creyendo firmemente en los valores de CDG y en el compromiso adquirido por CDG con el entorno social y ambiental que lo rodea, es que se propone el objetivo de este estudio, el cual brinda la posibilidad de acercar la actividad minera de carbón al desarrollo sustentable de la región.

2.6 OBJETIVOS DE CDG

El objetivo principal de CDG es la exploración, explotación y transporte del carbón, además de comercializar a nivel mundial, carbón de alta calidad para la generación de energía y usos industriales, proveniente de la Mina Paso Diablo del Guasare.

2.6.1 OBJETIVOS DE PRODUCCIÓN

CDG, mediante sus recursos naturales, humanos, tecnológicos y financieros, se ha propuesto desarrollar el plan quinquenal de producción, el cual consiste en extraer Carbón Premium y Estándar bajo una relación de sobrecarga máxima 5,5:1 (5,5 toneladas de estéril por 1 tonelada de carbón), para atender la demanda de los mercados europeos y norteamericanos en plantas termoeléctricas y como combustible en la industria de la metalurgia. En la tabla 1, se posible observar estos objetivos de producción.

Tabla1. Objetivos de Producción 2001 al 2005.

Especificación	2001	2002	2003	2004	2005
Carbón (Mt)	6.8	6.8	6.8	7.0	7.0
Estéril (Mmcb)	37.4	37.4	37.4	38.5	38.5
Relación E / M	5.5:1	5.5:1	5.5:1	5.5:1	5.5:1
C. Premium (%)	80	90	80	80	80
C. Estándar (%)	20	10	20	20	20

Fuente: C.D.G. (2000)

Mt: Millones de toneladas

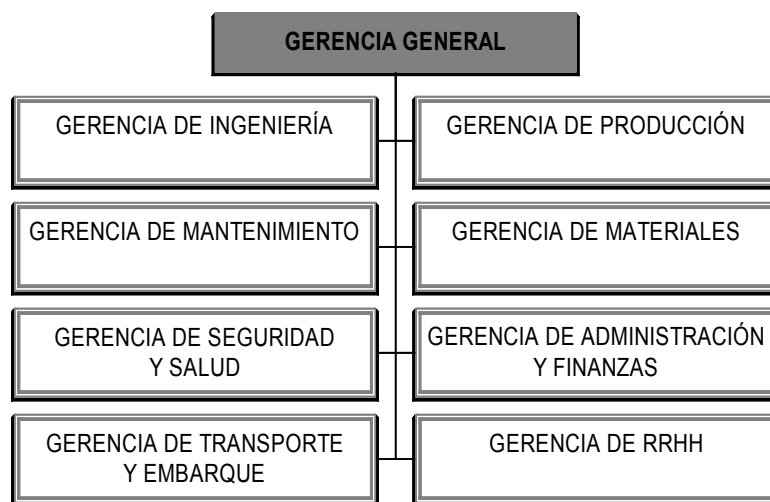
Mmcb: Millones de metros cúbicos en banco

E / M: Estéril / Mena

2.7 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

Actualmente CDG, es una sociedad anónima conformada por CORPOZULIA, con un 49,30 % de las acciones; Anglo Coal, (Anglo American) con 24,46 %; Rag Ruhrkohle con otro 24,26 % de acciones y el 1,78 % restante pertenecen a FOGADE.

La Gerencia General de Mina presenta una estructura organizativa funcional, la cual está dividida en Gerencia de Ingeniería, Gerencia de Producción, Gerencia de Seguridad y Salud, Gerencia de Mantenimiento, Gerencia de Recursos Humanos, Gerencia de Administración y Finanzas y Gerencia de Transporte y Embarque, tal como se muestra en el cuadro 1.



Cuadro 1. Organigrama de Carbones del Guasare, S.A.
Fuente: C.D.G.

2.8 OPERACIONES BÁSICAS DE MINERÍA

Dentro de las actividades mineras que se realizan en la mina Paso Diablo hay que destacar las siguientes: deforestación de la capa vegetal, perforación y voladura del estéril, transporte del estéril, extracción del carbón, trituración del carbón, como se esquematiza en la Figura 6.

Una vez realizada la deforestación, se procede a la extracción del carbón, para lo cual es necesario remover el estéril que recubre el manto de carbón. Esta remoción se elabora por el método convencional de perforación y voladura.

Para realizar la carga del estéril en la mina se cuenta con un grupo de palas eléctricas P&H e hidráulicas O&K. Para el transporte del estéril se cuenta con una flota de camiones roqueros, los cuales son dirigidos hacia las escombreras en donde es depositado el material volado.

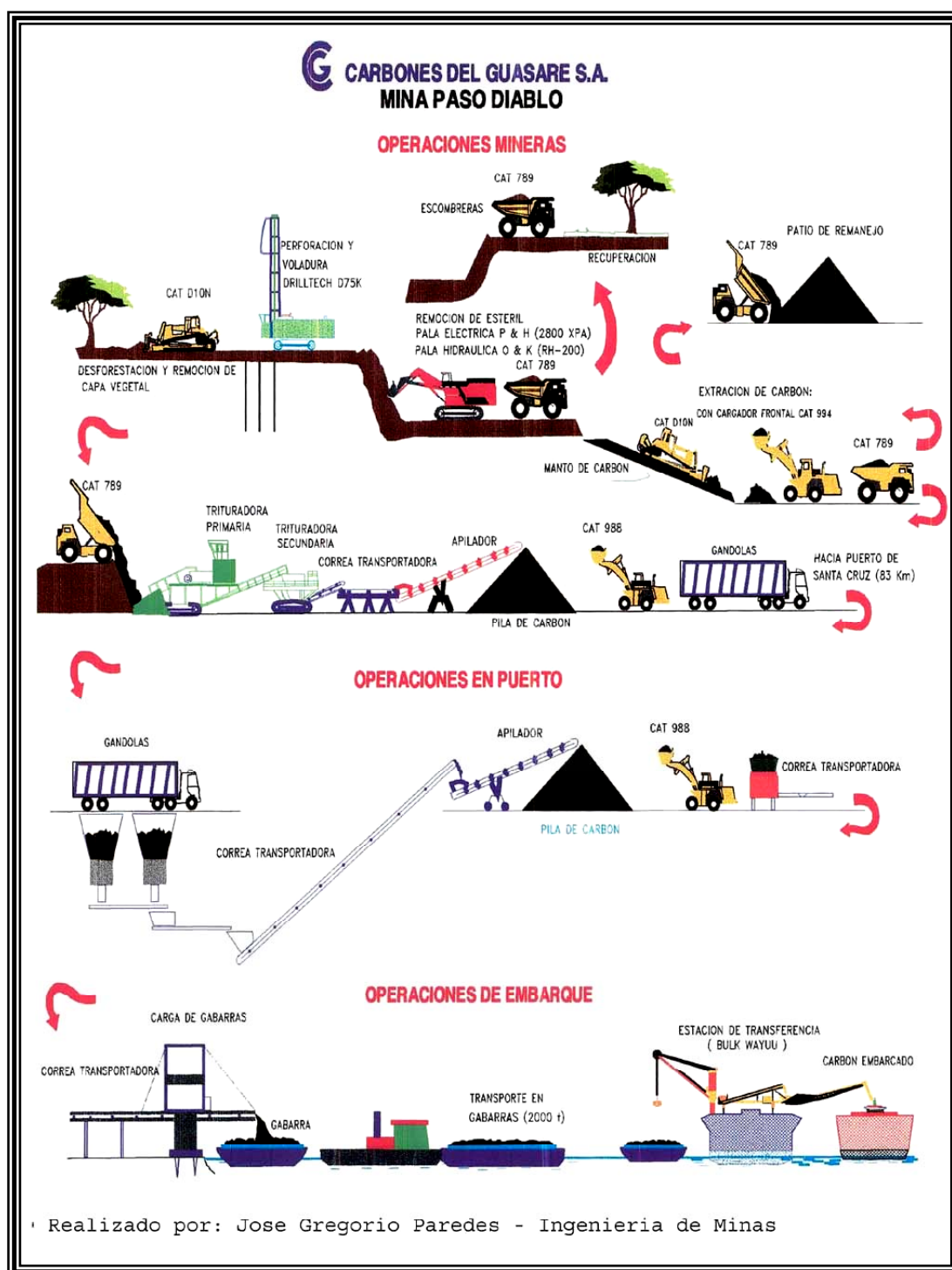


Figura 6. Diagrama de Operaciones Básicas de la Mina Paso Diablo.
Fuente: CDG (2000)

En cuanto el manto de carbón es destapado, los tractores son ocupados en el escarificado y apilamiento del mismo, para que posteriormente los cargadores frontales se encarguen de colmar los camiones roqueros. Dichos camiones roqueros transportan el carbón al área de trituración o al patio de remanejo, adicionalmente CDG cuenta con el Sistema Dispatch, el cual es un sistema de administración minera a gran escala, con el fin de proporcionar asignaciones óptimas, en forma automática, para camiones y equipos de acarreo en la explotación minera a cielo abierto.

Luego que el carbón es almacenado y separado por calidades dentro del área de trituración, se procede a transportar el carbón al puerto de embarque ubicado en Santa Cruz de Mara (distanciado a 83 km de la mina), dicho traslado se realiza por medio de gandolas de 45 TM de capacidad.

Posteriormente el carbón es transportado al puerto de embarque y es trasladado a gabarras; dicho traslado es realizado por medio de cintas transportadoras. Estas gabarras son transportadas posteriormente a donde se encuentra ubicada la estación de transferencia (Bulkwayuu), cuya función es transferir el carbón de las gabarras a los buques, para el comercio exterior.

2.9 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

En la mina Paso Diablo se realiza la explotación del carbón a cielo abierto, en el Pit Baqueta, actualmente en explotación, existe una serie de

parámetros de diseño del Pit que han sido preestablecidos y se mencionan a continuación:

- Altura de Banco: si se trabaja en niveles superiores a los 60 msnm, los bancos se excavan una altura de 15 m y por debajo del nivel 60 los bancos son excavan con una altura de 12 m.
- Actualmente en la mina Paso Diablo se trabaja con paneles de 120 m de ancho, iniciándose desde la pared sur del Pit Baqueta hasta la zona norte del mismo Pit. Los paneles están contenidos en tres áreas importantes denominadas: Baqueta Sur, Baqueta Centro y Baqueta Norte. En la Figura 7 se indican los paneles de trabajo.
- Ángulos de excavación en taludes:
 - Pared de avance este y norte: 12 grados.
 - Pared oeste (low wall): 30 grados.
 - Pared sur: 35 grados.
 - Pared final (high wall): 34 grados.
- Ángulo general de escombreras externas: 17 grados.
- Ángulo general de escombreras internas: 24 grados.
- Altura de terrazas de escombreras: 20 metros.
- Ancho de terrazas de escombreras: 40 metros.
- Pendiente de piso en terrazas y bancos (pie a cresta): 2%.
- Gradiente de rampas: 8%.
- Ancho de mínimo de vías: 27 metros.
- Pendiente del frente del banco: 2:1.

- Talud de trabajo perpendicular al rumbo: 12 grados.
- Esponjamiento de escombreras: 40%.

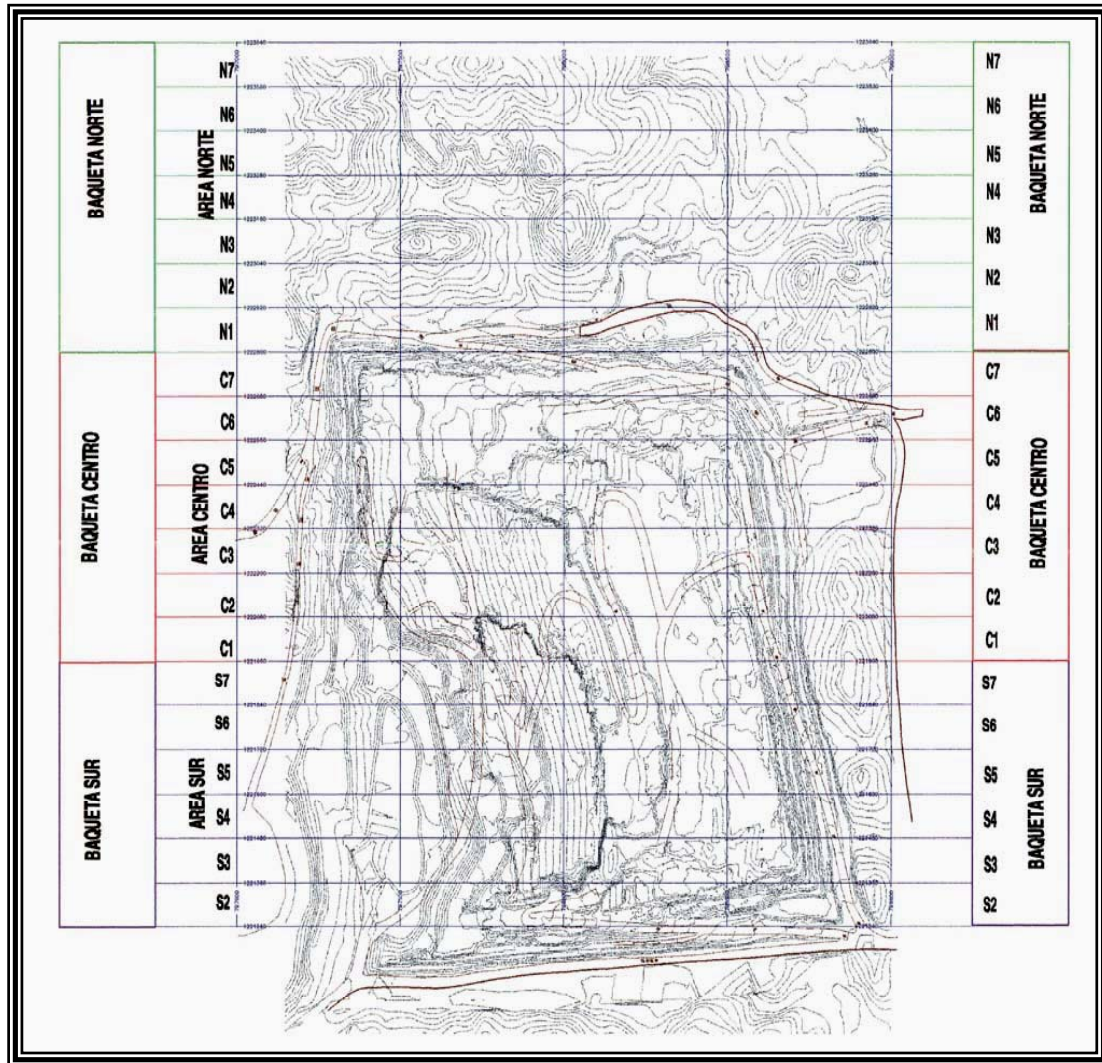


Figura 7. Mapa de Paneles de Trabajo de la Mina Paso Diablo.
Fuente: C.D.G.Talud de avance paralelo al rumbo: 10 grados.

Las excavaciones se realizan a favor de la dirección del buzamiento de los planos de estratificación, de esta forma se puede garantizar más estabilidad del frente en el cual se trabaja.

CAPITULO III

DESARROLLO TEÓRICO

El manejo de agua de mina requiere del conocimiento acerca de las cantidades de agua que fluyen hacia el pit de mina, tanto el agua de escurrimiento en la superficie del terreno, como el flujo lateral, por el movimiento en el subsuelo y afloramiento del agua subterránea. La escorrentía depende principalmente del agua de precipitación y de las restricciones a la infiltración, como la cobertura vegetal.

Por otra parte, el agua subterránea depende de la permeabilidad del macizo rocoso y de las estructuras en la roca que determinan la permeabilidad secundaria.

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

Como establece Bustillo y López (2000), las explotaciones mineras originan una serie de alteraciones ambientales específicas. Entre las principales alteraciones se tiene: la pérdida o alteración de recursos naturales, contaminación física de las aguas superficiales y contaminación química de las aguas. Estas alteraciones producidas por la actividad minera interfieren con el normal desarrollo del ciclo hidrológico.

Suárez (1993) describe el ciclo hidrológico como el proceso, de tipo atmosférico, por medio del cual el agua se evapora de la superficie terrestre (océanos, lagos, ríos, vegetación, suelos), pasa a la atmósfera (nubes) y regresa a las fuentes originales por medio de la precipitación (lluvia, nieve, granizo), el escurrimiento y el flujo lateral en el subsuelo, ver Figura 8. El

ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, por lo que su descripción puede comenzar en cualquier punto.

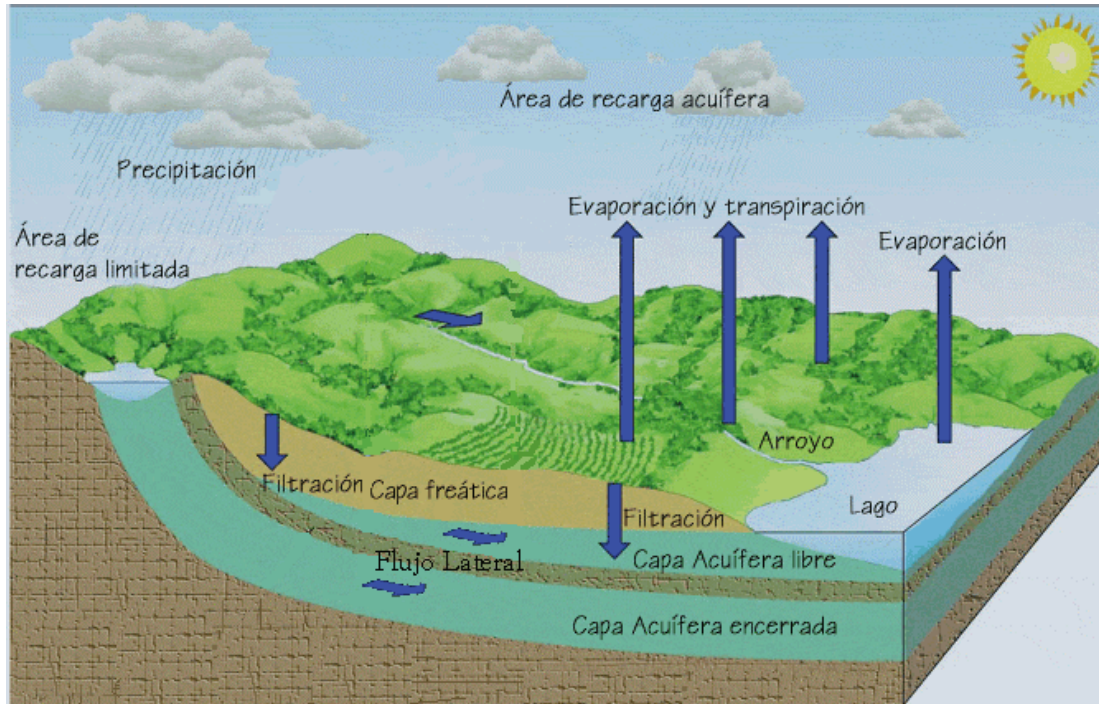


Figura 8. Ciclo Hidrológico

Fuente: Modificado de www.aguamarket.com/temas_interes/027.asp

El vapor de agua que pasa a la atmósfera se enfría y condensa para formar gotas minúsculas y cristales de hielo que se agrupan formando las nubes. El enfriamiento de las masas de aire ocasiona la unión de las pequeñas gotas dando origen a gotas más grandes que pueden precipitarse en forma de lluvia, nieve, o granizo. No toda el agua que precipita alcanzará la superficie terrestre ya que una parte se evapora durante la caída o es interceptada y retenida por la cobertura vegetal. De la precipitación que llega a la superficie del suelo una parte se evapora, otra se infiltra en el subsuelo, y la restante (si la precipitación es suficiente), después de llenar

pequeñas depresiones, rebosa las mismas y escurre sobre el terreno para concentrarse en los cursos de agua.

Una parte del agua infiltrada en el terreno es absorbida por las raíces de las plantas y posteriormente transpirada hacia la atmósfera; otra parte fluye bajo la superficie del terreno con un gradiente natural, esto es conocido como flujo lateral, hacia los cauces, el mar, otros cuerpos de agua, o hacia zonas profundas donde se almacena como agua subterránea, desde donde, en la mayoría de los casos, aflora como manantiales en ríos o en el mar. Es importante destacar que la parte que fluye bajo la superficie del terreno había sido tradicionalmente considerada poco significativa, pero esto es relativo porque los caudales dependen de las características hidrogeológicas del área y en problemas ambientales se ha demostrado la importancia que esta porción del ciclo hidrológico tiene para efectos del balance hídrico y de los problemas de contaminación de aguas subterráneas.

Es importante destacar, y en concordancia con lo establecido por Bustillo y López (2000), que la actividad minera altera localmente diversos factores que forman parte del ciclo hidrológico natural, tal como lo son; la deforestación, donde la cobertura vegetal es eliminada y por lo tanto el agua proveniente de la precipitación chocará directamente con el suelo desnudo, provocando una mayor erosión del suelo y un mayor aporte de agua de escorrentía. El sobretriturado, generado en diversas etapas de la minería, como la voladura o el acarreo, generan una capa superficial de suelo

compactado muy fino que no permite la percolación del agua precipitada, por lo que el aporte de agua a las respectivas canalizaciones se ve aumentado.

La excavación minera (Pit Baqueta) realizada, en el caso en estudio, como una fosa de 4 Km² y de aproximadamente 180 m de profundidad, intercepta el flujo lateral en el subsuelo, limitando la recarga en el subsuelo del área cercana a la mina. En relación a los drenajes de mina, todas las modificaciones de la morfología fluvial suponen una alteración del funcionamiento hidrológico de ríos cercanos al área minera. Existen muchas otras operaciones que pueden intervenir en mayor o menor escala en el ciclo hidrológico, la magnitud y tipo de intervención dependerá de características únicas de cada explotación minera y de las acciones mitigantes que se realicen.

3.2 PRECIPITACIÓN

Como establece Suárez (1993), “La precipitación comprende toda el agua que cae de la atmósfera a la superficie de la cuenca, tanto en forma líquida (lluvia), como congelada (nieve, granizo)” este último, no es el caso de este estudio, en la Cuenca Hídrica de San Rafael del Guasare, Edo Zulia.

La cantidad de agua caída en una precipitación se expresa en milímetros y la medición se lleva a cabo mediante los pluviómetros y pluviógrafos; el primero de lectura directa y el segundo de registro gráfico continuo. El agua recogida se mide en una probeta graduada, donde cada

milímetro de lluvia significa la caída de un litro de agua por cada metro cuadrado de superficie.

3.2.1 PARÁMETROS DE LA PRECIPITACIÓN

Para fines de análisis y en concordancia con lo establecido por Suárez (1993), se tienen los siguientes parámetros:

Duración de precipitación, es el tiempo durante el cual la misma precipita sobre la zona en estudio, y se mide usualmente en horas.

Intensidad de precipitación, es la cantidad de agua que cae en un tiempo dado, y se mide usualmente en mm/hr.

Frecuencia de precipitación, también llamada período de retorno, o intervalo de recurrencia, se define estadísticamente como el número promedio de años entre la ocurrencia de una precipitación de cierta intensidad y otra precipitación igual o mayor que la primera.

Las curvas estadísticas que representan las variaciones de la intensidad con la duración, para diferentes frecuencias, se denominan curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF). La determinación de las curvas IDF es uno de los aspectos fundamentales para los cálculos de dimensionamiento de estructuras de control de aguas. Si en la cuenca bajo estudio se conociesen las curvas mencionadas, se facilitaría notablemente la determinación de la lluvia de diseño, lo que a su vez constituye el primer paso para el cálculo del caudal del proyecto.

3.3 ESCORRENTÍA

Sólo una fracción de la lluvia alcanza los cauces de los cursos de agua de una cuenca hidrológica, siendo esta fracción precisamente la que tradicionalmente interesa determinar, dado que es la fracción responsable de las crecientes en los volúmenes de escorrentías, cuyo valor máximo será utilizado para el diseño de las diferentes estructuras de control de aguas.

La magnitud del escurrimiento directo, el cual se podría definir como el que tiene lugar sobre la superficie del terreno y a través de las capas más superficiales del mismo. Depende de la cantidad y tipo de vegetación existente en la cuenca hídrica, de la configuración topográfica del terreno y de la permeabilidad del subsuelo. También, la magnitud es función de los antecedentes de humedad del suelo y de la duración de la lluvia, ya que a medida que ésta transcurre, la capacidad de retención de la vegetación disminuye y aumenta el grado de saturación del suelo.

La lámina de lluvia que alcanza los cursos de agua de la cuenca hídrica, después de descontar las cantidades retenidas, evaporadas, o infiltradas, que en la práctica se consideran como pérdidas, se denomina Lluvia Efectiva, y es la que en definitiva produce las crecientes de cauces o cursos naturales de agua.

En este estudio se toma esa fracción que no escurre hacia el cauce natural, debido a la excavación, como la que forma parte del volumen total a desalojar del fondo de la mina por el sistema de bombeo.

3.3.1 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

La relación entre la lámina de agua que escurre y la que precipita, se denomina Coeficiente de Escorrentía, C.

$$C = LLe / LL$$

Donde:

C: Coeficiente de Escorrentía, (adimensional).

Lle: Lámina de agua que escurre, (mm / hr)

LL: Lámina de agua que precipita, (mm / hr)

En la práctica, la situación más común consiste en tratar con cuencas hidrológicas que no disponen de mediciones, por lo que el coeficiente de escorrentía debe ser estimado en base a la transposición de datos registrados en otras cuencas, con características similares, que sí disponen de mediciones.

3.3.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE ESCORRENTÍA

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de la cuenca hídrica hasta el punto considerado, como se indica en la Figura 9., llamado también sitio de concentración, o sitio de cálculo del caudal. El tiempo de concentración depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca hídrica, y de la velocidad promedio que adquiere el flujo a lo largo del recorrido. Dicha velocidad es función de las pendientes

del terreno y de los cauces, así como de la rugosidad superficial del terreno involucrado en el recorrido.

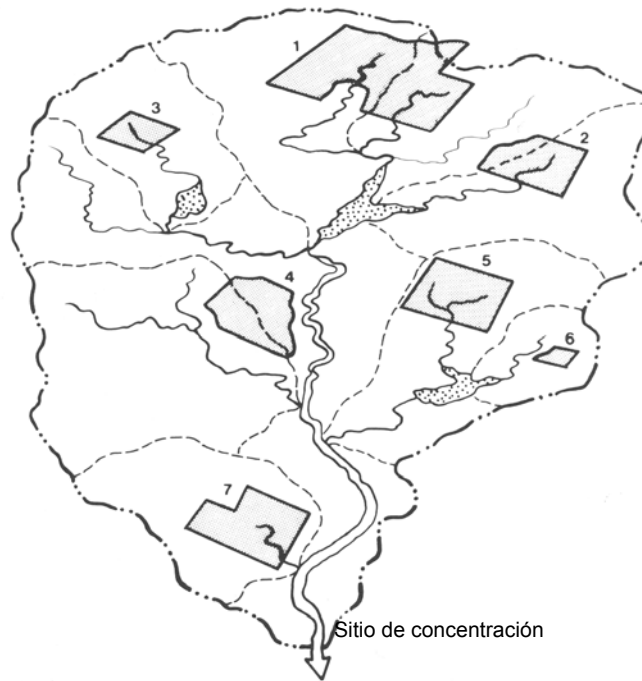


Figura 9. Zonas con diferente tiempo de concentración en una misma cuenca
Fuente: W. Marsh (1991)

3.4 AGUA SUBTERRÁNEA

Entre las fuentes más importantes de las cuales dispone el ser humano para su abastecimiento de agua las constituyen los reservorios subterráneos. En ellos se encuentra aproximadamente el 97 % del agua dulce fluida disponible en los continentes. Como se indica en www.fao.org/gtos/tems/mod_hyd.jsp, el agua dulce comprende el 2,5% del total de las aguas existentes en el mundo. Aproximadamente el 70% de este pequeño porcentaje se encuentra congelado formando los glaciares y las

coberturas permanentes de nieve en las zonas templadas y el 30% restante lo conforman las aguas subterráneas, ver Figura 10.

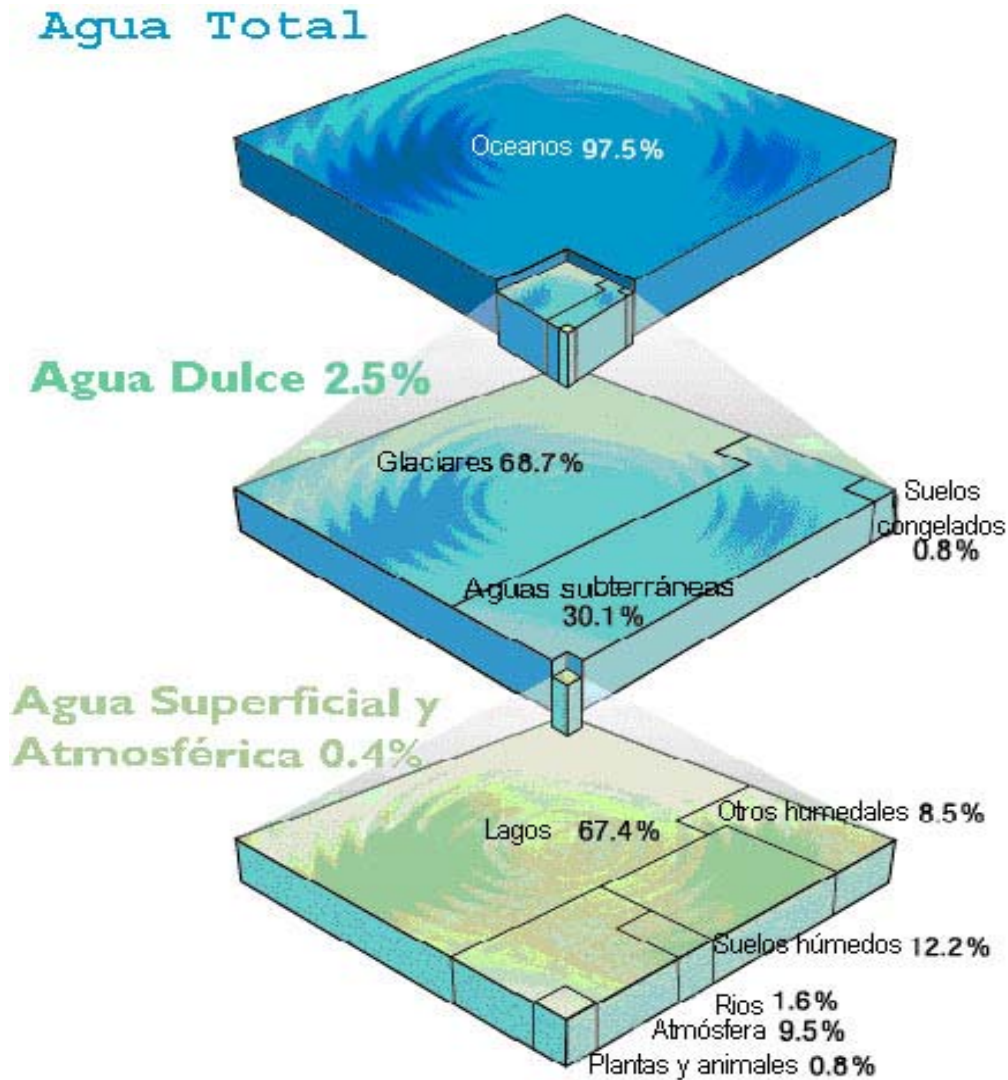


Figura 10. Distribución del agua en la Tierra
Fuente: Modificado de www.fao.org/gtos/tems/mod_hyd.jsp

La manera más evidente de reconocer estas aguas es a través de manantiales u observando su extracción por medio de pozos o galerías de infiltración. Sin embargo, pocas veces se advierte que el agua que corre por los ríos en las épocas secas, proviene también de los reservorios

subterráneos, conocidos como acuíferos; claro está que la capacidad de almacenamiento y el desplazamiento que puedan tener las aguas subterráneas depende directamente, entre otras cosas, de la permeabilidad de la roca almacén.

Hernández (1979) establece que un acuífero es el terreno por el cual circula el agua. El límite impermeable inferior del acuífero se denomina *muro* y el superior *techo*. El manto de agua es el conjunto de agua que satura un terreno. La superficie piezométrica es la superficie real o ficticia del manto, en donde la presión de agua es la atmosférica. Si un acuífero tiene la superficie de saturación a la presión atmosférica se *denomina acuífero libre*; si esto no sucede, es decir, si el acuífero tiene techo, el acuífero recibe el nombre de *confinado, artesiano o cautivo*. Otro caso de acuífero es aquel que aparece por encima del nivel freático y recibe el nombre de *acuífero colgado*.

Uno de los métodos de investigación más importantes para conocer y evaluar los acuíferos, es obviamente la perforación de pozos y la información que se obtiene del proceso de perforación y de medición de parámetros del flujo vertical, como la fluctuación del nivel freático y las correlaciones entre pozos de medición.

3.4.1 PERMEABILIDAD DEL SUELO

Se dice que un material es permeable cuando contiene huecos o intersticios comunicados entre sí. Todos los suelos y rocas satisfacen esta condición. Sin embargo, hay grandes diferencias en el grado de

permeabilidad de los diferentes materiales térreos. La cantidad de agua que pasa a través de una roca densa puede ser tan pequeña que puede pasar inadvertida.

En general, el coeficiente de permeabilidad se incrementa al aumentar el tamaño de los intersticios, que a su vez crece al aumentar el tamaño de los granos, en la litología de los materiales del subsuelo.

Las trayectorias del flujo de agua a través de los suelos reales y las correspondientes presiones de poro son extremadamente complejas, debido a la manera errática en la que es probable que la permeabilidad varíe, de punto a punto y en diferentes direcciones.

La disciplina que estudia este aspecto del agua subterránea, se conoce como “Flujo en Medio Poroso” y es importante en problemas de evaluación geotécnica, migración de fluidos como hidrocarburos y en problemas de contaminación de suelos y aguas subterráneas. La ecuación que rige el flujo de líquidos en medios porosos viene definida por:

$$Q = k * m * i * l * t$$

donde:

Q = Volumen escurrido (m^3 / día).

k = Permeabilidad (m / s).

m = Espesor del acuífero (m).

i = Gradiente hidráulico (%).

t = Tiempo durante el cual escurre el flujo (s / día).

l = Longitud de la sección a través de la cual pasa el flujo (m).

3.4.2 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE PERMEABILIDAD EN MEDIO POROSO

Existen varios tipos de ensayos para determinar la permeabilidad de un medio poroso, por las condiciones existentes en el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, en donde se cuenta con piezómetros instalados para el control del nivel piezométrico de la pared Este de la mina, se considera apropiado el ensayo de Permeabilidad Tipo Lefranc de Carga Variable y Flujo de Descenso en piezómetros. Si bien es cierto que este tipo de ensayos no arroja resultados exactos, ya que se parte de una condición de no equilibrio, es un ensayo que permite aproximar el valor de la permeabilidad de la zona estudiada a un costo muy bajo y de manera bastante simple y rápida.

Como establece el Canada Centre for Mineral and Energy Technology, (CANMET, 1977), en las pruebas de permeabilidad de flujo variable, conocidos como ensayos de permeabilidad tipo Lefranc de carga variable y flujo de descenso en piezómetros, es necesario determinar la velocidad con que varía el nivel del espejo de agua dentro del tubo de ademe, habiendo agregado previamente, una columna de agua, sin que se agregue o se extraiga líquido durante el tiempo que dure la prueba.

3.4.3 RADIO DE INFLUENCIA DE UN POZO DRENANTE

Como lo establece Johnson División, UOP.Inc (1975), el radio de influencia de un pozo drenante representa físicamente un límite hipotético,

que presupone una alimentación, es decir, un aporte de agua que compensa exactamente el agua drenada por el pozo. Suele dársele un valor tabulado, al inicio de cada proyecto, como los presentados por Sichardt (1923), los cuales provienen de fórmulas empíricas y a medida que el estudio avanza y los ensayos de campo se llevan a cabo, es común el uso de diagramas de distancia-abatimiento, el cual simplifica la representación del efecto ejercido por la extracción en un punto situado a cierta distancia del pozo drenante.

$$R = 3000 (H - h) k$$

Donde:

R = Radio de influencia de un pozo drenante, (m).

H = Espesor saturado del acuífero antes del bombeo, (m).

h = Profundidad del agua en el pozo durante el bombeo, (m).

K = Factor de permeabilidad, (adimensional).

Según esta fórmula, R depende de k; cuando se efectúan ensayos de bombeo, precisamente para determinar k; esto obliga a hacer tanteos, por lo que es conveniente tomar valores de R que se encuentran tabulados según las clases de terreno.

En particular, en excavaciones con ayuda de rebajamiento de capa freática, R es a veces grande, por lo cual no pueden aceptarse esos valores empíricos. En un caso reciente en el sur de España, para efectuar una excavación de 100 * 500m, se llegó a bombear 12.000 m³ / hora, y el radio de influencia fue de varios kilómetros.

3.4.4 INFLUENCIA DE LA GEOLOGÍA EN EL FLUJO LATERAL

Davis (1971) indica que todo modelo referente al flujo de aguas subterráneas es controlado principalmente por la topografía y la geología regional. Ningún estudio de aguas subterráneas es adecuado si no se conocen las condiciones geológicas de la zona en estudio.

Los acuíferos formados en rocas estratificadas permeables, donde comúnmente existen diferencias entre las permeabilidades de los diferentes estratos, tal como presenta la geología en la cuenca carbonífera del Guasare, son los que presentan mayores controles geológico-estructurales y litológicos.

3.5 MANEJO DE AGUAS DE MINA

Según Peck y otros (1983), en todo movimiento de tierra que modifique la topografía original, es necesario realizar la remoción de las aguas, ya sea que estas provengan directamente de la precipitación, de escorrentías de la cuenca tributaria, y/o a través de flujos laterales en el subsuelo, tal como se muestra en la Figura 11. Esto se logra a través de un sistema de drenaje, constituido normalmente por drenajes superficiales, sistemas de achique y subdrenes.

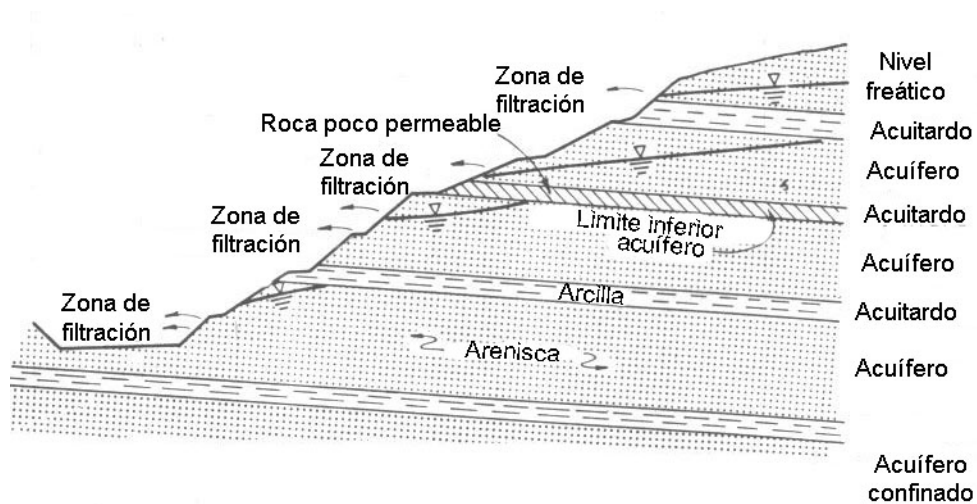


Figura 11. Aporte de Aguas Subterráneas a un pit de mina
Fuente: Canada Centre for Mineral and Energy Technology.

Numerosos estudios deben ser realizados en la determinación del patrón de drenaje natural del área, para diseñar el drenaje adecuado de mina: topográfico, hidrológico, geológico e hidrogeológico de la zona; diversas especialidades de la ingeniería participan en la solución del problema.

Debido a las peculiaridades en las características topográficas, hidrológicas y geológicas, los métodos de diseño de los drenajes y los coeficientes que se utilizan en las fórmulas pueden variar significativamente dentro del área de la mina.

En concordancia con lo establecido por CANMET (1977), en algunas situaciones la cantidad de reservas minerales pueden cambiar según el resultado de los estudios de aguas subterráneas, especialmente en casos donde se excava sobre formaciones geológicas permeables y con

profundidades que intercepten el nivel freático del área, por lo que es conveniente realizar un estudio de agua subterránea, antes de comenzar la excavación minera.

3.6 DRENAJE SUPERFICIAL

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad de taludes, reduciendo la infiltración en los mismos, que aumenta las presiones de poro, y evitar la erosión y pérdida de suelos a través del transporte de sedimentos. En el caso particular de minería con método de explotación de Tajo Abierto, el sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y de ser posible, llevar el agua a un sitio topográficamente más elevado que el fondo de la mina, evitando un consumo excesivo de energía por parte de las bombas de achique, para su posterior bombeo o canalización, según sea el diseño. Además el agua de escorrentía debe en lo posible desviarse antes de que penetre al área del deslizamiento de un talud.

Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, llamadas zanjas de coronación. No se recomienda en problemas de manejo de agua en taludes la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

Es muy importante, para el correcto diseño de las obras de drenaje superficial, que se realice un estudio muy completo de la información

hidrológica existente para determinar lo más exactamente posible la precipitación máxima esperada. La mayoría de los diseños de obras de drenaje superficial en taludes, que se realizan con procedimientos totalmente empíricos, dan como resultado obras insuficientes con secciones que no son capaces de manejar los caudales de agua que se concentran en las coronas de los taludes.

3.7 TÉCNICAS DE MANEJO Y CONTROL DE AGUA DE MINA

En concordancia con lo establecido por Sánchez (1995), existen numerosas técnicas que permiten proporcionar la recolección, transporte y disposición final de aguas de escurrimiento superficial y de flujo lateral en el subsuelo, de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. Todas estas técnicas deben lograr el control de la erosión, minimizar la colmatación de cauces naturales y proveer la manutención de la calidad física y química de los cuerpos hídricos receptores.

3.7.1 CANALES DE DRENAJE

Como establece Sánchez (1995), citado por Castillo y Piña (2002), el control y canalización de las aguas de esorrentía en las operaciones mineras es un problema conceptualmente resuelto, particularmente, mediante diques y canales excavados. Algunas de las funciones de estas obras son:

- Evitar el paso de las aguas a áreas fuertemente erosionables, o en operación y conducir las de forma adecuada.
- Reducir la longitud de los taludes para complementar la resistencia a la erosión aportada por la vegetación.
- Impedir las acumulaciones de agua en superficies irregulares y/o cóncavas.
- Eliminar la llegada de las aguas a zonas con edificaciones o instalaciones mineras, y
- Proteger las tierras bajas frente a la depositación de sedimentos.

Previo al estudio hidráulico de estas obras, es preciso establecer su naturaleza, es decir los materiales de las paredes y techo, así como su sección o forma geométrica en sentido perpendicular al flujo.

En cuanto a su naturaleza, los canales pueden ser construidos sobre los propios estériles, en tierra, encespedados, en piedra, hormigón, entre otros. En función de las características de estos materiales se define la velocidad máxima de circulación que garantiza, por un lado, la restricción de problemas de erosión y por otro, evitar la depositación de sedimentos. La velocidad mínima aconsejable es de 0,25 m/s y las máximas admisibles se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Velocidad máxima admisible de circulación

Tipo de revestimiento	Velocidad admisible (m/s)
Hierba bien cuidada en cualquier clase de terreno	1,8
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60 - 1,2
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0,30 - 0.60
Arena arcillosa dura	0,60 - 0,90
Arcilla dura muy coloidal	1,20
Arcilla con mezcla de grava	1,20
Grava gruesa	1,20
Pizarra blanda	1,50
Mampostería	4,50
Hormigón	4,50

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990).

Si la pendiente de los canales da lugar a velocidades de circulación mayores que las admitidas, se recomienda el revestimiento vegetal de dichas obras con el fin de que ésta actúe como retardador. Además el criterio hidráulico en la elección de las especies vegetales intervendrán otros criterios de tipo ecológico, climático y edáfico de la zona.

En lo referente a los tipos de sección transversal la elección dependerá del caudal, de la velocidad máxima de circulación de agua, e indirectamente de la maquinaria minera disponible por la construcción de los mismos. Las secciones comúnmente empleadas son triangulares, trapezoidales y parabólicas.

El cálculo hidráulico de la sección mínima del canal se basa en dos expresiones básicas que son, por un lado:

$$S_{\min} = Q / V_{\max}$$

donde:

S_{min} : Sección mínima teórica (m^2).

Q: Caudal máximo previsible en la sección de desagüe (m^3 / s).

V_{max} : Velocidad máxima admitida (m / s).

Y la ecuación de Manning:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

donde:

V: Velocidad del agua (m / s).

i: Pendiente longitudinal del canal (m / m).

n: Número de Manning.

R: Radio hidráulico (m).

El radio hidráulico de un canal o dique es la relación existente entre el área mojada y el perímetro mojado. El número de Manning, según el tipo de revestimiento se indica en la tabla 3.

Existen métodos auxiliares para el dimensionamiento de los canales de drenaje, tal como el ábaco, que se muestra en la Figura 12.

Independientemente de que debe efectuarse un cálculo hidráulico riguroso, algunos criterios generales que pueden seguirse en la construcción de los canales son los siguientes:

Tabla 3. Número de Manning

Tipo de revestimiento	<i>n</i>
Tierra ordinaria con superficie uniforme	0,02
Hierba (altura de la lámina de agua superior a 15 cm)	0,04
Hierba (altura de la lámina de agua inferior a 15 cm)	0,06
Hierba espesa	0,10
Empedrado, rugoso	0,04
Empedrado, liso	0,02
Hormigón rugoso	0,024
Hormigón liso	0,012

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990).

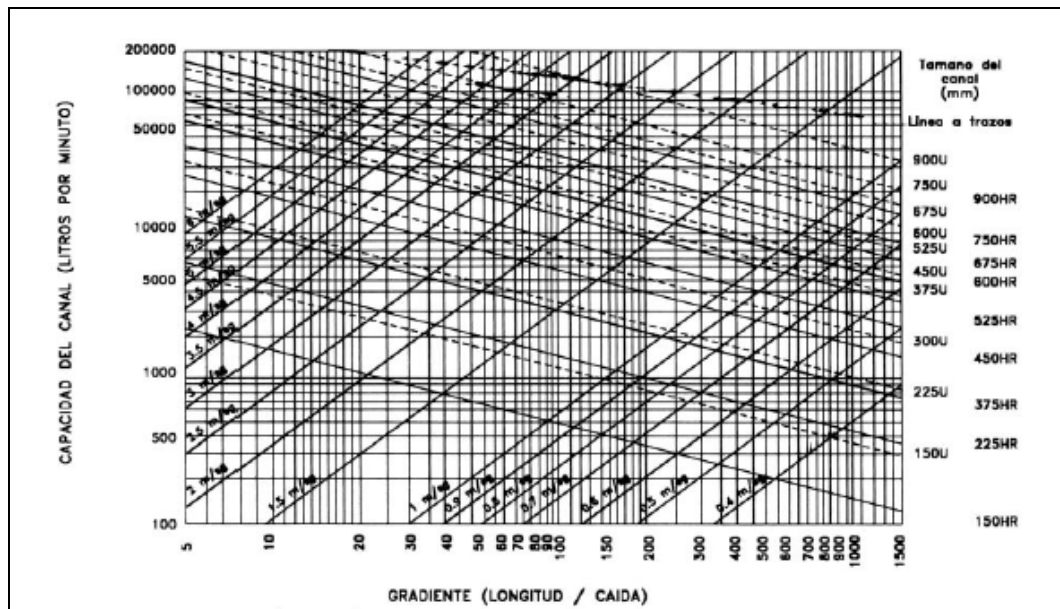


Figura 12. Ábaco para el diseño rápido de canales de drenaje en taludes

Fuente: Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, (1996).

- Su localización debe determinarse considerando las condiciones de descarga, la topografía, los usos del terreno, los tipos de suelos, los taludes y las áreas de drenaje.

- Según la zona que se pretenda proteger, se utilizarán para el diseño el periodo de recurrencia de 10 a 50 años.
- Los aliviaderos laterales se construirán situándolos al menos 15 cm por encima.
- Las anchuras de los canales para el diseño máximo serán como mínimo de 1,2 m.
- Los taludes no serán inferiores de 2H : 1V
- Tanto el cordón de material situado aguas abajo como el propio canal que se está excavando en el terreno podrá revegetarse 15 días antes de la instalación.
- Periódicamente se revisarán y si fuese necesario, se retirarán los sedimentos depositados.

3.7.2 DIQUES DE DRENAJE

Este tipo de estructuras de desagüe se trata de estructuras construidas con los propios estériles de las minas, con el objetivo básico de la canalización de las aguas hasta las balsas de decantación. Existen tres tipos principales de diques: los de desviación, los de interceptación y los perimetrales.

Algunos criterios generales de diseño de estas obras son las siguientes:
Los diques con pendientes mayores del 2 % deben ser estabilizados.

- El área drenada por cada dique no debe ser superior a las 2 ha.

- El espaciamiento medio entre diques debe ser, al menos, el que se indica en la tabla 4.
- La vida útil de los diques es limitada y por lo general, no es superior a los 2 años.
- El material de construcción debe ser adecuadamente compactado formando taludes laterales 2H:1V.
- Los diques deben ser revegetados mediante siembra 15 días antes de su instalación.
- La altura mínima debe ser de 50 cm y la anchura de coronación, al menos de 60 cm.

Tabla 4. Espaciamiento medio ente diques

<i>Talud por encima del dique (%)</i>	<i>Distancia ente diques (m)</i>
10	45
5 - 10	60
5	90

Fuente: Rodríguez y Ayala (1990).

3.7.3 CUENCAS DE SEDIMENTACIÓN

En relación con lo establecido por Sánchez (1995), citado por Castillo y Piña (2002), las cuencas o balsas de sedimentación son las últimas estructuras que se disponen en la cadena de la erosión. Las cuencas de sedimentación son necesarias aunque un buen sistema de drenaje se haya implementado en la mina. Durante la vida útil de la mina siempre habrá suficientes superficies expuestas a la acción de las aguas y del viento y por ende suministrando material transportado aguas abajo. Una manera de

construir cuencas o zonas de sedimentación, son las presas de tierra, que como establece Terzaghi (1972), generan cubetas de sedimentación aguas arriba del talud de la presa, el tipo de presa mas común y sencillo de construir es el de escollera, en donde el material que lo forma consiste en fragmentos de roca sana obtenida de canteras por voladura,

La función de una cuenca de sedimentación es promover la decantación de las partículas sólidas transportadas por las aguas de drenaje antes de verterlas al cuerpo receptor. Las partículas más gruesas decantan más rápidamente que las partículas finas, de modo que la cuenca puede ser dimensionada en función de la granulometría del material transportado. La velocidad de decantación de una partícula en el agua se estudia por la mecánica de fluidos y puede ser expresada por la Ley de Stokes:

$$V_{sed} = (g / (18 * \mu)) * s^{-1} * D^2$$

donde:

V_{sed} : Velocidad de sedimentación (cm / s).

g : Aceleración de gravedad ($=981\text{cm} / \text{s}^2$).

μ : Viscosidad del fluido (cm^2 / s).

s : Densidad de la partícula (adimensional).

D : Diámetro de la partícula, supuesta esférica (cm).

Se produce sedimentación en la cuenca cuando el tiempo de residencia de las partículas fuere suficiente para permitirla. El tiempo de residencia (t_r), depende del caudal afluente (supuesto, por razones de simplificación, idéntico al efluente) y del volumen de la cuenca, o sea:

$$t_r = \text{vol} / Q$$

donde:

t_r : Tiempo de residencia, s.

Vol: Volumen de la cuenca, m^3 .

Q: Caudal afluente, m^3 / s

Sustituyendo el tiempo de residencia y llamando A_{sed} al área de la cuenca de decantación:

$$V_{\text{sed}} = p / t_r = p / (\text{vol} / Q) = p / ((A * p) / Q) = Q/A$$

Y por lo tanto:

$$A_{\text{sed}} = Q / V_{\text{sed}}$$

donde:

A_{sed} : Area de la cuenca de sedimentación, m^2 .

Q: Caudal afluente, m^3 / s .

V_{sed} : m / s .

De manera que, el área de la cuenca de decantación es el cociente del caudal afluente por la velocidad de sedimentación y no depende de la profundidad de la cuenca.

3.7.4 CANALES COLECTORES Y DISIPADORES

Según Castillejo (2002), se presentan dos tipos diferentes de canales: el canal rápido y el canal en gradería. Los canales deben ser conducidos o entregados en torrenteras u otro disipador de energía que conduzca el agua recolectada hasta un sitio de bombeo.

El canal rápido se construye a una pendiente igual a la del talud y en ocasiones se le colocan elementos sobresalientes en su fondo para disipar energía, ver Figura 13. Este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de la poca energía disipada.

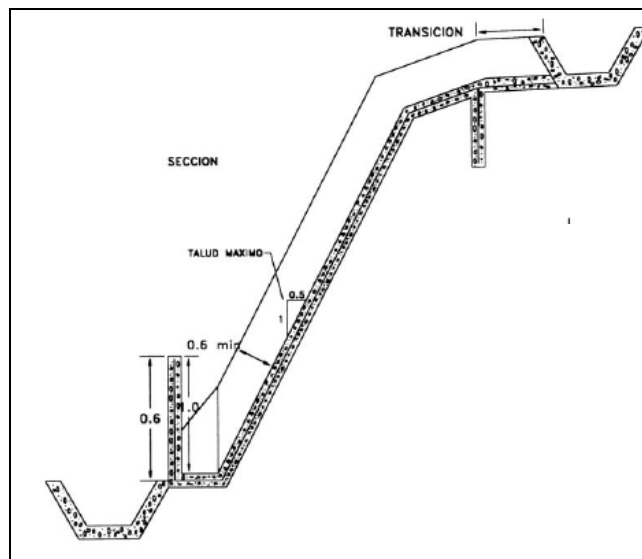


Figura 13. Canales Colectores y Disipadores
Fuente: Trabajo de ascenso Prof. M. Castillejo

El sistema de torrenteras es más eficiente para disipar energía, ver Figura 14. El flujo en este tipo de canal es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente para permitir la salpicadura del flujo.

Como indica el CANMET (1977), si bien es cierto que las técnicas para drenajes de aguas subterráneas, tienen como objetivo, en la mayoría de los casos, la disminución de la presión de poros en los taludes, haciéndolos más estables, desde el punto de vista geotécnico, bien se puede decir que éstas, constituyen una forma para controlar y canalizar el ingreso a la mina de las aguas provenientes de flujos laterales en el subsuelo.

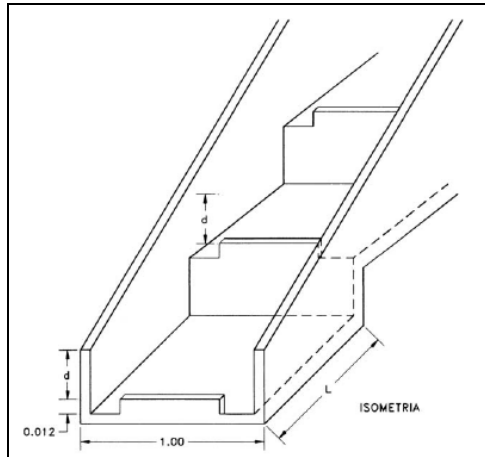


Figura 14. Sistema de Torrenceras
Fuente: Trabajo de ascenso Prof. M. Castillejo

3.7.5 POZOS HORIZONTALES Y SUBHORIZONTALES PARA DRENAJE DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para taludes con elevaciones del nivel freático, con alturas que varíen entre 30 y 60m, y en condiciones de permeabilidad isotrópica, es suficiente instalar líneas de perforaciones horizontales de 3 pulgadas (in), de diámetro, con espaciamientos entre 6 y 15 m, y profundidades de máximo 90 m, para lograr un descenso significativo del nivel freático y por ende una mejora en la estabilidad del talud. Para niveles freáticos superiores a 60m se deben instalar filas adicionales de perforaciones horizontales aproximadamente a 30m por encima de las perforaciones inicialmente realizadas.

La principal ventaja de esta técnica es la rapidez y sencillez con que pueden ser instalados; además, requieren muy poco mantenimiento y su

funcionamiento es gravitacional. Por otra parte la principal desventaja que posee esta técnica, es que no pueden ser perforados hasta que se termine la excavación del talud.

Es importante destacar que para situaciones de permeabilidad anisotrópica, tal como el caso del Pit Baqueta, donde se desarrolla este estudio, los diámetros, espaciamientos y profundidades de las perforaciones horizontales y subhorizontales pueden variar y su dimensionamiento estará determinado empíricamente.

3.7.6 POZOS VERTICALES DE BOMBEO

En relación a lo establecido por CANMET (1977), la principal ventaja de esta técnica es que, a diferencia de la técnica de pozos horizontales, explicada anteriormente, los pozos verticales para bombeo pueden ser realizados antes o durante la excavación minera. Cuando son instalados antes del comienzo de la actividad minera no interfieren con el proceso de producción. Por otra parte una etapa de drenaje antes del comienzo de la explotación minera puede ser ventajoso, ya que reduce los costos de explosivos especializados para trabajar en condiciones de humedad (como las emulsiones).

El agua bombeada utilizando este método generalmente es agua limpia y es posible usarla directamente en alguna etapa de preminería que sea necesaria, o ser almacenada para su posterior uso.

La principal desventaja de este método tiene que ver con los costos de capital que genera la compra de los equipos de bombeo y los costos relacionados al mantenimiento de los mismos, ya que una falla en el funcionamiento genera una subida de la presión de poros en el talud, con los posibles riesgos de deslizamientos e inundaciones asociados.

Es usual el uso de pozos de bombeo a grandes profundidades, (1,2 * profundidad de excavación), es decir las perforaciones deben tener una profundidad de 1,2 veces, la profundidad que alcance la excavación minera, pero en depósitos sedimentarios y en especial cuando se trabaja en depósitos de carbón, tal como el caso en estudio en la Cuenca Carbonífera del Guasare, se debe tener un especial control sobre las perforaciones de los pozos verticales, ya que presentan tendencias a derrumbarse en el fondo.

La selección de las dimensiones de estos pozos, así como su espaciamiento, pueden variar significativamente, pero dependen en gran medida de los equipos disponibles para realizar el bombeo. Así mismo es de fundamental importancia conocer las características de permeabilidad del macizo rocoso, así como su estructura geológica, debido a que, y haciendo referencia nuevamente al caso en estudio, la permeabilidad en macizos rocosos de origen sedimentario y principalmente en depósitos de carbón es de tipo secundario, comúnmente generada entre contactos de los diferentes estratos y entre fracturas que existan en el macizo. De allí que de encontrarse estas áreas favorables para la circulación del flujo lateral en el subsuelo, es recomendable perforar estos pozos de bombeo sobre las

mismas y con la misma inclinación del contacto geológico o de la fractura encontrada.

3.8 DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE

Se considera que mundialmente, se dispone de 12.500 a 14.000 millones de metros cúbicos de agua (12.500 a 14.000 kilómetros cúbicos) por año para uso humano. Esto representa unos 9.000 metros cúbicos por persona por año, según se estimó en 1989 . Se proyecta que en el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5.100 metros cúbicos por persona, al sumarse otros 2.000 millones de habitantes a la población del mundo. Como consecuencia, la crisis del agua se profundizará, a menos que la humanidad lleve a cabo acciones para evitarlo, así lo indica María Concepción Donoso, hidróloga representante de la Unesco.

Si bien es cierta la expresión “Líquido hay hasta en las piedras “ y a pesar de que América Latina sólo utiliza un porcentaje bajo de su agua dulce disponible (Medio Oriente recurre al 70 por ciento y Europa oriental supera el 40 por ciento), son limitadas las posibilidades de la expansión futura del abastecimiento. El costo por metro cúbico del abastecimiento de agua nueva se duplica cada década. Se debe considerar otra forma para reducir o mitigar los escenarios aterradores sobre la demanda y oferta del agua.

La gestión de agua local o comunitaria tiene mucho potencial en Latinoamérica. Como lo establece el Servicio de Información Ciudadana. SIC, CEDIB – Bolivia, si explotamos el agua que se puede renovar

(considerando un periodo de unos años) se dice que explotamos los recursos. Si utilizamos más agua de la que puede renovarse, se dice que estamos explotando las reservas, y estamos produciendo sobreexplotación, en tal caso, los niveles del agua en los pozos, se encontrarán mas bajos cada año. Como una propuesta para la mitigación del impacto ambiental, causado por la actividad minera (presente y futura), relacionado con la disponibilidad de agua, surge el enfoque que se le ha pretendido dar a esta investigación.

Como lo establece el MARN, en su publicación (La Hoja Ambiental, 2000), la desertificación se concentra principalmente en las zonas áridas y semiáridas, lo que equivale alrededor de 50.000 Km², ocupando aproximadamente el 6% del territorio Venezolano. Estas zonas se extienden desde la Península de Paria hasta la Península de la Goajira

3.8.1 ZONA PROTECTORA DE CUENCA HÍDRICA

Como fue indicado en una publicación de MARAVEN, S.A. (1985), existen áreas del territorio nacional que por sus rasgos naturales, exigen ser protegidas y controladas con especial diligencia, en donde se incluyen todas aquellas áreas que de acuerdo a las características y potencialidades ecológicas que poseen han sido decretas por el Ejecutivo Nacional para cumplir funciones productoras, protectoras y recreativas.

Las zonas protectoras son áreas que están comprendidas en las cuencas hidrográficas y que ameritan ser decretadas como tales, debido a

sus características, ubicación y condiciones geográficas. Por lo que se limita legalmente la propiedad de la tierra, y está destinada a la conservación de bosques, fauna, suelos y agua. Entre estas se encuentran las zonas protectoras de cuencas hídricas, como la de San Rafael del Guasare, publicada en el Decreto N° 1.444 de fecha 24 de octubre de 1974 y con una superficie de 302.000 Ha.

Como se establece en la Ley Orgánica para la Organización del Territorio (LOPOT, 1986), el Plan Nacional de Ordenación del Territorio, del cual forma parte la zona Protectora de Cuencas Hídricas, es un instrumento a largo plazo que sirve de marco de referencia espacial, a los planes de desarrollo de mediano y corto plazo del país y a los planes sectoriales adoptados por el Estado. Las Zonas Protectoras de Cuencas Hídricas se consideran como Áreas de Protección y Recuperación Ambiental, en donde los problemas ambientales provocados o inducidos, bien por la acción del hombre o por causas naturales, requieren de un plan de manejo que establezca un tratamiento de recuperación o uno que elimine los fenómenos de degradación.

3.8.2 PROCESOS DE SEQUÍA Y DESERTIFICACIÓN

La desertificación atrajo la atención del mundo tras el desastre de Sahel (Nigeria), a comienzos de los años 70. El debate sobre el proceso de desertificación tuvo como primer escenario la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en Estocolmo, en el año 1972, y

posteriormente, en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en una conferencia realizada en Nairobi (Kenia) en 1977. Este tema se torna más polémico cuando va a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación (CONUD), en la cual se reconoce la desertificación como un problema ambiental con elevado costo humano, social y económico.

La desertificación es la degradación de las tierras secas. Este proceso consiste en la pérdida de la productividad y complejidad biológica o económica de las tierras agrícolas, los pastizales y las regiones forestadas, y se debe principalmente a la variabilidad climática y las actividades no sostenibles del hombre. Las formas más comunes de utilización no sostenible de la tierra son el sobrecultivo, el pastoreo excesivo, el aprovechamiento desmedido de aguas subterráneas, la deforestación y las prácticas inadecuadas de riego.

La desertificación disminuye la resistencia de las tierras ante la variabilidad climática natural. El suelo, la vegetación, los suministros de agua dulce, y otros recursos de las tierras secas, en general, son resistentes, es decir que pueden recuperarse después de sufrir perturbaciones climáticas como la sequía y efectos provocados por el hombre, como el pastoreo excesivo. Sin embargo, cuando las tierras se degradan, esta capacidad de recuperación se reduce sustancialmente, lo que conlleva repercusiones físicas y socioeconómicas.

La desertificación conlleva enormes costos sociales. Hay una creciente percepción de los vínculos que existen entre la desertificación, los desplazamientos civiles y los conflictos. En África muchas personas han debido desplazarse internamente o emigrar a otros países a causa de la guerra, la sequía o la degradación de tierras. Los recursos naturales en las ciudades y sus alrededores, y en los campamentos de refugiados sufren una intensa presión. Las difíciles condiciones de vida y la pérdida de identidad cultural socavan aun más la estabilidad social.

Como citan en su artículo, Castillo y van Zanten (2003), en la Agenda 21, de la Cumbre de Río de Janeiro, se propone el acuerdo marco para establecer convenios y fondos de investigación para control y mitigación de sequía y de procesos de desertificación, entre otros acuerdos internacionales. Venezuela reconoce la legislación aprobatoria supranacional, en materia ambiental; es signataria original, ha ratificado este acuerdo y se encuentra en el plazo de elaboración de planes nacionales.

3.8.3 EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En concordancia con lo que establece Sánchez (1995), las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, específicamente sedimentos de tamaño variable, de los cuales los más importantes, en función del volumen, son los estériles de mina y las colas del tratamiento mineral. Para el caso de las explotaciones mineras la erosión producida por el agua resulta ser la de mayor importancia, pues ésta es la que tiene

mayores efectos perjudiciales en lo referente a erosión y transporte de sedimentos.

Los ecosistemas acuáticos son receptores de cargas de sedimentos a tasas cada vez mayores, lo que conlleva a la alteración de cauces naturales y planicies de inundación, además de aumentar la turbidez del agua y la concentración de oxígeno disuelto por restricciones en la actividad fotosintética y por ende la oportunidad de vida silvestre aeróbica.

El estéril de mina es todo material sin valor económico extraído para permitir la explotación del mineral útil. Las colas son todos los residuos semisólidos de las operaciones del tratamiento de minerales, esta pulpa o lodo contiene entre 30 y 65 % de sólidos.

El impacto de las gotas de lluvia sobre las superficies desnudas de los nuevos suelos de las áreas excavadas y de las construidas con los estériles, provoca, por un lado, el desplazamiento o movilización de los agregados de esos materiales produciendo una liberación de partículas finas y por otro lado, una disminución de la velocidad de infiltración, como resultado de la formación de una costra más impermeable debido a la compactación.

3.8.4 VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Como se establece en <http://tierra.rediris.es/hidrored/iberamred2/>,: "el agua subterránea, en ciertas condiciones, constituye un importante recurso de abastecimiento de agua para distintos usos. En algunas ocasiones, las características propias del sistema natural determinan que la cantidad,

accesibilidad y la calidad del agua subterránea se torne inadecuada para algunos o todos los usos requeridos. Por lo tanto, es importante dejar claro que el agua subterránea no siempre es sinónimo de recurso disponible. En muchas ocasiones, los recursos hídricos subterráneos suelen perder tal categoría, al estar afectados por distintas actividades contaminantes, que incorporan al agua subterránea una variedad de sustancias tóxicas (metales pesados, compuestos orgánicos, organismos patógenos, etc.).”

En concordancia con lo establecido en www.udep.edu.pe/recursoshidricos/.pdf, en América Latina, la preocupación por el manejo apropiado y la preservación de las aguas subterráneas, es un tema relativamente reciente en muchos de los países. Las políticas de explotación de las aguas subterráneas como complemento de los recursos hídricos superficiales son frecuentemente basadas en planificaciones de corto plazo y pueden no ser sostenibles en el tiempo.

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. En muchas ocasiones la situación se agrava por el reconocimiento tardío de que se está deteriorando el acuífero, porque como el agua subterránea no se ve, el problema puede tardar en hacerse evidente. Los acuíferos se van cargando de agua a un ritmo relativamente lento y si se extrae esta agua a un ritmo que supera la recarga, el volumen de agua disponible disminuye. Esto es particularmente grave en los lugares en que las precipitaciones son escasas. Sin embargo, el descenso en el nivel

freático puede ocurrir aún en zonas tropicales de alta precipitación, en las que los acuíferos están sometidos a un uso intensivo y poco controlado.

En otras ocasiones, la disminución de la cobertura boscosa en áreas convertidas en pastizales para ganado tiene como consecuencia un aumento de la escorrentía superficial y el consiguiente abatimiento de los niveles freáticos.

3.8.5 DESARROLLO SUSTENTABLE

En relación a lo que indica el Instituto Tecnológico “Leopoldo Marechal” (ITLM, Bolivia), sobre el concepto de desarrollo sustentable o sostenible se relaciona por una parte con la pertenencia a un sector de actividad como es el de agua y saneamiento en la cual dicha noción es central. Asimismo, la consideración del desarrollo sostenible, se encuadra dentro de una tendencia internacional que se vislumbra en los últimos años y promueve la incorporación de dicha noción por parte de las empresas y en general de las organizaciones.

Podríamos tomar como definición –genérica- de desarrollo sostenible la que ofrece el Informe Bruntland, en 1987, el cual establece que: *“es el desarrollo que tiene en cuenta las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras”*. Además, es preciso señalar como elementos constitutivos de este concepto, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medioambiente, dimensiones que deben ser consideradas en forma interrelacionados e interdependientes entre sí.

Por otra parte, la Agenda 21 establece la necesidad, por parte de los Estados Nacionales, de instrumentar los mecanismos necesarios para identificar y determinar indicadores de sustentabilidad para actividades económicas dentro del territorio nacional. En el tema de indicadores locales de sustentabilidad se aplica actualmente un esfuerzo importante para desarrollar metodologías de investigación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS

En el presente capítulo se muestran los análisis de los diferentes datos que se han obtenido en campo, dichos datos están relacionados principalmente con los parámetros de precipitación, así como con los ensayos de permeabilidad realizados en campo.

4.1 AGUAS DE PRECIPITACIÓN

Los datos que se analizan en las siguientes sub-secciones están relacionados con los conceptos y parámetros mostrados en la Sección 3.2. y 3.2.1, respectivamente.

4.1.1 DATOS DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Los valores presentados en los anuarios climatológicos corresponden a los análisis de veinticuatro (24) horas continuas de lluvia, comprendidos entre las ocho (8) de la mañana de un día, a las ocho (8) de la mañana del día siguiente, anotándose este valor para el primero de ellos. Para este caso de estudio, se utilizaron los datos de precipitación registrados en las Estaciones Meteorológicas El Carbón y Carichuano, por ser las más cercanas al área de la Mina Paso Diablo. Dichas estaciones se encuentran al norte y al sur, respectivamente, del área de estudio. La representación gráfica de los reportes presentados en los anuarios climatológicos, realizados por el MARN, relacionados a la cantidad de agua caída durante las precipitaciones como se muestra en la Figura 15.

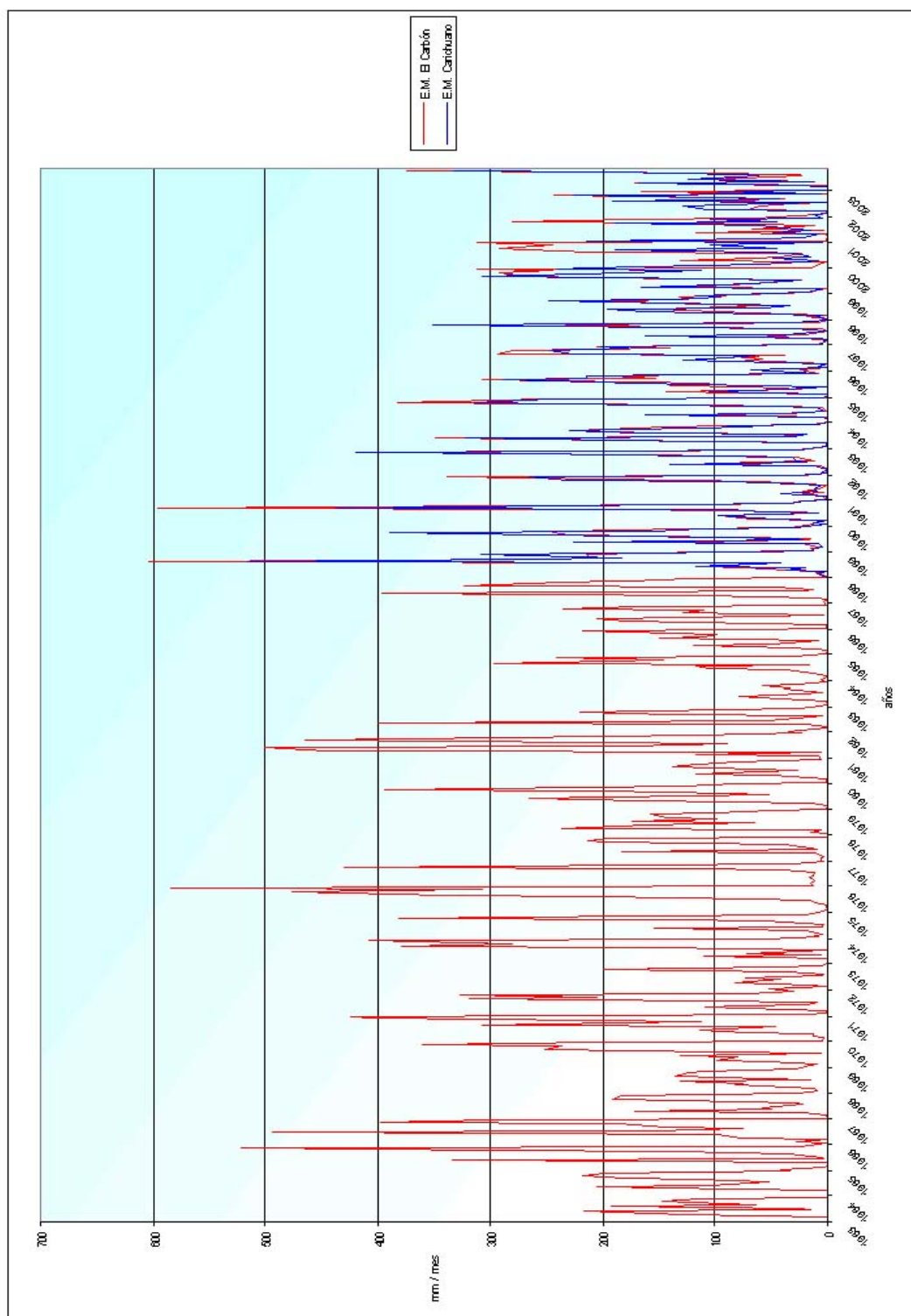


Figura 16. Cantidad de Agua caída en las E.M. El Carbón y Carichuano.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 CÁLCULO DE LAS CURVAS IDF

Con la finalidad de determinar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, se solicitó al MARN, en la Dirección Estatal Ambiental Zulia, los registros de intensidad de lluvia para tiempos restringidos, particularmente, las intensidades para treinta (30) minutos, una (1) hora y tres (3) horas. Estos reportes se muestran, como anexo 2, y los valores máximos de intensidades de precipitación, en las duraciones de tiempo mencionadas, para las estaciones meteorológicas, se encuentran comprendidos entre los años 1965 y 1998, para la estación meteorológica El Carbón, y entre los años 1988 y 1998, la estación meteorológica Carichuano. Estos valores se muestran en las tablas 5 y 6, respectivamente.

En relación a la metodología establecida por Hernández (1979), para la determinación de las curvas IDF, se elaboraron las Tablas 7, 8, 9, 10, 11, y 12, las cuales presentan los valores promedio, desviaciones y frecuencias de las láminas de agua precipitada, en las estaciones meteorológicas de El Carbón y Carichuano, para los tiempos considerados.

En referencia a la Tabla 7., utilizando el programa Microsoft® Excel, se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 0,5 horas de la E.M. El Carbón. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 1.517,9 mm, para la media 44,64 mm y para la desviación 11,09 mm.

TABLA 5. VALORES DE
INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (mm)
E.M. EL CARBÓN

AÑO	30 MINUTOS	1 HORA	3 HORAS
1965	61,3	99	182
1966	58,1	72	123
1967	31,9	45	69
1968	52,2	77	103
1969	40,8	60	70
1970	50,5	81	115
1971	60,8	101	159
1972	47,7	90	111
1973	39,3	49	76
1974	36,2	54	61
1975	43,8	71	139
1976	44	57	103
1977	35,9	47	60
1978	50,3	66	100
1979	40	59	74
1980	31,3	54	74
1981	47,9	86	101
1982	31,3	56	119
1983	16	17	21
1984	46,5	70	97
1985	27,3	30	50
1986	44,3	55	109
1987	46,6	60	77
1988	62,1	94	104
1989	54,9	74	121
1990	54,1	94	144
1991	43,9	57	86
1992	45,4	68	108
1993	34,5	52	71
1994	61,2	84	93
1995	36,2	59	75
1996	40,6	61	123
1997	65,1	86	118
1998	35,9	61	92

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6. VALORES DE
INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (mm)
E.M. CARICHUANO

AÑO	30 MINUTOS	1 HORA	3 HORAS
1988	44,4	61	83
1989	41,8	58	83
1990	38,7	80	80
1991	42	63	66
1992	29,5	50	106
1993	37,7	49	80
1994	38,9	128	133
1995	43,9	56	70
1996	24,5	41	67
1997	40,8	71	131
1998	42,9	61	94

Fuente: Elaboración Propia

Además, fueron calculados los parámetros de Gumbel, $1/a$ y u ,
asumiendo las fórmulas:

$$1/a = 0,779696 * \sigma \quad \text{y} \quad u = X - 0,450047 * \sigma$$

donde:

X : Media de la muestra

σ : Desviación típica de la muestra

Y cuyos valores resultaron en 8,65 mm para el parámetro $1/a$ y 39,65 mm para el parámetro u .

De manera similar al procedimiento usado en la Tabla 7, se elaboró la Tabla 8, donde se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 1 hora de la E.M. El Carbón. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 2.246 mm, para la media 66,06 mm y para la desviación 18,75 mm.

Los parámetros de Gumbel, $1/a$ y u , resultaron en 14,61 mm y 57,62 mm, respectivamente.

De manera similar a los dos casos anteriores (Tablas 7 y 8), se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 3 horas de la E.M. El Carbón mostrados en la Tabla 9. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 3.328 mm, para la media 97,88 mm y para la desviación 31,70 mm.

Los parámetros de Gumbel, $1/a$ y u , cuyos valores resultaron en 24,72 mm y 83,61 mm, respectivamente.

TABLA 7. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. EL CARBÓN

Año	0,5 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
65	61,30	1,00	65,10	4.238,01	0,01
66	58,10	2,00	62,10	3.856,41	0,04
67	31,90	3,00	61,30	3.757,69	0,07
68	52,20	4,00	61,20	3.745,44	0,10
69	40,80	5,00	60,80	3.696,64	0,13
70	50,50	6,00	58,10	3.375,61	0,16
71	60,80	7,00	54,90	3.014,01	0,19
72	47,70	8,00	54,10	2.926,81	0,22
73	39,30	9,00	52,20	2.724,84	0,25
74	36,20	10,00	50,50	2.550,25	0,28
75	43,80	11,00	50,30	2.530,09	0,31
76	44,00	12,00	47,90	2.294,41	0,34
77	35,90	13,00	47,70	2.275,29	0,37
78	50,30	14,00	46,60	2.171,56	0,40
79	40,00	15,00	46,50	2.162,25	0,43
80	31,30	16,00	45,40	2.061,16	0,46
81	47,90	17,00	44,30	1.962,49	0,49
82	31,30	18,00	44,00	1.936,00	0,51
83	16,00	19,00	43,90	1.927,21	0,54
84	46,50	20,00	43,80	1.918,44	0,57
85	27,30	21,00	40,80	1.664,64	0,60
86	44,30	22,00	40,60	1.648,36	0,63
87	46,60	23,00	40,00	1.600,00	0,66
88	62,10	24,00	39,30	1.544,49	0,69
89	54,90	25,00	36,20	1.310,44	0,72
90	54,10	26,00	36,20	1.310,44	0,75
91	43,90	27,00	35,90	1.288,81	0,78
92	45,40	28,00	35,90	1.288,81	0,81
93	34,50	29,00	34,50	1.190,25	0,84
94	61,20	30,00	31,90	1.017,61	0,87
95	36,20	31,00	31,30	979,69	0,90
96	40,60	32,00	31,30	979,69	0,93
97	65,10	33,00	27,30	745,29	0,96
98	35,90	34,00	16,00	256,00	0,99
sumatoria			1.517,90	71.949,13	
Media			44,64	2.116,15	
Desviación			11,09		
Parametros Ley de Gumbel			1/a =	8,65	
			u =	39,65	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 8. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. EL CARBÓN

Año	1 Hora (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
65	99,00	1,00	101,00	10.201,00	0,01
66	72,00	2,00	99,00	9.801,00	0,04
67	45,00	3,00	94,00	8.836,00	0,07
68	77,00	4,00	94,00	8.836,00	0,10
69	60,00	5,00	90,00	8.100,00	0,13
70	81,00	6,00	86,00	7.396,00	0,16
71	101,00	7,00	86,00	7.396,00	0,19
72	90,00	8,00	84,00	7.056,00	0,22
73	49,00	9,00	81,00	6.561,00	0,25
74	54,00	10,00	77,00	5.929,00	0,28
75	71,00	11,00	74,00	5.476,00	0,31
76	57,00	12,00	72,00	5.184,00	0,34
77	47,00	13,00	71,00	5.041,00	0,37
78	66,00	14,00	70,00	4.900,00	0,40
79	59,00	15,00	68,00	4.624,00	0,43
80	54,00	16,00	66,00	4.356,00	0,46
81	86,00	17,00	61,00	3.721,00	0,49
82	56,00	18,00	61,00	3.721,00	0,51
83	17,00	19,00	60,00	3.600,00	0,54
84	70,00	20,00	60,00	3.600,00	0,57
85	30,00	21,00	59,00	3.481,00	0,60
86	55,00	22,00	59,00	3.481,00	0,63
87	60,00	23,00	57,00	3.249,00	0,66
88	94,00	24,00	57,00	3.249,00	0,69
89	74,00	25,00	56,00	3.136,00	0,72
90	94,00	26,00	55,00	3.025,00	0,75
91	57,00	27,00	54,00	2.916,00	0,78
92	68,00	28,00	54,00	2.916,00	0,81
93	52,00	29,00	52,00	2.704,00	0,84
94	84,00	30,00	49,00	2.401,00	0,87
95	59,00	31,00	47,00	2.209,00	0,90
96	61,00	32,00	45,00	2.025,00	0,93
97	86,00	33,00	30,00	900,00	0,96
98	61,00	34,00	17,00	289,00	0,99
		sumatoria	2.246,00	160.316,00	
		Media	66,06	4.715,18	
		Desviación	18,75		
Parametros Ley de Gumbel		1/a =	14,62		
		u =	57,62		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 9. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. EL CARBÓN

Año	3 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
65	182,00	1,00	182,00	33.124,00	0,01
66	123,00	2,00	159,00	25.281,00	0,04
67	69,00	3,00	144,00	20.736,00	0,07
68	103,00	4,00	139,00	19.321,00	0,10
69	70,00	5,00	123,00	15.129,00	0,13
70	115,00	6,00	123,00	15.129,00	0,16
71	159,00	7,00	121,00	14.641,00	0,19
72	111,00	8,00	119,00	14.161,00	0,22
73	76,00	9,00	118,00	13.924,00	0,25
74	61,00	10,00	115,00	13.225,00	0,28
75	139,00	11,00	111,00	12.321,00	0,31
76	103,00	12,00	109,00	11.881,00	0,34
77	60,00	13,00	108,00	11.664,00	0,37
78	100,00	14,00	104,00	10.816,00	0,40
79	74,00	15,00	103,00	10.609,00	0,43
80	74,00	16,00	103,00	10.609,00	0,46
81	101,00	17,00	101,00	10.201,00	0,49
82	119,00	18,00	100,00	10.000,00	0,51
83	21,00	19,00	97,00	9.409,00	0,54
84	97,00	20,00	93,00	8.649,00	0,57
85	50,00	21,00	92,00	8.464,00	0,60
86	109,00	22,00	86,00	7.396,00	0,63
87	77,00	23,00	77,00	5.929,00	0,66
88	104,00	24,00	76,00	5.776,00	0,69
89	121,00	25,00	75,00	5.625,00	0,72
90	144,00	26,00	74,00	5.476,00	0,75
91	86,00	27,00	74,00	5.476,00	0,78
92	108,00	28,00	71,00	5.041,00	0,81
93	71,00	29,00	70,00	4.900,00	0,84
94	93,00	30,00	69,00	4.761,00	0,87
95	75,00	31,00	61,00	3.721,00	0,90
96	123,00	32,00	60,00	3.600,00	0,93
97	118,00	33,00	50,00	2.500,00	0,96
98	92,00	34,00	21,00	441,00	0,99
		sumatoria	3.328,00	359.936,00	
		Media	97,88	10.586,35	
		Desviación	31,71		
Parametros Ley de Gumbel		1/a =	24,72		
		u =	83,61		

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, al procedimiento utilizado en la elaboración de las Tablas 7, 8 y 9, se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 0,5 horas de la E.M. Carichuano mostrados en la Tabla 10. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 425,1 mm, para la media 38,65 mm y para la desviación 5,95 mm.

Los parámetros de Gumbel, resultaron en 4,64 mm para el parámetro $1/a$ y 35,97 mm para el parámetro u .

Para los valores mostrados en la Tabla 11, se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 1 hora de la E.M. Carichuano. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 718 mm, para la media 65,27 mm y para la desviación 22,63 mm.

Los parámetros de Gumbel, $1/a$ y u , resultaron en 17,36 mm para el parámetro $1/a$ y 55,25 mm para el parámetro u .

En la Tabla 12 con la ayuda del programa Microsoft® Excel, se calcularon los valores de sumatoria, media y desviación, para los datos de Intensidad de precipitación en 3 horas de la E.M. Carichuano. Los valores obtenidos son: para la sumatoria 993 mm, para la media 90,27 mm y para la desviación 22,57 mm.

Además, fueron calculados los parámetros de Gumbel, cuyos valores resultaron en 17,60 mm para el parámetro $1/a$ y 80,11 mm para el parámetro u .

TABLA 10. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. CARICHUANO

Año	0,5 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
1988	44,40	1,00	44,40	1.971,36	0,05
1989	41,80	2,00	43,90	1.927,21	0,14
1990	38,70	3,00	42,90	1.840,41	0,23
1991	42,00	4,00	42,00	1.764,00	0,32
1992	29,50	5,00	41,80	1.747,24	0,41
1993	37,70	6,00	40,80	1.664,64	0,50
1994	38,90	7,00	38,90	1.513,21	0,59
1995	43,90	8,00	38,70	1.497,69	0,68
1996	24,50	9,00	37,70	1.421,29	0,77
1997	40,80	10,00	29,50	870,25	0,86
1998	42,90	11,00	24,50	600,25	0,95
		sumatoria	425,10	16.817,55	
		Media	38,65	1.528,87	
		Desviación	5,95		
Parametros Ley de Gumbel		1/a =	4,64		
		u =	35,97		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 11. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. CARICHUANO

Año	1 Hora (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
1988	61,00	1,00	128,00	16.384,00	0,05
1989	58,00	2,00	80,00	6.400,00	0,14
1990	80,00	3,00	71,00	5.041,00	0,23
1991	63,00	4,00	63,00	3.969,00	0,32
1992	50,00	5,00	61,00	3.721,00	0,41
1993	49,00	6,00	61,00	3.721,00	0,50
1994	128,00	7,00	58,00	3.364,00	0,59
1995	56,00	8,00	56,00	3.136,00	0,68
1996	41,00	9,00	50,00	2.500,00	0,77
1997	71,00	10,00	49,00	2.401,00	0,86
1998	61,00	11,00	41,00	1.681,00	0,95
		sumatoria	718,00	52.318,00	
		Media	65,27	4.756,18	
		Desviación	22,26		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 12. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF
E.M. CARICHUANO

Año	3 Horas (mm)	Decreciente	Xi (mm)	Xi^2 (mm^2)	Frecuencias
1988	83,00	1,00	133,00	17.689,00	0,05
1989	83,00	2,00	131,00	17.161,00	0,14
1990	80,00	3,00	106,00	11.236,00	0,23
1991	66,00	4,00	94,00	8.836,00	0,32
1992	106,00	5,00	83,00	6.889,00	0,41
1993	80,00	6,00	83,00	6.889,00	0,50
1994	133,00	7,00	80,00	6.400,00	0,59
1995	70,00	8,00	80,00	6.400,00	0,68
1996	67,00	9,00	70,00	4.900,00	0,77
1997	131,00	10,00	67,00	4.489,00	0,86
1998	94,00	11,00	66,00	4.356,00	0,95
sumatoria			993,00	95.245,00	
Media			90,27	8.658,64	
Desviación			22,57		
Parametros Ley de Gumbel			1/a =	17,60	
			u =	80,11	

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de obtener el ajuste de las Curvas IDF para los datos de las estaciones meteorológicas El Carbón y Carichuano, se realizó la Tabla. 13, en concordancia con la metodología establecida por Hernández (1979).

Los valores obtenidos para las diferentes intensidades escogidas, varían entre 2,33 años y 1000 años. Sin embargo, basados en la vida útil del proyecto en estudio, aproximadamente 20 años, sólo se analizaron las curvas IDF para períodos de retorno de hasta 100 años.

Con el fin de mostrar la información relativa a los resultados de la curvas IDF, que han sido estimadas para el área de la mina, se grafican las curvas IDF de las 2 (dos) estaciones meteorológicas, que se encuentran al

norte (Carichuano) y al sur (El Carbón) de la excavación minera, ver Figuras 16 y 17, para distintos tiempos de retorno entre 2,33 años y 100 años.

TABLA 13. RESULTADOS DE
PARAMETROS GUMBEL

E.M. EL CARBÓN				E.M. CARICHUANO			
0,5 hora				0,5 hora			
T retorno	Variable	Parametro	Valor eje Y	T retorno	Variable	Parametro	Valor eje Y
2,33	0,58	5,01	89,32	2,33	0,58	2,69	77,31
5,00	1,50	12,97	105,25	5,00	1,50	6,96	85,85
10,00	2,25	19,46	118,23	10,00	2,25	10,44	92,81
15,00	2,62	22,69	124,68	15,00	2,62	12,17	96,27
20,00	2,97	25,69	130,68	20,00	2,97	13,78	99,49
25,00	3,20	27,66	134,63	25,00	3,20	14,84	101,61
50,00	3,90	33,75	146,80	50,00	3,90	18,10	108,14
100,00	4,60	39,80	158,90	100,00	4,60	21,34	114,63
500,00	6,21	53,74	186,79	500,00	6,21	28,82	129,58
1.000,00	6,91	59,75	198,80	1.000,00	6,91	32,04	136,02
1 hora				1 hora			
(años)	reducida	Gumbel	(mm)	(años)	reducida	Gumbel	(mm)
2,33	0,58	8,46	66,09	2,33	0,58	10,05	65,30
5,00	1,50	21,92	79,55	5,00	1,50	26,04	81,29
10,00	2,25	32,89	90,51	10,00	2,25	39,06	94,32
15,00	2,62	38,34	95,96	15,00	2,62	45,53	100,79
20,00	2,97	43,41	101,03	20,00	2,97	51,56	106,81
25,00	3,20	46,75	104,37	25,00	3,20	55,52	110,78
50,00	3,90	57,03	114,65	50,00	3,90	67,73	122,99
100,00	4,60	67,25	124,88	100,00	4,60	79,87	135,13
500,00	6,21	90,82	148,44	500,00	6,21	107,86	163,11
1.000,00	6,91	100,96	158,59	1.000,00	6,91	119,91	175,16
3 hora				3 horas			
(años)	reducida	Gumbel	(mm)	(años)	reducida	Gumbel	(mm)
2,33	0,58	14,31	32,64	2,33	0,58	10,19	30,10
5,00	1,50	37,08	40,23	5,00	1,50	26,40	35,50
10,00	2,25	55,64	46,42	10,00	2,25	39,60	39,91
15,00	2,62	64,85	49,49	15,00	2,62	46,17	42,09
20,00	2,97	73,43	52,35	20,00	2,97	52,27	44,13
25,00	3,20	79,08	54,23	25,00	3,20	56,29	45,47
50,00	3,90	96,47	60,03	50,00	3,90	68,67	49,59
100,00	4,60	113,76	65,79	100,00	4,60	80,98	53,70
500,00	6,21	153,62	79,08	500,00	6,21	109,35	63,16
1.000,00	6,91	170,78	84,80	1.000,00	6,91	121,57	67,23

Fuente: Elaboración propia.

Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia
ESTACIÓN EL CARBÓN

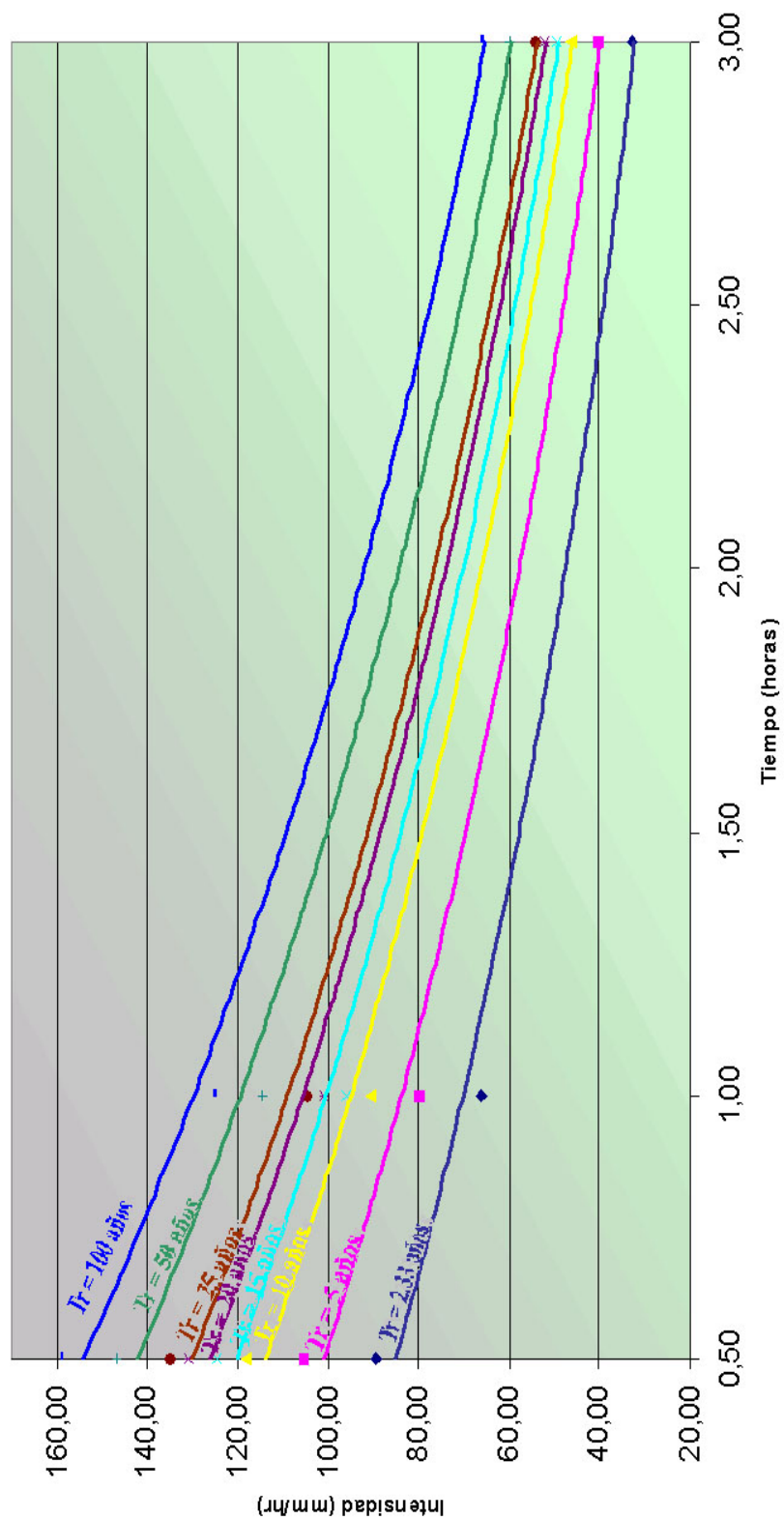


Figura 16. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia de la E.M. El Carbón
 Fuente: Elaboración propia

Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia

ESTACIÓN CARICHUANO

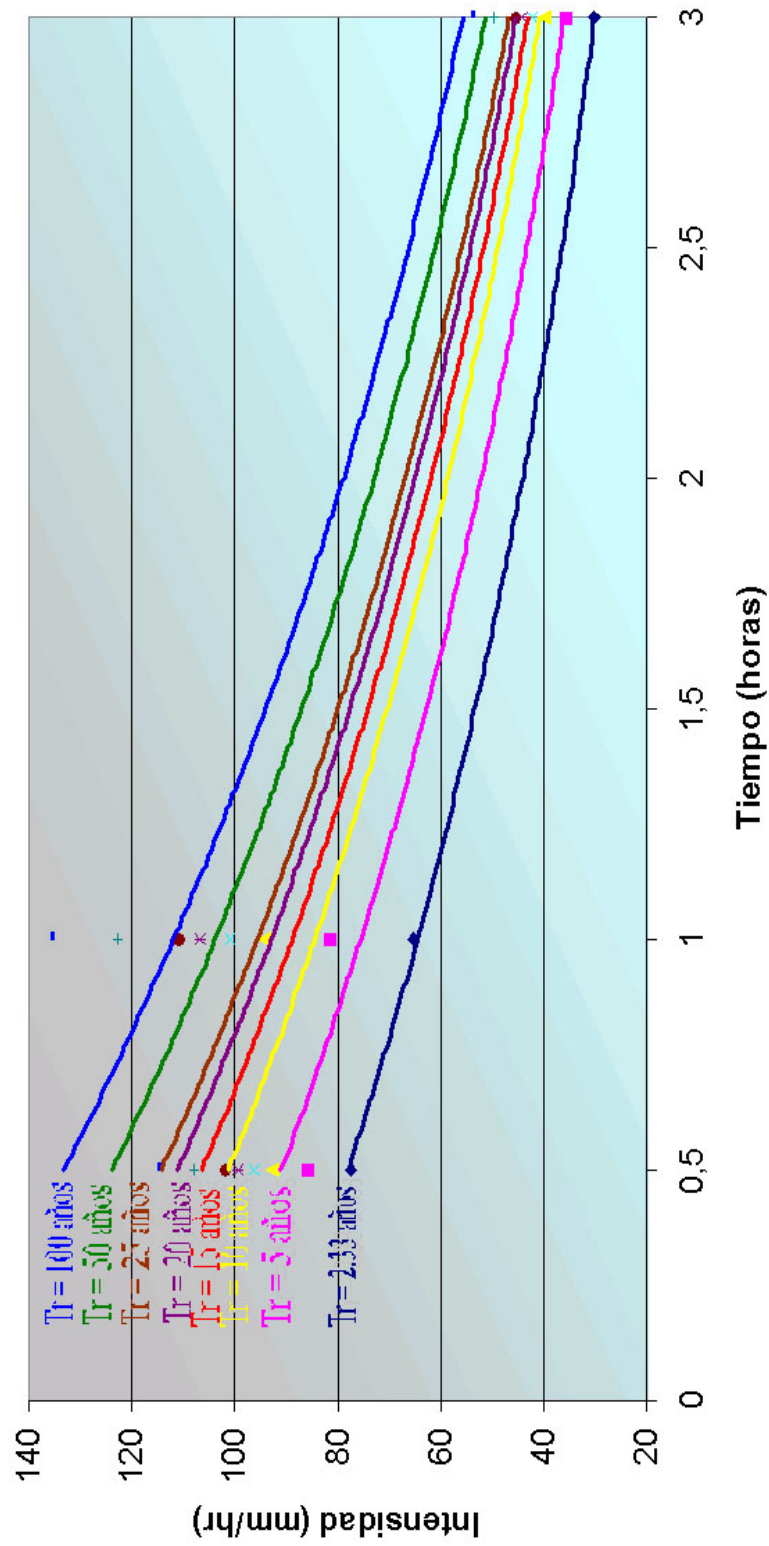


Figura 17. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia de la E.M. Carichuano
Fuente: Elaboración propia

4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los datos que se analizan en las siguientes sub-secciones están relacionados con los conceptos y parámetros mostrados en la Sección 3.4. y 3.4.1, respectivamente.

4.2.1 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Los ensayos de permeabilidad se realizaron tomando la altura del espejo de agua dentro del ademe, cada 5 (cinco) segundos y se realizaron un total de 12 ensayos de permeabilidad, distribuidos 4 (cuatro) ensayos en cada piezómetro, con la finalidad de corroborar los resultados, de acuerdo con la metodología propuestas por CANMET (1977).

Como fue mencionado con anterioridad, estos ensayos son tipo Lefranc de flujo variable de descenso y fueron realizados específicamente sobre los piezómetros PHG 1, PHG 4 y PHG 5, cuyas coordenadas UTM, se muestran en la tabla 14. Los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad, realizados en campo, se muestran en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 14. Coordenadas de piezómetros
en la pared Este de la Mina

PIEZOMETRO	Latitud	Longitud
PHG-1	1.222.492	798.685
PHG-2	1.222.491	798.628
PHG-3	1.222.488	798.520
PHG-4	1.221.712	798.876
PHG-5	1.221.687	798.790
PHG-6	1.221.701	798.619
PHG-12	1.223.360	798.491

Fuente: Elaboración Propia.

En relación a la Tabla 15, utilizando el programa Microsoft® Excel, se calcularon los valores de permeabilidad, para los datos obtenidos en el Piezómetro PHG-1; el valor promedio de los cuatro ensayos realizados es de $2,0^{-4}$ m / s

El valor de permeabilidad K, fue calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$K = ((2,3 * \log_{10} (h_1 / h_2)) / t_2 - t_1) * (\ln (R / r))$$

donde:

K: Permeabilidad (m / s).

h_1 : Altura inicial del espeso de agua (m).

h_2 : Altura final del espejo de agua (m).

t_1 : Tiempo de inicio del ensayo (s).

t_2 : Tiempo de finalización del ensayo (s).

R: Radio de la perforación (cm).

r: Radio del ademe (cm).

De manera similar al caso anterior (Tabla 15), se calcularon los valores de permeabilidad, para los datos obtenidos en el Piezómetro PHG-4, el valor promedio de los cuatro ensayos realizados es de $2,0^{-4}$ m / s.

De igual manera, que en los dos casos anteriores (Tabla 15 y 16), se calcularon los valores de permeabilidad, para los datos mostrados en la Tabla 17, en el Piezómetro PHG-5, el valor promedio de los cuatro ensayos realizados es de $2,0^{-4}$ m / s

Tabla 15. Resultados de los ensayos de
en el Piezometro PHG-1

Ensayo	Tiempo transcurrido (seg)	Altura del espejo de agua (m)	Diferencia espejo - nivel (m)	Permeabilidad (m / s)
1	0	2,5	47,81	
	5	16	34,31	2,1E-04
2	0	1,5	48,81	
	5	16	34,31	2,2E-04
3	0	2,23	48,08	
	5	14	36,31	1,8E-04
4	0	1,241	49,069	
	5	14	36,31	1,9E-04
Promedio				2,0E-04

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16. Resultados de los ensayos de
en el Piezometro PHG-4

Ensayo	Tiempo transcurrido (seg)	Altura del espejo de agua (m)	Diferencia espejo - nivel (m)	Permeabilidad (m / s)
1	0	10,5	80,965	
	5	26	65,465	2,0E-04
2	0	10,5	80,965	
	5	28	63,465	2,3E-04
3	0	7,54	83,925	
	5	25	66,465	2,2E-04
4	0	19,84	71,625	
	5	29	62,465	1,3E-04
Promedio				2,0E-04

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17. Resultados de los ensayos de
en el Piezometro PHG-5

Ensayo	Tiempo transcurrido (seg)	Altura del espejo de agua (m)	Diferencia espejo - nivel (m)	Permeabilidad (m / s)
1	0	20,36	32,191	
	5	27	25,551	2,2E-04
2	0	19,5	33,051	
	5	26	26,551	2,1E-04
3	0	21,5	31,051	
	5	27	25,551	1,9E-04
4	0	19,84	32,711	
	5	26	26,551	2,0E-04
			Promedio	2,0E-04

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2 NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Los datos de niveles piezométricos se dividen en tres grandes grupos, aquellos de los piezómetros instalados en la pared alta (este) de la mina; aquellos de los pozos de control de calidad de aguas subterráneas, manejados en convenio entre el MARN y CDG, y los datos de pozos exploratorios anteriores a la apertura de la mina, realizados por Corpozulia para la evaluación inicial del yacimiento. Todos los pozos y piezómetros se encuentran ploteados en los planos de topografía original y topografía modificada, presentados como anexos 3 y 4, respectivamente.

Los niveles piezométricos relacionados a los piezómetros de la pared alta, cuyas coordenadas UTM se muestran en la citada tabla 17, se encuentran graficados en la figura 18, cuyos niveles no permanecen fijos a lo largo del tiempo. Estos fueron tomados diariamente; además se utilizó el registro histórico, el cual realiza el personal de CDG, desde la instalación de dichos piezómetros, para el control geotécnico de la estabilidad de la pared.

La data histórica de los niveles piezométricos presentada en los pozos de control de calidad de las aguas subterráneas, cuyas coordenadas UTM se muestran en la tabla 18, fueron obtenidos de los reportes generados por el MARN. Estos se encuentran graficados en la figura 19, de igual manera al caso anterior, Figura 18, los niveles piezométricos no permanecen estables a lo largo del tiempo.

Las coordenadas de los pozos existentes antes de la excavación minera se muestran en la tabla 19, éstas fueron tomadas de un reporte de Corpozulia, elaborado durante el proceso de evaluación geológica inicial del yacimiento. En los gráficos mostrados en las citadas Figuras 18 y 19 se incluyen los registros de intensidad de precipitación, con el fin de relacionar la variación de los niveles de los pozos con la precipitación caída.

Tabla 18. Coordenadas de pozos
para control de aguas Subterrneas

POZO	COOR. NORTE	COOR. ESTE
MARNR-1	1.217.668	796.102
MARNR-2	1.219.011	798.368
MARNR-5	1.221.393	800.335
MARNR-6	1.223.086	801.154
POB-01	1.219.051	795.998
PM-051	1.221.062	797.347
FEX-021	1.219.623	798.059
FEX-010	1.219.279	797.803
PRX-010	1.218.116	798.012

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Coordenadas de pozos
anteriores a la excavación minera

P					
PB-017	1.223.460	798.297	PW-264	1.219.975	796.406
PB-015	1.223.275	798.648	PC-047B	1.219.873	797.939
PB-023	1.223.279	798.209	PC-044	1.219.832	797.632
PB-022	1.223.177	798.385	PW-282	1.219.788	795.855
PB-032	1.223.204	797.934	PW-284	1.219.605	796.216
PB-021	1.223.087	798.562	PC-041	1.219.571	797.675
PB-031	1.223.107	798.098	PA-002	1.219.531	797.847
P-132	1.223.139	797.227	PW-304	1.219.235	796.059
PB-046	1.222.954	797.572	PC-026A	1.218.628	797.504
P-139	1.222.769	797.512	PR-180	1.218.547	797.669
PB-043	1.222.650	798.088	PC-018	1.218.418	797.088
PW-102	1.222.784	796.011	PC-016	1.218.402	796.725
P-145	1.222.551	797.422	PA-001	1.218.253	797.220
PB-042	1.222.533	798.292	PC-014B	1.218.162	797.116
P-152	1.222.361	797.330	PC-014	1.218.114	797.204
P-167	1.221.882	797.759	PR-015	1.217.906	797.559
P-169	1.221.710	798.137	PS-002	1.217.611	797.445
P-183	1.221.464	798.055	PS-004	1.217.474	797.794
PW-160	1.221.208	797.439	PS-036	1.217.452	796.489
P-199	1.221.126	798.328	PS-055	1.217.361	796.219
PW-188	1.220.909	797.228	PS-024	1.216.812	798.374
PC-050	1.220.228	797.279	PS-205	1.215.897	795.939
PC-048	1.220.062	797.578	PS-166	1.215.472	797.758
			PS-168	1.215.272	798.121

Fuente: Elaboración propia

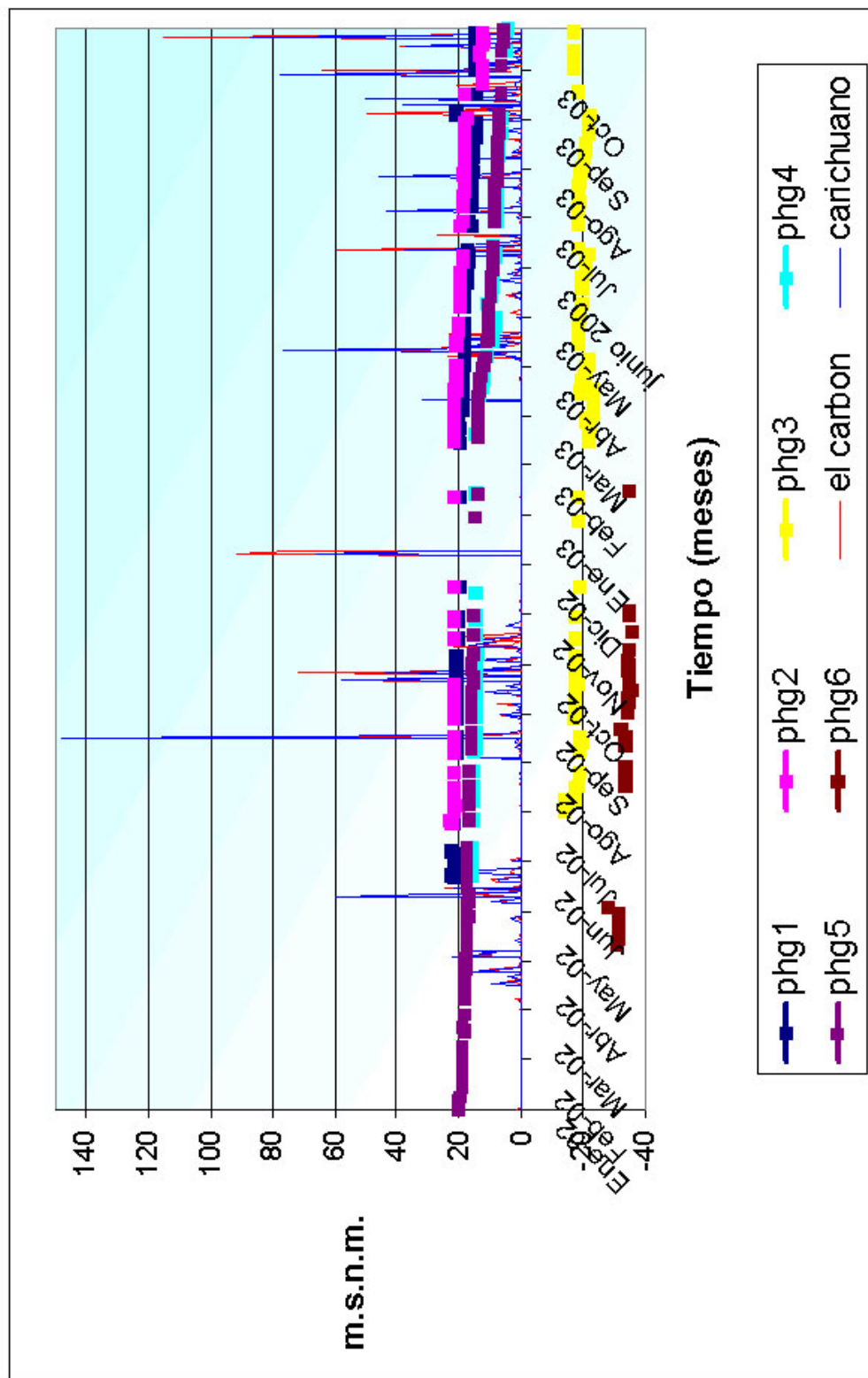


Figura 18. Niveles piezométricos de los piezómetros en la pared Este del Pit Baqueta
Fuente: Elaboración propia

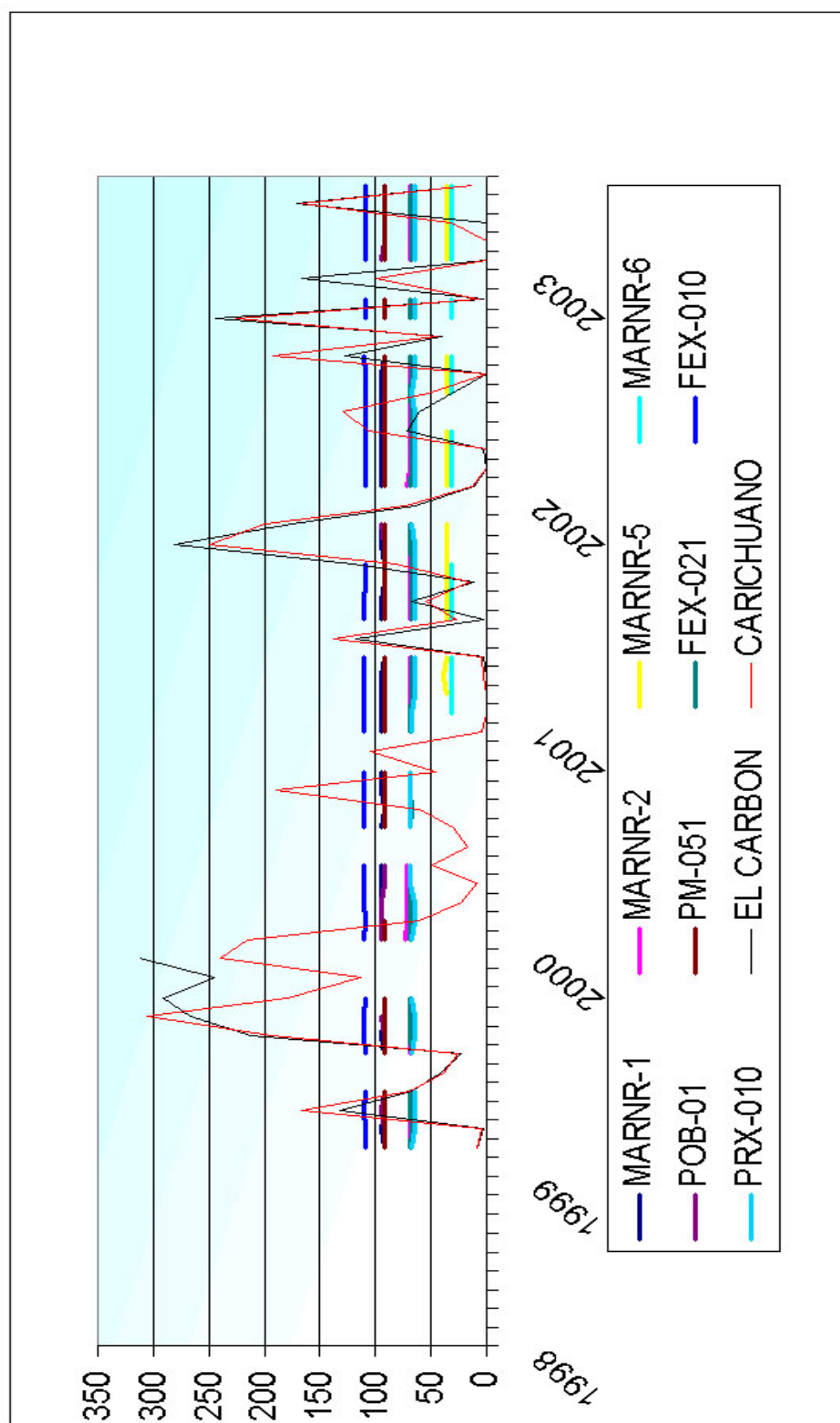


Figura 19. Niveles piezométricos de los pozos de control de aguas subterráneas

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA DE LA MINA

Considerando las condiciones estratigráficas, estructurales y topográficas en el área de la mina y sus alrededores, en donde, la Formación Guasare, no es considerada, en este estudio, como material de aporte de aguas subterráneas a la excavación minera, induce a pensar que los mantos u horizontes subterráneos permeables se alimentan, principalmente, de las precipitaciones que caen sobre la superficie de las rocas fracturadas y suelos.

Con los datos actuales es difícil estimar qué porcentaje de la precipitación alimenta el depósito subterráneo. Se ha tomado como valor medio para la infiltración del área entre 20 y 35% de la precipitación caída, en analogía con otras cuencas conocidas, lo cual representaría para una precipitación media de 1.200 mm al año, una recarga del orden de $12,3 \cdot 10^6$ m³/año. En el análisis de la variación de los niveles subterráneos de agua de acuerdo a diferentes épocas del año, como se verá más adelante, se observa una relación entre la precipitación y el almacenamiento subterráneo.

Es importante destacar que el conjunto de bombas de achique, que se encuentran en el sumidero del Pit Baqueta, bombean en condiciones de no precipitación, un promedio de 3.000 GPM, durante un tiempo de 3 a 4 hr diarias.

El agua bombeada es proveniente de los flujos laterales en el subsuelo, la cual posiblemente, tiene un origen doble; por un lado, las aguas

provenientes de las recargas, en el sector oeste de la mina y por el otro, las aguas provenientes de la infiltración de precipitaciones pasadas, que aún se desplazan lentamente en el subsuelo. Estos dos tipos de aguas conforman el agua subterránea que pasa a ser parte fundamental del balance hídrico del área de la mina y fluyen a la excavación minera, ver Figura 20, debido a la existencia de estratos impermeables y a la dificultad de cuantificar su cantidad, en este balance hídrico no se muestra la porción del agua que infiltra a través del suelo y alcanza niveles profundos del acuífero.

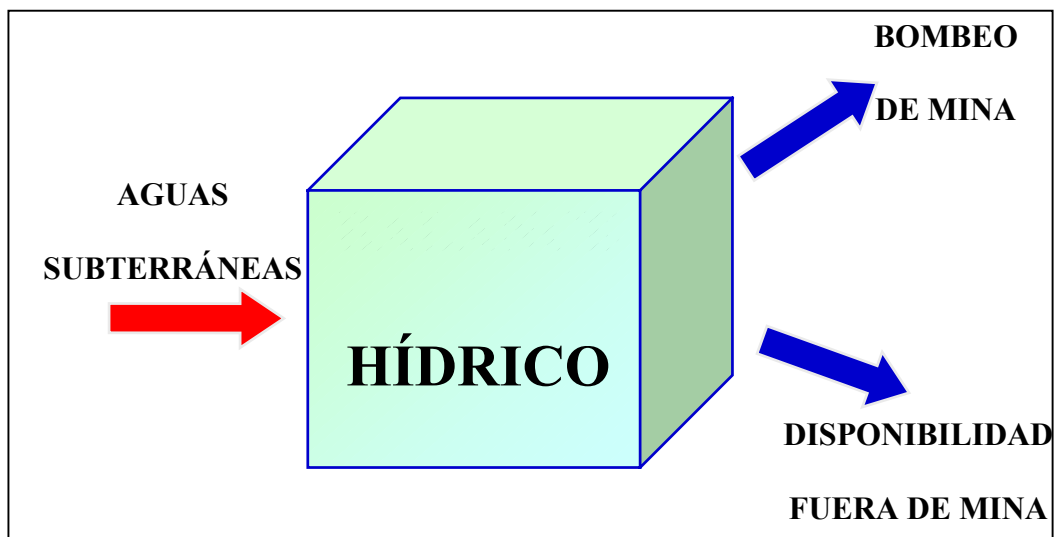


Figura 20. Balance Hídrico del área de la mina
Fuegote: Elaboración propia.

En segundo término se debe considerar, según se indicó anteriormente, que si el movimiento del flujo subterráneo se efectúa de Oeste a Este, en el mismo sentido del buzamiento de las capas rocosas y mantos de carbón, cabe suponer por supuesto, que debe existir una recarga, no cuantificable por los momentos, asociada al anticlinal de Manuelote, en la zona Oeste,

topográficamente más elevada, dando origen a niveles artesianos en el área de la mina topográficamente más baja. Por no haberse perforado las calizas de la Formación Guasare, se desconocen sus propiedades hidrogeológicas; sin embargo, por buenas que éstas sean, en cuanto a su aporte al depósito subterráneo, su contribución queda limitada por la poca permeabilidad de algunos estratos de la Formación Marcelina, dadas las litologías que caracterizan la misma, como se indica en la Figura 21.

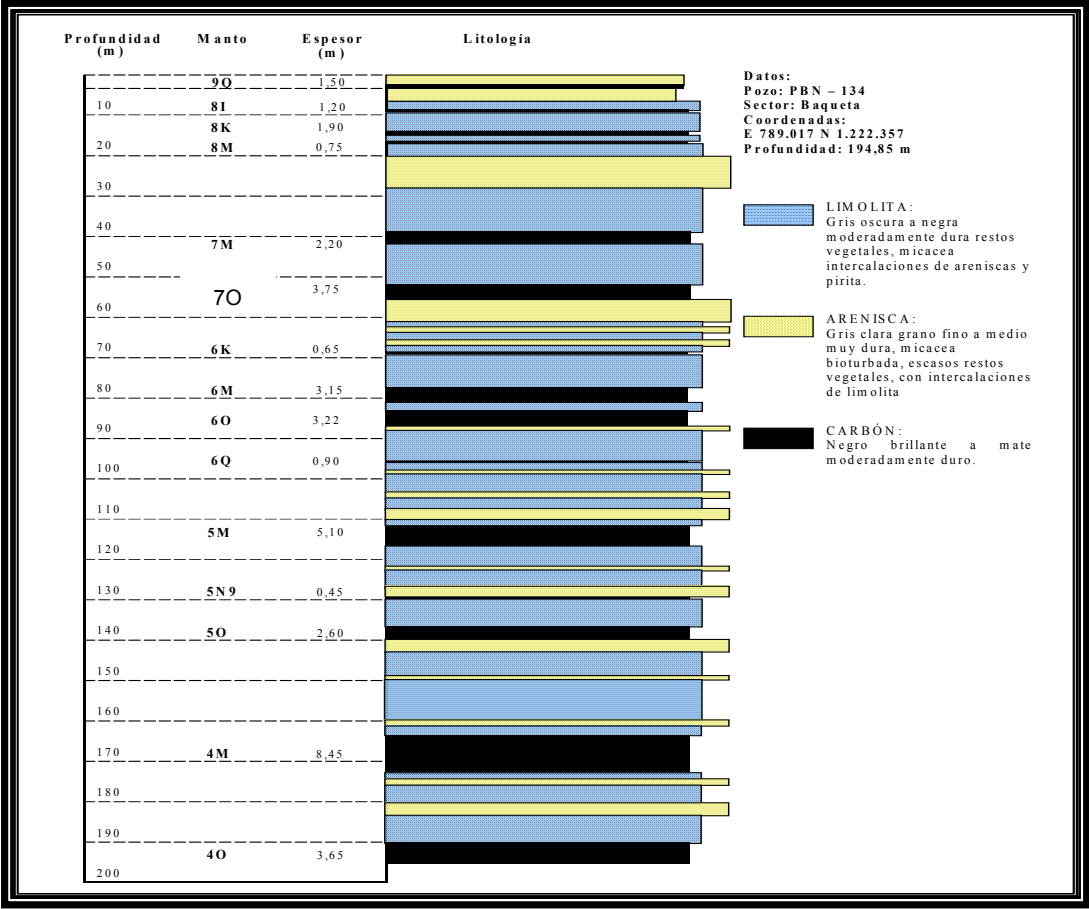


Figura 21. Columna litoestratigráfica tipo del área de la mina.
Fuente: CDG.

5.2 CARACTERÍSTICAS DE UNIDADES

HIDROESTRATIGRÁFICAS

Resulta evidente la existencia de agua subterránea en la Formación Marcelina, cuando se realizan perforaciones para caracterización geológica. Dentro del área del Pit Baqueta se producen niveles saltantes de agua, como se muestra en la foto de la Figura 22.



Figura 22. Pozo saltante en el Pit Baqueta.
Fuente: CDG.

La Formación Marcelina suprayace a la Formación Guasare, cuyo tope se encuentra a 582 m desde la superficie, tal como lo demuestran las perforaciones para caracterización geológica. Asumiendo, que el comportamiento de la caliza de la Formación Guasare como material acuífero no tiene mayor significado en cuanto a su influencia en los aportes de flujo lateral a la excavación minera, por razones explicadas en la Sección 5.1., se

tiene que para efectos de este estudio y aun cuando no fueron tomados datos de la Formación Guasare, se ha asumido que el agua subterránea por encima de 582 m es transmitida lateralmente en la base de la Formación Marcelina, en cuyos 200 m más profundos se encuentran los carbones económicamente más importantes.

Con relación al efecto que ejerce la posición paralela de los ejes, el del sinclinal de Manuelote y el del anticlinal identificado a 16 km al oeste del anterior, puede decirse que los esfuerzos debieron ser de consideración, dada la proximidad entre ambos ejes y el tipo de plegamiento resultante.

Estos rasgos estructurales inducen a considerar que el control estructural en el flujo lateral del agua subterránea, en la Formación Marcelina, podría estar determinando la cantidad y distribución del agua, entre los estratos rocosos.

Se debe tener en cuenta que aun cuando no se han realizado pruebas de permeabilidad o transmisibilidad de agua en la Formación Marcelina, entre contactos de capas de carbón y de las rocas restantes, es probable que exista un flujo que circula por los planos de estratificación, entre las capas de carbón y la roca. Este flujo puede en algunos casos ser de gran significación en el aporte de agua hacia la excavación minera.

5.3 SISTEMAS DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La mesa de agua o la superficie piezométrica en un área cualquiera, no permanece en una posición estacionaria, así se observa en las citadas

Figuras 15 y 16, sino que experimenta fluctuaciones de ascensos y descensos según la condición de recarga y descarga. Así, si la infiltración al depósito subterráneo excede en volumen a las salidas del mismo por condiciones de descarga natural o artificial, situación ésta que ocurre en los períodos de lluvia, entonces la superficie del nivel subterráneo asciende, y en caso contrario, se produce un descenso.

En el caso del pit Baqueta, el depósito subterráneo es aparentemente poco explotado, la descarga natural del agua se produce subterráneamente fuera del área de estudio, y otra porción es descargada por vertido a través de los cauces de los caños y quebradas. La descarga artificial está constituida por los pozos de bombeo de las haciendas, con actividades agropecuarias alrededor de la mina y la propia descarga de las bombas de achique en el sumidero de la mina. Estas descargas artificiales se consideran fijas, por lo tanto, los principales factores que controlan la fluctuación de la superficie piezométrica en la recarga son:

- El porcentaje de la precipitación que infiltra a través del subsuelo y alcanza el depósito subterráneo.
- La cantidad de agua subterránea, que proveniente de las zonas de recarga, contribuye a la alimentación del acuífero.

5.4 RELACIÓN ENTRE FALLAS GEOLÓGICAS Y FLUJO SUBTERRÁNEO.

Estructuralmente el área de la mina se encuentra atravesada por un conjunto de fallas de las cuales unas son de carácter regional, como la Falla Guasare y otras de carácter local, como el conjunto de fallas que se encuentran al este de la mina, conocidas como Corredor de Fallas Este.

A los efectos de la influencia que estas fallas pueden tener en el movimiento del depósito subterráneo, se consideran como fallas de importancia las fallas ubicadas en el Corredor de Fallas Este, las cuales representan un salto o desplazamiento vertical de aproximadamente 80m y por lo tanto el límite de excavación actual. También la falla ubicada al norte de la mina, de carácter local y de menor importancia, pero que sin duda interviene en la trayectoria del flujo subterráneo.

Si se observan los planos de curvas isopiécicas, ver Anexo 3, se encuentra que las líneas de flujo resultan casi normales a la dirección de las fallas, condición que podría obedecer a alguna de las siguientes hipótesis:

- La falla sirve como medio permeable al flujo subterráneo y a través de ella podría penetrar el agua superficial hasta capas profundas y alcanzar la zona de saturación.
- La falla es impermeable en profundidad, pero superficialmente el conjunto de rocas de la zona fallada presenta el mismo grado de agrietamiento del resto del área, lo cual no origina, en ningún momento, una condición de

taponamiento que ponga en evidencia la condición de impermeabilidad de algunas de estas fallas.

Sin embargo, para este estudio y basado en los cortes transversales o secciones, donde están esquematizados los piezómetros instalados en la pared este de la mina, como se indica en las Figuras 23 y 24, existen diferencias importantes de altura de niveles piezométricos, que de considerarse muy fracturada la zona superficial de las fallas, no sería posible que esta diferencia se mantuviera, por lo que el modelo hidrogeológico que se asume en este estudio es el presentado en la primera hipótesis.

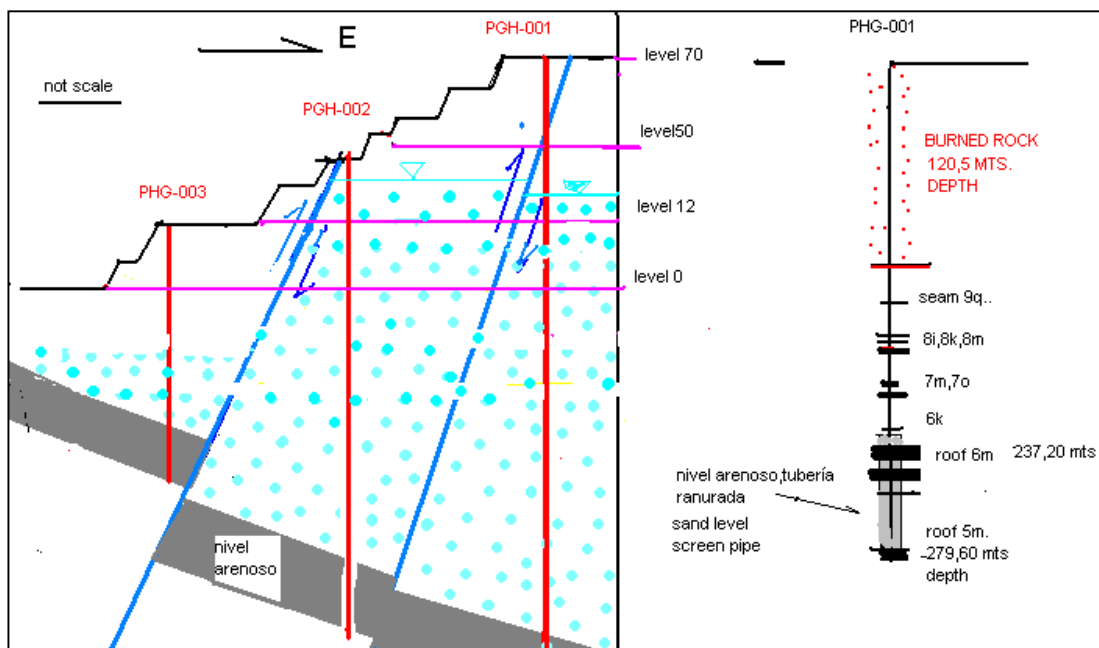


Figura 23. Esquema de los piezómetros instalados en la Pared Este del Pit Baqueta.
Fuente: Modificado de CDG.

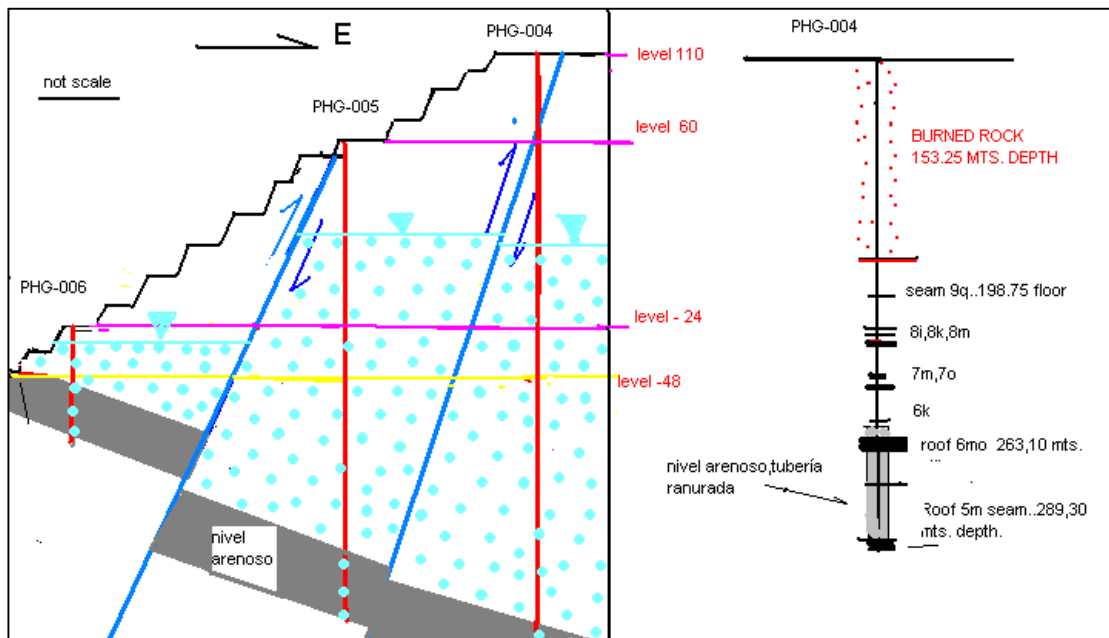


Figura 24. Esquema de los piezómetros instalados en la Pared Este del Pit Baqueta.
Fuente: Modificado de CDG.

5.5 EVALUACIÓN DEL ACUÍFERO

Las características hidráulicas del acuífero, como son su permeabilidad, transmisibilidad, coeficiente de almacenamiento y escurrimiento del mismo, se determinan mediante fórmulas basadas en condiciones de acuíferos ideales en medios porosos, granulares e isotrópicos, por lo que los parámetros hidrogeológicos representan, en este caso, y como se verá en la siguiente sección, un significado distinto al de los acuíferos formados en materiales granulares.

5.5.1 A ESCALA LOCAL

En el caso en estudio el área se encuentra, como ya ha sido descrito en la sección 1.2.3., bastante fracturada y fallada, con valores de Rock Quality Design (RQD) variando comúnmente entre 10 y 30%, y porcentajes de

recuperación (%REC) cuyos valores más comunes varían entre 40 y 55%, ver anexo 5.

Además es importante destacar que estos valores se ven disminuidos en las cercanías de la excavación minera, seguramente por la descompresión producida por el arranque del material rocoso, haciendo que la circulación de agua se efectúe a través de grietas, las cuales constituyen una ramificación compleja, anisotrópica, cuyo espaciamiento no puede ser precisado. De forma tal que la roca carece de una porosidad verdadera, este fenómeno se ve potenciado a medida que se está más cerca del área excavada.

Como fue mencionado en la sección 4.2.1., se realizaron pruebas de permeabilidad de carga variable y flujo de descenso en los piezómetros instalados en la pared Este de la excavación del Pit Baqueta.

De los ensayos realizados en los piezómetros, cuya área ranurada se encuentra entre los techos de los mantos de carbón denominados 5m y 6m, respectivamente, como se indica en las citadas Figuras 21 y 22, se determinó la permeabilidad del material comprendido entre estos dos mantos, estimando que el acuífero tiene un valor promedio de permeabilidad $k=2 \cdot 10^{-4} \text{ cm / s}$, tal como se mostró en la sección 4.2.1., valor considerado por el CANMET (1977), como el perteneciente a rocas de moderada permeabilidad.

Por otra parte, el valor promedio de permeabilidad de la roca superficial, formada por materiales clásticos no consolidados, se ha asumido como

$k=6 \cdot 10^{-3}$ cm / s, valor que se relaciona al tipo de suelo encontrado en las perforaciones para modelamiento geológico del yacimiento.

5.5.2 A ESCALA REGIONAL

Tomando en consideración la longitud de 50 km en sentido norte – sur, de la Cuenca Carbonífera del Guasare, y el desplazamiento en sentido oeste – este del flujo subterráneo, ver Figura 25, como fue mencionado en la sección 1.1.1.

Asumiendo que al menos 30 km podrían ser excavados en las próximas décadas, en condiciones semejantes a la del Pit Baqueta, se ha asumido, también, que los valores de permeabilidad obtenidos de los ensayos presentan rangos similares a lo largo de toda la cuenca. Por otra parte, como fue mencionado en la sección 1.2.2., la permeabilidad del área tiene un origen secundario (debido al fracturamiento excesivo del macizo rocoso), de carácter local, y además, se asume que el valor del espesor del acuífero es $m = 250$ m, en relación con la profundidad actual y futura de la excavación minera, de los cuales, se tiene que la litología constituida por suelos estará conformada por los primeros 30 m del subsuelo y los restantes 220 m estarán conformados por litología semejante a la excavada en el Pit Baqueta, con intercalaciones de arenisca, lutitas, limonitas y carbón.

Estas características y condiciones dominantes permiten que según la ecuación de flujo, presentada en la sección 3.4.1., pueda ser calculado el caudal hacia la excavación minera:

$$Q = 232.243,2 \text{ m}^3 / \text{día}$$

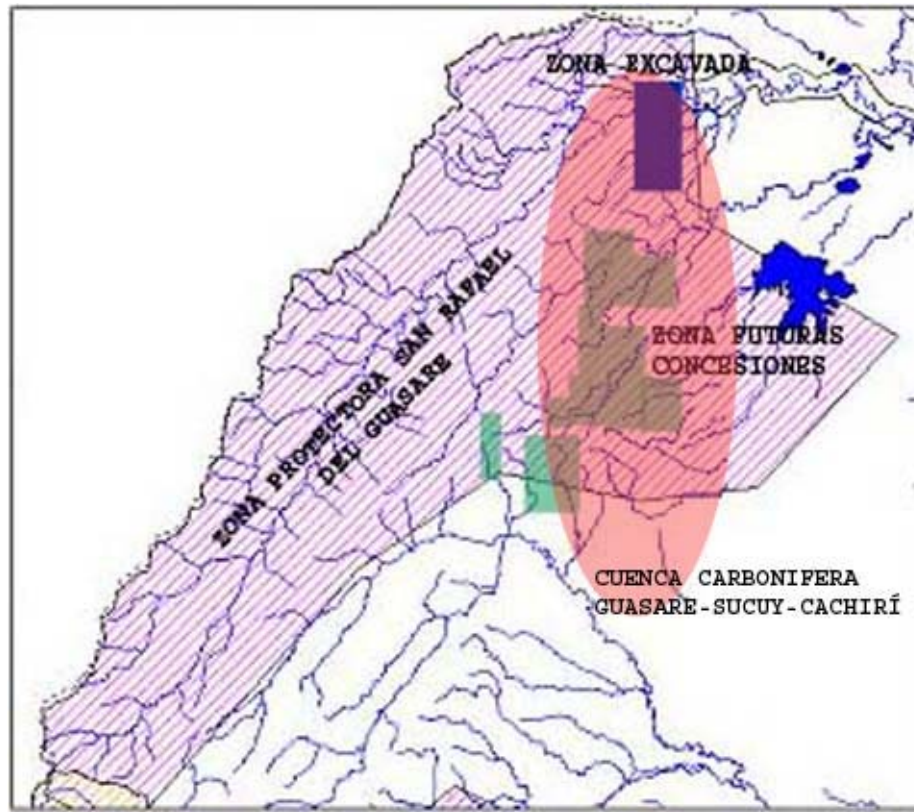


Figura 25. Mapa de superposición de cuencas carbonífera e hídrica
Fuente: Elaboración propia.

Este valor representa el caudal de agua que podría ser extraído de la Cuenca Hídrica San Rafael del Guasare, como consecuencia del bombeo de las actuales y futuras excavaciones mineras. Por lo tanto, siendo este el caudal que limitaría la posibilidad de recarga natural del acuífero, en caso de que se lleven a cabo las explotaciones sobre la Cuenca Carbonífera San Rafael del Guasare, tal como está previsto en los planes nacionales manejados CORPOZULIA y el MEM, sin planificar e implementar algún sistema de compensación para la recarga del acuífero.

5.6 FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA A LA EXCAVACIÓN

MINERA

La excavación actual ha alcanzado niveles de profundidad cercanos a los 200 m, encontrándose sólo roca saturada. Por otra parte, la planificación minera a largo plazo, incluye una mayor profundización de la excavación, por lo que hay una concentración y almacenamiento de flujo subterráneo proveniente de:

- Paredes laterales de la excavación, incluida la pared alta del lado Este.
- Piso de la excavación, incluido el piso soterrado por la escombrera interna.

El gradiente hidráulico general del depósito subterráneo es el mismo que influye en el movimiento de las aguas hacia la excavación, según estudios realizados anteriormente por CORPOZULIA (1981), el gradiente hidráulico presentaba un valor promedio de 2%.

El bombeo de la mina es un proceso que lleva un tiempo considerable en operación, el cual genera un descenso en los niveles piezométricos y esto aumenta los valores del gradiente hidráulico. Tal como se muestra en las diferencias existentes, entre las representaciones de las curvas isopiécicas, en el plano de topografía original, ver Anexo 3, y las curvas isopiécicas, representadas en el plano de topografía modificada, estas ultimas

representan una superficie piezométrica aproximada debido a la poca cantidad de pozos existentes para la interpolación, ver Anexo 4, se podrían tomar valores cercanos a 4% para el gradiente hidráulico, e incluso podría llegar a ser mayor. No obstante, debido a la falta de un mayor número de perforaciones y/o piezómetros, se ha preferido aceptar este valor de 2% como el real.

5.7 MANEJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como se mencionó anteriormente, la roca en el área de la mina posee una permeabilidad primaria y una permeabilidad secundaria, producto ésta última de un agrietamiento que origina la interconexión de fracturas y fisuras que facilitan, a través de ellas, la circulación del flujo subterráneo. Esta condición seguramente representa aportes importantes en el agua que entra a la excavación, proveniente del flujo lateral en el subsuelo. Pero la misma condición dificulta establecer una ubicación más precisa en el agrietamiento de la masa rocosa alrededor de la excavación minera, razón por la cual resulta arriesgado ubicar zonas tentativas para realizar el achique que permita lograr una depresión o descenso adecuado del nivel de agua subterránea en un área suficientemente amplia para lograr una excavación en seco, o por lo menos en condiciones más secas que las actuales.

No obstante, aun cuando un sistema de bombeo no se tiene previsto recomendar a partir de este estudio, por las razones anteriores, es posible recomendar un sistema de perforaciones de drenes verticales e inclinados

rellenos de arena, en los sitios donde el talud de la Pared Este del Pit Baqueta lo permita, en las zonas de la mina mas bajas topográficamente, los cuales al tiempo que permiten la libre salida del agua subterránea con mayor facilidad a medida que se profundiza en la excavación, alivian al mismo tiempo la presión de flujo hacia las paredes de la excavación, principalmente el talud generado en la pared alta que actualmente preocupa al personal de la Mina. Es beneficioso que los drenes posean un diámetro de entre 8 y 10 pulgadas aproximadamente, tal como se perfora en los procesos de producción en la actualidad.

Los drenes deben ser llenados con arena para evitar derrumbes que puedan sellarlos. La arena debe ser de grano grueso y tamaño uniforme (arena mal gradada). La separación entre drenes debe ser igual al espesor del horizonte saturado, es decir, la profundidad desde el nivel estático hasta donde se piensa llevar la excavación. Esta separación entre los drenes debe tener un carácter experimental para luego decidir la distancia optima, según los resultados obtenidos. La profundidad de los drenes debe tener unos 10 m aproximadamente por debajo de la profundidad limite de la excavación.

CAPITULO VI

DISEÑO PARA EL MANEJO INTEGRAL DE AGUAS DE MINA

En los dos capítulos anteriores se han presentado los aportes de agua de escurrimiento y de agua subterránea. En esta sección se presentan recomendaciones para el manejo integrado de las aguas independientemente cual sea su origen.

Las obras destinadas para el manejo integral de aguas de mina deben ser dimensionados de acuerdo al caudal de diseño, como se ha establecido en la sección 4.1.2. Una precipitación de 80 mm / hr tendrá un tiempo de retorno de 4 años para la estación metereológica El Carbón y de 7 años para la estación metereológica Carichuano, por lo que se ha considerado este valor de 80 mm / hr como la cantidad de agua caída (intensidad) para el dimensionamiento de las diferentes estructuras de manejo de aguas de mina.

Como ya fue mencionado y por las razones comentadas en la sección 5.1., el porcentaje de infiltración, para el área en estudio, es considerado de 30 %, del rango entre 20 y 35%.

Es importante destacar que el procedimiento para el dimensionamiento de estructuras de control de aguas es un método iterativo, por lo que en este capítulo, sólo se muestra la iteración final, donde se han obtenido los resultados deseados a fin de no presentar todas las iteraciones realizadas, cálculos estos que sólo confundirían al lector. En el Anexo 6 se muestran todos los aspectos fundamentales para la comprensión de los resultados mostrados en las siguientes secciones, además se muestra una sección transversal entre los puntos A – A' – A'', la cual es presentada como Anexo 7.

6.1 ESTRUCTURAS DE MANEJO DE AGUAS EN EL INTERIOR DEL PIT BAQUETA

Las obras para el control de aguas en el interior del pit Baqueta, están conformadas principalmente por canales o zanjales a lo largo de las rampas o vías de acarreo. Sin embargo, como las áreas consideradas como de aporte de aguas de escorrentía son muy amplias (aproximadamente 0,1 Km²), es necesario la construcción de canales sub horizontales que intercepten las aguas de escorrentía y que disminuyan las áreas de aporte de aguas de escorrentía.

Se propone la construcción de estos canales sub horizontales en la pared Este, debido a que como fue mencionado en la sección 2.9, ésta representa el límite de excavación final por lo que la vida útil de estos canales sería de al menos 10 años, los canales en la pared Sur tienen un tiempo de vida medio (aprox. 3 a 5 años), mientras no se decida la explotación del cerro de transición, y los canales en la pared Norte del pit, tendrán un tiempo de vida corto (aprox. 1 año), ya que la mina se encuentra en expansión hacia ese sentido.

6.1.1 CANAL EN RAMPA O VÍA DE ACARREO, UBICADA EN LA PARED ESTE

El área mostrada en el Anexo 6, denominada AC1, tiene una superficie de 110.997 m² y es el área considerada como de aporte de aguas de escurrimiento al canal que se propone sobre la vía de acarreo en la pared Este y que es mostrado, en el anexo, como Canal Rampa Este.

Como ya fue mencionado, la intensidad de lluvia considerada para el diseño es de 80 mm / hr, lo cual equivale a $2,22 * 10^{-5}$ m / s, que posteriormente, tras aplicar el porcentaje de infiltración, se convierte en $1,55 * 10^{-5}$ m / s. Por lo tanto al multiplicar el área de aporte de escorrentías (A), y el espesor de la lámina de agua de precipitación corregida por la infiltración de la zona (EI), obtenemos el caudal ($Q_{\text{diseño}}$), que deberá manejar el canal propuesto, como se indica en la Sección 3.7.1.

$$Q_{\text{diseño}} = A * EI$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{diseño}} = 110.997 \text{ m}^2 * 1,55 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1,726 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Una vez que se ha obtenido el caudal de diseño, se procede al dimensionamiento del canal, basados en las fórmulas expresadas en la sección 3.7.1., de manera que:

$$S_{\text{min}} = Q / V_{\text{máx}}$$

Tomando en cuenta que las rampas o vías de acarreo tienen una pendiente de 8%, lo cual excede, en más del doble, la pendiente recomendada para canales de este tipo, es necesario seleccionar una velocidad máxima de 2 m / s, velocidad ésta lo suficientemente lenta para no causar erosión en el interior del canal, estando cubierto el fondo por piedras de entre 75 y 100 mm, tal como se muestra en la Tabla 2 de la Sección 3.7.1.

Por lo tanto:

$$S_{\min} = \frac{1,726 \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m} / \text{s}}$$

$$S_{\min} = 0,86 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida que debe tener el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones, que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning, descrita en la Sección 3.7.1. La sección transversal considerada de tipo trapezoidal para el canal, se muestra en la Figura 26.

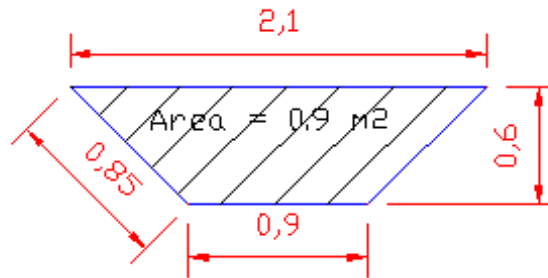


Figura 26. Sección transversal del canal en la vía de acarreo Este.
Fuente: Elaboración propia.

La fórmula de Manning contempla un parámetro denominado Radio Hidráulico (R), el cual es la relación entre el área de la sección mojada y el perímetro que estará en contacto con el canal cuando éste transporte el caudal máximo, ver Sección 3.7.1. Para la sección considerada en la Figura 26, este parámetro es $R = 0,346 \text{ m}$.

En casos donde se trabaja con pendientes altas, tal como el presente caso (pendiente = 8 %), es deseable que este parámetro R sea lo menor posible; pero considerando que esto ampliaría la longitud horizontal del canal y tomando en cuenta que este canal debe ser construido en vías de acarreo

ya existentes, disminuyendo, por ende y considerablemente el ancho de la vía de acarreo, por tal razón se seleccionó un canal con sección transversal de tipo trapezoidal, igual a la mostrada en la citada Figura 26.

Según la fórmula de Manning y tomando el valor de n de la Tabla 3 de la Sección 3.7.1. correspondiente a canales realizados en tierra con piedras gruesas en el lecho, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,0596} * 0,346^{2/3} * 0,08^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 2,34 \text{ m / s}$$

Esta velocidad obtenida excede en 0,3 m / s, la velocidad máxima requerida para que no exista erosión en el lecho del canal, pero debido a que la pendiente de las rampas de acarreo son más altas que las recomendadas, según Rodríguez y Ayala (1990) citados por Castillo y Piña (2002), no es posible obtener una velocidad menor. Por esta razón es necesario colocar elementos disipadores de energía, en el interior del canal, que ayuden a controlar la velocidad excesiva que tiene el flujo del agua, además de revisar periódicamente (especialmente durante épocas de alta precipitación) las condiciones de erosión y el estado general del canal.

De manera que el canal en la rampa o vía de acarreo queda definido de la siguiente manera: Longitud de 2.545 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 26 y está ubicado en el borde Este (borde de

ascenso de los vehículos), a lo largo de la vía de acarreo, partiendo en el nivel 90 msnm y culminando en el nivel –70 msnm.

Entre algunos de los elementos disipadores de energía que pueden ser colocados en el lecho del canal, tenemos:

- Estructuras metálicas emplazadas en el interior del canal, soterradas para evitar su desplazamiento por el empuje ejercido por el agua que circule en el canal.
- Secciones de goma de caucho, proveniente de los cauchos gastados de los camiones roqueros y otros equipos de uso común en la mina, colocados con una capa de lechada pobre en concreto.

6.1.2 CANAL EN RAMPA O VÍA DE ACARREO, UBICADA EN LA PARED SUR

En la pared Sur es necesaria la construcción de canales a ambos lados de la rampa o vía de acarreo. El primero de ellos será el que debe ir en el mismo lado, por donde se desplazan los vehículos cuando suben de la mina a las vías de acarreo superiores. Este canal recibe las aguas desde dos áreas consideradas como de aporte de aguas de escorrentía, ver áreas AC2 y AC3 en el Anexo 6, cuyas superficies son de 57.995 m² y 18.212 m², respectivamente. Este canal es mostrado, en el referido Anexo, como Canal Rampa Sur Ascenso.

Procediendo de la misma manera que en el caso anterior (sección 6.1.1), tenemos que:

$$Q_{\text{diseño}} = A * EI$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{diseño}} = (57.995 \text{ m}^2 + 18.212 \text{ m}^2) * 1,55 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1,181 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Una vez que se ha obtenido el caudal de diseño, se procede al dimensionamiento del canal, de manera que:

$$S_{\text{mín}} = Q / V_{\text{máx}}$$

Por lo tanto:

$$S_{\text{mín}} = \frac{1,181 \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m / s}}$$

$$S_{\text{mín}} = 0,59 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida que debe tener el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones, que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning, descrita en la Sección 3.7.1. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 27.

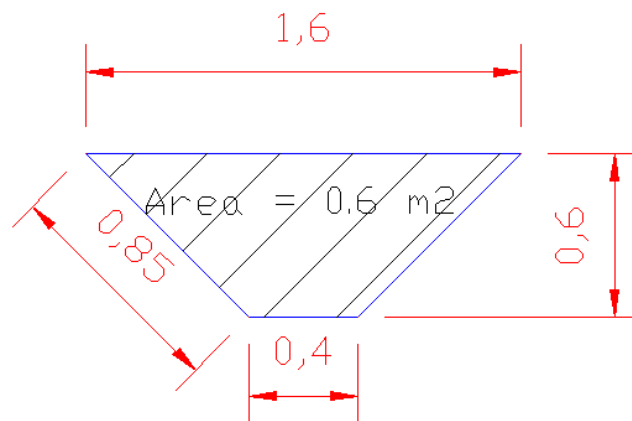


Figura 27. Sección transversal del canal en la vía de acarreo Sur. Todas las medidas en metros
Fuente: Elaboración propia.

El parámetro denominado Radio Hidráulico (R), para la sección considerada en la Figura 27, es $R = 0,286 \text{ m}$.

Según la fórmula de Manning y tomando el valor de n de la Tabla 3., correspondiente a canales realizados en tierra, con piedras gruesas en el lecho del canal, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,0596} * 0,286^{2/3} * 0.08^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 2,06 \text{ m / s}$$

Esta velocidad no excede la velocidad máxima requerida para que no exista erosión en el lecho del canal, pero de igual manera se recomienda revisar periódicamente (especialmente durante épocas de alta precipitación) las condiciones de erosión y el estado general del canal.

De manera que el canal, en la rampa o vía de acarreo Sur, en el sentido de ascenso de los vehículos, queda definido de la siguiente manera: Longitud de 2.457 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 27 y está ubicado en la rampa o vía de acarreo Sur, en el borde que coincide con el ascenso de los vehículos y/o camiones, partiendo en el nivel 90 msnm y culminando en el nivel -85 msnm.

Como fue mencionado al comienzo de esta sección, en la pared Sur es necesaria la construcción de canales a ambos lados de la vía de acarreo.

Anteriormente se dimensionó el primero de ellos, a continuación se presentan los cálculos para el dimensionamiento del segundo canal, ubicado en la rampa o vía de acarreo Sur, pero esta vez, en el lado de la rampa por donde descienden los vehículos o camiones al fondo de la mina. Este canal recibe las aguas de escurrimiento del área denominada AC4, ver Anexo 6, cuya superficie es de 32.642 m². Este canal se muestra, en el referido Anexo, como Canal Rampa Sur Descenso.

Procediendo de la misma manera para el cálculo del caudal de diseño, tenemos que:

$$Q_{\text{diseño}} = A * EI$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{diseño}} = (32,642\text{m}^2) * 1,55 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 0,537 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Una vez que se ha obtenido el caudal de diseño, se procede al dimensionamiento del canal, de manera que:

$$S_{\text{mín}} = Q / V_{\text{máx}}$$

Por lo tanto:

$$S_{\text{mín}} = \frac{0,537 \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m / s}}$$

$$S_{\text{mín}} = 0,269 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida que debe tener el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones, que

cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 28.

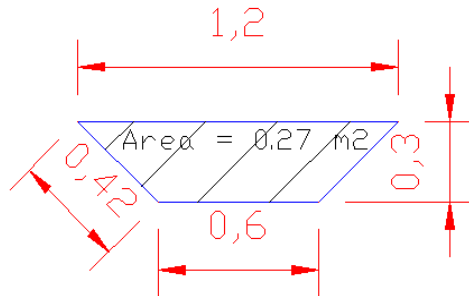


Figura 28. Sección transversal del canal en la vía de acarreo sur. Todas las medidas en metros.
Fuente: Elaboración propia.

El parámetro denominado Radio Hidráulico (R), para la sección considerada en la Figura 28, es $R = 0,188 \text{ m}$.

Según la fórmula de Manning y tomando el valor de n de la Tabla 3., correspondiente a canales realizados en tierra, con piedras gruesas en el lecho del canal, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,0596} * 0,188^{2/3} * 0,08^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 1,58 \text{ m / s}$$

Esta velocidad no excede la velocidad máxima requerida para que no exista erosión en el lecho del canal, pero, de igual manera, se recomienda revisar periódicamente (especialmente durante épocas de alta precipitación) las condiciones de erosión y el estado general del canal.

De manera que el canal, en la rampa o vía de acarreo Sur, en el sentido de descenso de los vehículos, queda definido de la siguiente manera: Longitud de 2.352 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 28 y está ubicado en la rampa o vía de acarreo Sur, en el borde que coincide con el descenso de los vehículos y/o camiones, partiendo en el nivel 90 msnm y culminando en el nivel –85 msnm.

6.1.3 CANAL INTERNO UBICADO EN EL NIVEL +48 MSNM.

El principal objetivo de este canal es conducir parte de las aguas que escurren por el talud de la Pared Este, como ya fue explicado al comienzo del presente capítulo. Su construcción es propuesta por la necesidad de disminuir la cantidad de agua que podría ingresar a los canales ubicados en las rampas o vías de acarreo.

El área de aporte de aguas de escorrentía se muestra en el Anexo 6, como A11, y tiene una dimensión de 90.834 m², y el canal es mostrado, en el referido Anexo, como Canal Interno +48.

Procediendo de manera similar a los casos anteriores para el cálculo del caudal de diseño que deberá conducir el canal, tenemos que:

$$Q_{\text{diseño}} = A * E I$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{diseño}} = 90.834 \text{ m}^2 * 1,55 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1,408 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Por otra parte, se tiene lo siguiente:

$$S_{\min} = Q / V_{\max}$$

Tomando en cuenta que este canal se debe construir sobre un nivel topográfico de cota similar, es necesario resaltar la importancia de cumplir un estricto control topográfico en la construcción de dicho canal, de manera que resulte con una inclinación de 1%. Tomando en consideración la Tabla 2, se escoge una velocidad máxima de 1,5 m / s, correspondiente a la velocidad máxima que debe existir en un canal construido en grava media, con material que varía entre 20 y 50 mm.

Por lo tanto:

$$S_{\min} = \frac{1,408 \text{ m}^3 / \text{s}}{1,5 \text{ m} / \text{s}}$$

$$S_{\min} = 0,9 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida que debe tener el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones, que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 29.

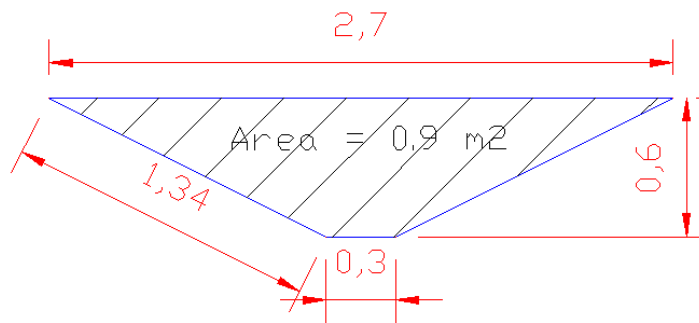


Figura 29. Sección transversal del canal interno en el nivel +48 msnm. Todas las medidas en metros.
Fuente: Elaboración propia.

Para la sección considerada en la Figura 29, el parámetro R es de 0.302 m. El tipo de sección consideradas continúa siendo trapezoidal, aunque con una variación mayor entre los lados horizontales inferior y superior.

Es importante destacar, que a pesar de que la sección transversal para el canal tiene la misma dimensión que el canal propuesto en la sección 6.1.1., éste tiene una forma sustancialmente diferente, al canal propuesto en la citada sección. Esto se debe principalmente, a que como fue mencionado en la referida sección, el canal en la rampa debe ser construido en un espacio limitado, afectando el ancho de vía de acarreo, lo cual no es el caso para el canal propuesto en la presente sección. De manera tal que este canal puede ser construido en sus dimensiones ideales, en donde los taludes del canal deben ser 2H:1V, tal como se muestra en la sección transversal en la Figura 29.

Según la fórmula de Manning y tomando el valor de n de la Tabla 3. correspondiente a canales realizados en tierra, con granulometría de grava media en el lecho del canal, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,03} * 0,302^{2/3} * 0,01^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 1,5 \text{ m / s}$$

Esta velocidad es la requerida para que no exista erosión en el interior del canal. La forma ideal de la sección transversal del canal propuesto permite no tener un control de mantenimiento tan estricto como el que se debe tener en los canales realizados en las rampas o vías de acarreo.

De manera que el canal interno en el nivel +48 msnm queda definido de la siguiente manera: Longitud de 933 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 29 y está ubicado en el nivel +48 msnm, en el área mas próxima al talud proveniente de niveles superiores.

Por otra parte como el área AI2, mostrada en el Anexo 6, posee una superficie menor al área AI1, ($42.477 \text{ m}^2 < 90.834 \text{ m}^2$), y como dichas áreas se encuentran separadas por un sistema de torrenteras, que será descrito más adelante, es recomendable que el canal construido en el nivel +48 msnm, posea las mismas características a lo largo de todo el canal, con el objetivo de facilitar el proceso de construcción.

6.1.4 CANAL INTERNO UBICADO EN EL NIVEL -24 MSNM.

El principal objetivo de este canal es el de conducir parte de las aguas que escurren por el talud de la Pared Este, su construcción es propuesta por la necesidad de disminuir la cantidad de agua que podría ingresar a los canales ubicados en las rampas o vías de acarreo.

El área de aporte de aguas de escorrentía se muestra en el Anexo 6, como AI3, y tiene una dimensión de 167.212 m^2 , y el canal es mostrado, en el referido Anexo, como Canal Interno -24.

Procediendo de manera similar a los casos anteriores para el cálculo del caudal de diseño que deberá conducir el canal, tenemos que:

$$Q_{\text{diseño}} = A * EI$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{diseño}} = 154.855 \text{ m}^2 * 1,55 * 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 2,4 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Por otra parte, se tiene lo siguiente:

$$S_{\text{mín}} = Q / V_{\text{máx}}$$

Tomando en cuenta que este canal se debe construir sobre un nivel topográfico de cota similar, es necesario resaltar la importancia de cumplir un estricto control topográfico en la construcción de dicho canal, de manera que resulte con una inclinación de 1%. Tomando en consideración la Tabla 2, se escoge una velocidad máxima de 1,8 m / s, correspondiente a la velocidad máxima que debe existir en un canal construido, con el fondo cubierto por piedras, de tamaño entre 50 y 75 mm, tal como se muestra en la Tabla 2.

Por lo tanto:

$$S_{\text{mín}} = \frac{2,4 \text{ m}^3 / \text{s}}{1,8 \text{ m / s}}$$

$$S_{\text{mín}} = 1,3 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida que debe tener el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones, que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 30.

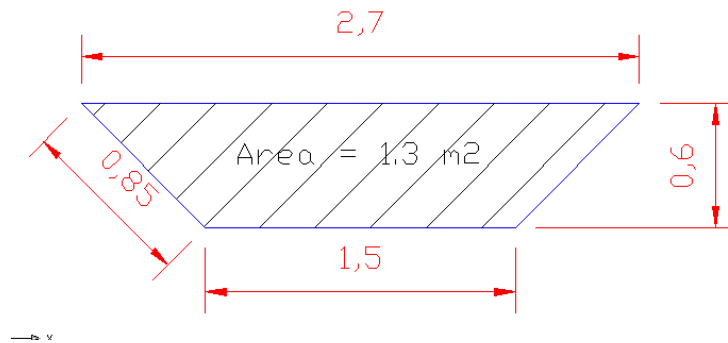


Figura 30. Sección transversal del canal interno en el nivel -24 msnm.
Todas las medidas en metros.
Fuente: Elaboración propia.

Para la sección considerada en la Figura 30, el parámetro R es de 0,4m.

Según la fórmula de Manning, y tomando el valor de n de la Tabla 3, correspondiente a canales realizados en tierra de grava gruesa, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,029} * 0,4^{2/3} * 0,01^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 1,9 \text{ m / s}$$

Esta velocidad obtenida excede en 0,1 m / s, la velocidad máxima requerida para que no exista erosión en el lecho del canal, pero debido a que el volumen que debe circular por este canal es bastante alto, no es posible obtener una velocidad menor. Por esta razón es necesario colocar elementos disipadores de energía en el interior del canal que ayuden a controlar la velocidad excesiva que tiene el flujo del agua, además de revisar

periódicamente (especialmente durante épocas de alta precipitación) las condiciones de erosión y el estado general del canal.

De manera que el canal interno en el nivel -24 msnm queda definido de la siguiente manera: Longitud de 1.583 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 30 y está ubicado en el nivel -24 msnm, en el área más próxima al talud proveniente de niveles superiores.

6.1.5 TORRENTERA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS DEL NIVEL +48 MSNM AL NIVEL -24 MSNM .

La principal función de esta torrentera es la de conducir las aguas recolectadas por el canal interno que se encuentra en el nivel +48 msnm, descrito en la sección 6.1.3., y llevarlas al nivel -24 msnm, donde como se muestra más adelante, se propone la construcción de un tanque o reservorio de bombeo para las aguas de escorrentía. El caudal de agua que debe ser conducido por esta torrentera es de $Q = 1,408 \text{ m}^3 / \text{s}$. Como esta torrentera debería ser construida en la Pared Este (límite final de excavación), es recomendable que su construcción sea en concreto, con el fin de prolongar su durabilidad. Dicha torrentera se muestra en el Anexo 6 como Torrentera +48 / -24 msnm.

Se procede al dimensionamiento de la torrentera, basado en las fórmulas expresadas en la sección 3.7.1., de manera que:

$$S_{\text{mín}} = Q / V_{\text{máx}}$$

Tomando como valor de velocidad máxima del flujo, $V_{\text{máx}} = 4,5 \text{ m / s}$.
 Valor éste obtenido de la Tabla 2, correspondiente a los canales construidos en hormigón o equivalente.

Por lo tanto:

$$S_{\text{mín}} = \frac{1,408 \text{ m}^3 / \text{s}}{4,5 \text{ m / s}}$$

$$S_{\text{mín}} = 0,32 \text{ m}^2$$

Después de obtenida la sección mínima requerida para el canal propuesto, se procede a la elaboración de diferentes opciones que cumplan con la velocidad máxima permitida a través de la fórmula de Manning, descrita en la Sección 3.7.1. La sección considerada para el canal se muestra en la Figura 31.

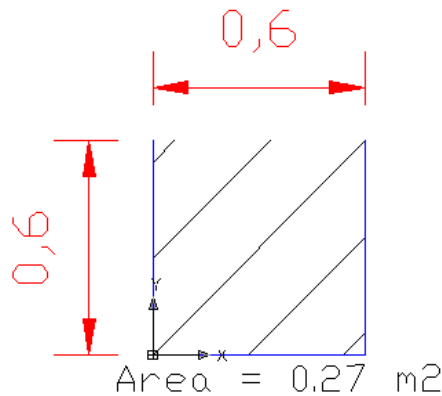


Figura 31. Sección transversal de la torrentera ubicada en la Pared Este. Todas las medidas en metros.
 Fuente: Elaboración propia.

El parámetro Radio Hidráulico contemplado en la fórmula de Manning, de la sección mostrada en la Figura 31, es $R = 0,2 \text{ m}$.

La torrentera propuesta debe ser construida con la misma pendiente de la Pared Este, cuya pendiente promedio es de 66%. Este valor es en extremo alto, no obstante es la única opción para la realización de la torrentera. Por esto será necesario la colocación de elementos disipadores de energía al final de la torrentera y al atravesar las diferentes bermas, separadas 12 m entre sí, medidos verticalmente.

Según la fórmula de Manning y tomando el valor de n de la Tabla 3, correspondiente a canales realizados en concreto rugoso, se tiene que:

$$V = 1/n * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{1}{0,02} * 0,2^{2/3} * 0,66^{1/2} \text{ m / s}$$

$$V = 13,8 \text{ m / s}$$

Esta velocidad obtenida excede en 9,3 m / s, a la velocidad máxima requerida para que no exista erosión en el lecho del canal. Por esta razón es necesario, como se mencionó anteriormente, colocar elementos disipadores de energía.

De manera que la torrentera que conduce el agua del nivel +48 msnm hasta el nivel -24 msnm queda definida de la siguiente forma: Longitud de 137 m, con una sección transversal como la mostrada en la Figura 31 y está ubicada ente los niveles +48 msnm y -24 msnm, con una pendiente promedio de 66 %. En la Tabla 20 se muestra un resumen acerca de las

obras propuestas para canalización y conducción de las aguas de escorrentía.

6.2 ESTRUCTURA DE MANEJO DE AGUAS, EN EL EXTERIOR DEL PIT BAQUETA

La estructura de manejo de aguas de mina, que se propone en el exterior del Pit Baqueta, está conformada básicamente por la construcción de un dique que conforme una cubeta de sedimentación aguas arriba y en el borde Oeste de la vía en construcción que comunica el Sur del Pit Baqueta, con el área de trituración.

La razón por la cual se requiere la cuenca de sedimentación, en la referida zona, mostrada en el Anexo 6, es que esta zona se encuentra relativamente cerca (aprox. 1 Km) del área de las trituradoras, por lo cual la acumulación de material fino transportado, proveniente del área de trituración, es considerable. Esta medida ayudaría a retener los sedimentos transportados antes de alcanzar los cursos naturales de agua, con el impacto negativo sobre los mismos y su diversidad biológica.

6.2.1 DIQUE DE SEDIMENTACIÓN AL BORDE OESTE DE LA VÍA DIRECTA AL ÁREA DE LAS TRITURADORAS (EN CONSTRUCCIÓN)

La principal función de este dique de sedimentación, es la de promover la sedimentación de las partículas sólidas ubicadas en el área AD1, ver Anexo 6, cuya extensión es de 598.630 m².

En relación con lo señalado en la Sección 3.7.3., es recomendable por el tipo de material disponible en el Pit Baqueta y la facilidad en su construcción, que el dique propuesto sea de escollera con núcleo impermeable central, cuyo centro debe ser compactado y lo mas impermeable posible, mientras que las laderas deben ser construidas con roca arrojada (escollera), con una pendiente de 2H : 1V, con un diseño semejante al mostrado en la Figura 32.

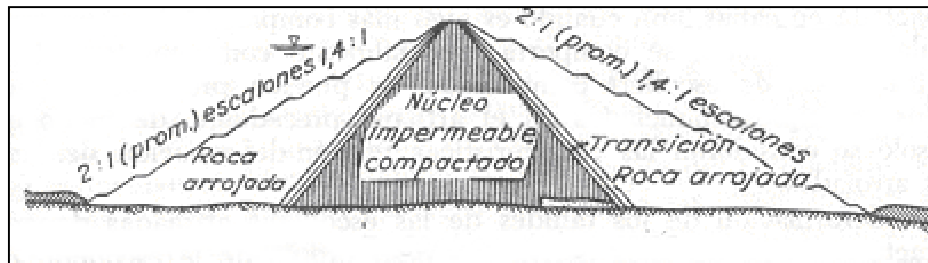


Figura 32. Construcción típica de un dique de escollera.
Fuente: Terzaghi (1972).

Por otra parte, para el dimensionamiento y ubicación del dique se aplica la fórmula explicada en la Sección 3.7.3., para calcular la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas, se asume la densidad de las partículas que se requieren sedimentar como $2 \text{ gr} / \text{cm}^3$, a pesar de que la densidad de las areniscas, limos y lutitas están en el orden de $2,8 \text{ gr} / \text{cm}^3$. Es importante destacar que la densidad del carbón es mucho menor $0,98 \text{ gr} / \text{cm}^3$. Por tal razón, se ha tomado el valor de $2 \text{ gr} / \text{cm}^3$ y el diámetro de dichas partículas se asume en $0,002 \text{ cm}$, valor éste obtenido de la Tabla 5, correspondiente a granulometrías entre arena fina y limo.

De manera que se tiene lo siguiente:

$$V_{sed} = (g / (18 * \mu)) * s^{-1} * D^2$$

Por lo tanto:

$$V_{sed} = (981 \text{ cm} / \text{s}^2 / (18 * 0.00804)) * (2-1) * (0.002 \text{ cm})^2$$

$$V_{sed} = \frac{981 \text{ cm} / \text{s}^2}{18 * 0.00804 \text{ cm}^2 / \text{s}} * (2-1) * (0.002 \text{ cm})^2$$

$$V_{sed} = 0,0271 \text{ cm} / \text{s}, \text{ que equivale a } 0,000271 \text{ m} / \text{s}$$

Como fue mostrado en la Sección 6.1.1., la lámina de agua de precipitación, corregida por la infiltración de la zona considerada es de $1,55 * 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$. Por lo tanto al multiplicar el área de aporte de escorrentías (A), y el espesor de la lámina de agua de precipitación corregida por la infiltración de la zona (EI), obtenemos el caudal afluente (Q), que llegará a la cuenca propuesta.

$$Q = A * EI$$

Por lo tanto:

$$Q = 598.629 \text{ m}^2 * 1,55 * 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

$$Q = 9,279 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Una vez obtenido el caudal afluente de la cuenca de sedimentación (Q) y basado en la fórmula expresada en la sección 6.7.3. para el cálculo del área de la cuenca de sedimentación (A_{sed}), tenemos que:

$$A_{sed} = Q / V_{sed}$$

Por lo tanto, el área mínima para que se produzca una sedimentación efectiva de las partículas sólidas en la zona será:

$$A_{\text{sed}} = \frac{9,279 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000271 \text{ m} / \text{s}}$$

$$A_{\text{sed}} = 34.221,6 \text{ m}^2$$

Se recomienda que la vía directa al área de las trituradoras, sea construida con una cota de 85 msnm, con el fin de encerrar un área, como la mostrada en el referido Anexo 6, cuya superficie es de 49.217 m², la cual genera un volumen para la cuenca de sedimentación de aproximadamente 337.000 m³ de capacidad de almacenamiento.

Como se explicó en la sección 6.2.1., el caudal afluente es de 9,28 m³ / s y tomando en cuenta el volumen de la cuenca (337.000 m³), se determina el tiempo de residencia, t_r de las partículas sólidas, según la fórmula mostrada en la sección 3.7.3., por lo tanto se tiene que:

$$t_r = \text{vol} / Q$$

donde:

$$t_r = \frac{337.000 \text{ m}^3}{9,279 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

$$t_r = 36.318,56 \text{ s que equivalen a 10 hr}$$

Tendrán entonces las partículas un tiempo de residencia mínimo equivalente a 10 hr en la cubeta de sedimentación para garantizar la sedimentación de las partículas sólidas en dirección a los cauces naturales. Este material sedimentado deberá ser dragado de acuerdo con una programación que se adecue a los períodos de lluvia-sequía en el área de la mina.

Tabla 20. Resumen de estructuras para el control de aguas de escorrentía							
Área a ser drenada	Ubicación en el Pit Baqueta	Longitud del canal (m)	Superficie a drenar (m2)	Elevación (msnm)	Caudal de diseño (m3 / s)	Sección (m2)	Material de revestimiento
AC1	Rampa Este	2.545,00	110.997,00	90 hasta -70	1,73	0,90	Fondo con piedras de entre 75 y 100 mm, además de elementos disipadores
	Ascenso						
AC2 y AC3	Rampa Sur	2.457,00	76.207,00	90 hasta -85	1,18	0,60	Piedras gruesas
	Ascenso						
AC4	Rampa Sur	2.352,00	32.642,00	90 hasta -85	0,54	0,27	Piedras gruesas
	Descenso						
AI1	Pared Este	933,00	90.834,00	48,00	1,41	0,90	Grava media
AI2		Continuación del anterior					
	Pared Sur		42.477,00	48,00	1,41	0,90	Grava media
AI3							Fondo con piedras de entre 50 y 75 mm
	Pared Este y Sur	1.583,00	167.212,00	-24,00	2,40	1,30	Fondo con piedras de entre 50 y 75 mm
AD1	Oeste de la vía en construcción	Dique de sedimentación	598.630,00	85,00	9,28	No aplica	Núcleo impermeable Laderas en escollera

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Para el Diseño de Manejo de Aguas de Mina, en el Pit Baqueta de la Mina Paso Diablo, operada por Carbones del Guasare, S.A., fueron realizadas actividades de investigación que consistieron en levantamiento de datos de campo y recopilación de información en oficina, durante los períodos: marzo a abril y octubre de 2003.

Las actividades de recopilación y generación de datos, con mediciones en sitio, permitieron calcular caudales de agua de escurrimiento por registros de precipitación y estimar caudales por flujo lateral, en el subsuelo, al interior del Pit Baqueta, basados en ensayos de permeabilidad en piezómetros y elaboración de curvas Isopiécicas en distintos períodos de evolución de la Mina Paso Diablo.

Con relación al agua de escurrimiento en superficie, se observó que el área geográfica donde se explota carbón en la Mina Paso Diablo, es considerada relativamente seca. Las curvas IDF calculadas para tiempos, $t = \frac{1}{2}$, 1 y 3 horas, resultan semejantes a las de otras zonas del país, debido básicamente al comportamiento bimodal de las precipitaciones, con períodos de lluvia claramente definidos y de gran intensidad, hasta 125 mm / hr.

La relación entre precipitación y litoestratigrafía, en cuanto a alimentación de mantos u horizontes subterráneos permeables, concerniente a la recarga de agua en el subsuelo, ocurre por las precipitaciones que caen sobre las zonas de recarga y los afloramientos de las estructuras geológicas

de la zona. El aporte que pueda provenir de la Formación Guasare se considera nulo, debido a la profundidad que esta formación presenta en el área de la mina (582 m) y a la existencia de mantos impermeables en la Formación Marcelina, la cual suprayace a la Formación Guasare e impide el flujo vertical de las aguas subterráneas.

El área de la mina se encuentra atravesada por un conjunto importante de fallas y fracturas, como el conjunto de fallas al Este de la mina, de carácter local, y la zona fracturada al Norte de la mina, asociada a la falla Guasare de carácter regional. Este conjunto origina un control secundario en el flujo subterráneo de las aguas; de allí que los parámetros que definen la permeabilidad primaria de un acuífero, en este caso, presentan menor incidencia debido al control estructural. Por otra parte la existencia de estas estructuras geológicas hacen más complicado establecer zonas de mayor aporte de aguas subterráneas dificultando la ubicación de pozos de bombeo que promuevan el descenso del nivel piezométrico de la zona.

El conjunto de fallas conocidas como Corredor de Fallas Este sirven como un medio permeable a las aguas subterráneas y a través de ellas el agua puede alcanzar niveles profundos hasta la zona de saturación. Los valores de RQD (cuyo promedio varía entre 10 y 30%) y %REC (cuyo promedio varía entre 40 y 55%) se ven disminuidos en las cercanías de la excavación minera como producto de la descompresión ocasionada por la extracción del material rocoso producto de la explotación mineral.

Los ensayos de permeabilidad, tipo Lefranc de flujo variable de descenso, realizados en campo, permitieron determinar una permeabilidad promedio de $2 \cdot 10^{-4}$ m / s, quedando la zona evaluada, como una litología de moderada permeabilidad. El ingreso de aguas subterráneas a la excavación minera, provenientes de flujos laterales en el subsuelo, resulta evidente cuando en perforaciones, tanto de producción como de caracterización geológica, se obtienen niveles saltantes de agua y cuando el proceso de bombeo (achique de mina) debe funcionar durante períodos de 3 ó 4 hr / día en días sin precipitación.

La realización de canales para conducción de aguas de escorrentía, tanto en las Rampas de Acarreo como en la Pared Este del Pit Baqueta, ayudará con la disminución en la generación de partículas sólidas, lo que beneficiaría el proceso de bombeo. Además las aguas provenientes de las bombas de achique serían vertidas a los cauces naturales con menos cantidad de sólidos en suspensión, lo cual es necesario si se quiere dar un paso más para la inserción de la actividad minera en el concepto de desarrollo sustentable.

Las características geométricas de las obras de conducción de aguas fueron presentadas en el Capítulo VI y quedando propuestos 5 canales de la siguiente manera: i). Un canal en la rampa de acarreo al Este de la mina en el sentido de ascenso de los vehículos, con una longitud de 2.545 m y cuyo caudal de diseño es de $1,73 \text{ m}^3 / \text{s}$, ii). Un canal en la rampa de acarreo Sur en el sentido de ascenso de los vehículos, con una longitud de 2457 y un

caudal de diseño de $1,18 \text{ m}^3 / \text{s}$, iii). Una canal en la rampa de acarreo en el sentido de descenso de los vehículos, con una longitud de 2.352 m y con un caudal de diseño de $0,54 \text{ m}^3 / \text{s}$, iv). Un canal subhorizontal ubicado en la pared Este y Sur, en el banco a 48 msnm, con una longitud de 933 m y con un caudal de diseño de $0,90 \text{ m}^3 / \text{s}$, v). Y por ultimo un canal ubicado en la pared Este y Sur en el banco a -24 msnm con una longitud de 1.583 m y un caudal de diseño de $1,30 \text{ m}^3 / \text{s}$. Los canales subhorizontales quedan comunicados entre sí, por un sistema de torrentera cuya distancia vertical es de 72 m y con un caudal de diseño de $1,408 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Para el control de sedimentos en suspensión se propone la construcción de un dique, el cual generará una cubeta de sedimentación de aproximadamente 337.000 m^3 y cuyo caudal de diseño es $9,279 \text{ m}^3 / \text{s}$, dicho dique debe ser construido con el centro compactado de material que permita la impermeabilización y las laderas con material de escollera, cuyas pendientes deben ser 2H:1V.

La realización de perforaciones en la pared Este del Pit Baqueta ayudará a descender el nivel piezométrico y esto beneficiará la estabilidad estructural de dicha pared. Con el número de perforaciones existentes actualmente no ha sido posible determinar el cambio generado en la superficie piezométrica debido a la excavación minera. En consecuencia, resulta arriesgado proponer un método de recarga artificial para el acuífero en estudio, que ayude a mitigar el impacto generado por la extracción del agua subterránea en la excavación minera.

Por otra parte, si se asume que la infiltración de la zona puede variar entre 25 y 30% y tomando en cuenta la precipitación anual promedio como 1.200 mm / año, se tiene que la recarga del acuífero está en el orden de $12,3 * 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$. En consecuencia, de llevarse a cabo las futuras excavaciones mineras, propuestas por el Ejecutivo Nacional para el desarrollo económico de la región, de manera semejante a la explotación del Pit Baqueta, se podría extraer $84,7 * 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$ de agua proveniente de los flujos laterales en el subsuelo, valor éste que supera ampliamente la posibilidad de recarga natural del acuífero, posiblemente induciendo, de esta manera, a un proceso de sequía localizado que podría extenderse y generar impactos ambientales negativos de incalculables consecuencias.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la construcción de canales colectores en los pies de los taludes ubicados en los niveles +48 msnm y -24 msnm, tal como se mostró en la Sección 6.1., principalmente sobre la pared Este de la Mina y en las rampas de acceso. Los canales que estén ubicados topográficamente por encima de los tanques de almacenamiento de aguas, deben ser dirigidos a estos, con el fin de minimizar la cantidad de agua que va al fondo de Mina en donde se han generado problemas de inundaciones. Por supuesto que estos canales también recogerán las aguas provenientes de lluvias y escorrentías, por lo que su dimensionamiento debe ser estipulado con precisión.

2. Se recomienda conducir o canalizar las aguas por encima de las subestaciones de bombeo a los tanques reservorios que se encuentran en éstas, con la finalidad de aliviar el uso de las bombas ubicadas en el fondo de la mina (sumidero) y así evitar la acumulación excesiva de agua en las zonas topográficas más bajas, tal como se mostró en la Sección 6.1.

3. Se recomienda la construcción de canales en los pies de los taludes formados por las escombreras, una vez éstas alcancen su diseño definitivo; el dimensionamiento de dichos canales debe ser realizado de manera similar al mostrado en la Sección 6.1. y las aguas deben ser conducidas a un sistema que permita la sedimentación de las partículas sólidas en suspensión, antes de que sean vertidas a los cauces naturales.

4. Se recomienda la construcción de un dique de sedimentación al Oeste de la vía en construcción entre el Sur del Pit Baqueta y el área de trituración, dicho dique fue especificado en la Sección 6.2.

5. Se recomienda la creación de una malla amplia (aprox. 1000 * 1000 m) en donde las perforaciones de caracterización geológica que se encuentran fuera del área de excavación, o donde su ubicación permita su funcionamiento por un tiempo prudencial, sean entubadas preferiblemente con tubería PVC ranurada, tal como se realiza en los piezómetros instalados en la pared Este de la Mina, lo cual permitirá determinar el flujo de las aguas subterráneas así como la variación de la mesa freática en la zona. Luego de perforados dichos pozos de control de aguas subterráneas se debe realizar el mapa de curvas isopiécicas y comparar sus cambios a medida que la excavación minera avanza.

6. Una vez se determine el comportamiento del nivel isopiécico en el área de la mina, se recomienda la construcción de un sistema de recarga artificial del acuífero, fuera del radio de influencia del abatimiento del nivel freático, con el objeto de mitigar el impacto ambiental negativo que genera la extracción del agua en el subsuelo.

7. Se recomienda la perforación de drenes verticales e inclinados, rellenos de arena, en los sitios donde el talud lo permita y en las zonas de la mina más bajas topográficamente. Estos, al tiempo que permiten la salida del agua subterránea con mayor facilidad, a medida que se profundiza en la excavación, alivian la presión de flujo hacia las paredes de la excavación,

principalmente en el talud generado en la pared alta que actualmente preocupa al personal de la mina. Es beneficioso que los drenes posean un diámetro de entre 8 y 10 pulgadas aproximadamente, tal como se perfora en la actualidad en las operaciones de producción mineral.

Los drenes deben ser llenados con arena para evitar derrumbes que puedan sellarlos. La arena debe ser de grano grueso y tamaño uniforme (arena mal gradada). La separación entre drenes debe ser igual al espesor del horizonte saturado, es decir, la profundidad desde el nivel estático hasta donde se piensa llevar la excavación. Esta separación entre los drenes debe tener un carácter experimental para luego decidir la distancia óptima entre drenes, según los resultados obtenidos. La profundidad de los drenes debe tener unos 10 m, aproximadamente, por debajo de la profundidad límite de la excavación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canada Centre for Mineral and Energy Technology.** (1977). Pit Slope Manual, Chapter 4, Groundwater. Canada. Editorial Minister of Supply and Services.
- Carbones del Guasare, S.A.** (2001). Plan de Mina, Informe Técnico. Venezuela.
- Castillo, A.** (1998). Identificación de Reservas Sustentablemente Económicas. Memorias de Resúmenes Jornadas de Investigación. JIFI'98. Facultad de Ingeniería. UCV. Venezuela.
- Castillo, Alba. Y Piña, Aurora.** (2002). Curso de Extensión de Conocimientos en Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto. Venezuela.
- Cedergren, Harry.** (1977). Seepage, Drainage, and Flow Nets. Estados Unidos de América, Editorial John Wiley & Son.
- Coplanarh.** (1969). Inventario Nacional de Aguas Superficiales. Informe Técnico.
- de Briceño, Haydée.** (2000). La Desertificación. La Hoja Ambiental (MARN).
- Dickert, T. & A. Tuttle** (1985). Cumulative impact assessment in environmental planning. Environ Impact Assess Rev; 5:37-64.
- Hernández, Aurelio.** (1979). Manual de Drenaje. España. Editorial Formica Española, S.A.
- Instituto Nacional de Obras Sanitarias.** (1969). Análisis de Intensidad – Duración - Frecuencia de Lluvias de Venezuela. Venezuela. Editorial Sección de Estadística y Archivo de la División de Hidrología.
- INTEVEP.** (1998). Correlación Geología de las diferentes cuencas de Venezuela. Formato Digital.
- Jiménez, Salas. y otros** (1980). Geotecnia y Cimientos III. Cimentaciones, Excavaciones y Aplicaciones de la Geotecnia, Segunda Parte. España. Editorial Rueda.

- Johnson Division, UOP.Inc.** (1975). El Agua Subterránea y Los Pozos. Estados Unidos de America. Editorial Johnson Division, UOP.Inc.
- MARAVEN.** (1986). Áreas Protegidas de Venezuela. Venezuela. Editorial Refolit, C.A.
- MARNR. Zulia.** (1993). Control de la Calidad de las Aguas Superficiales y Subterráneas en la Mina de Carbón Paso Diablo, Edo Zulia, Informe Anual. Venezuela. Editorial MARN.
- MARNR.** (1992). Áreas Naturales Protegidas de Venezuela. Serie Aspectos Conceptuales y Metodológicos, DGS POA / ACM ¿ 01. Caracas, Venezuela.
- MARNR.** (1996). Balance Ambiental de Venezuela. Venezuela. Editorial MARNR
- Marsh, William M.** (1991). Landscape Planning Environmental Applications. Estados Unidos de América. Editorial Braun – Brumfield, Inc.
- McKee.** (2003). Water for a sustainable minerals industry. Mining Environmental Management (vol 11, N°4).
- MMSD América del Sur.** (2002). Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. Brasil. Editorial CIPMA.
- Paz, José. y Bravo, Betulio.** (1993). El agua esta enferma. La Era Agrícola (N°16, segunda etapa).
- Peck, Ralph. y otros.** (1982). Ingeniería de Cimentaciones. México. Editorial Limusa.
- Requena, Franc.** (2002). MARN, Mejorar la Calidad de Vida de la Gente. Ambiente (Año 24 N° 60).
- Stanley, Davis. y Roger, de Wiest.** (1971). Hidrogeología. España. Editorial Ariel.
- Suarez, Luis Miguel.** (1993). Presas de corrección de torrentes y Retención de Sedimentos. Venezuela. Editorial Representaciones L.A. Urbina.
- Terzaghi, Karl. Peck, Ralph.** (1973). Mecánica de suelos en la Ingeniería Practica. España. Editorial El Ateneo, S.A.

Toledo, Valentina. y Hernández-Szczureck, Diana. (2001). ¿La desertificación y desertización son sinónimos?. Sociedad Venezolana de Geólogos (vol. 26 N° 1).

Villanueva, A. (2003). *Guías de estudio para Laboreo a Cielo Abierto*. Guía en formato digital.

Villas-Bôas, Roberto. (2002). La Minería en el Contexto de la Ordenación del Territorio. Brasil. Editores Roberto Villas-Bôas y Roberto Page.

www.worldatlas.com

www.cytel.org

www.wildworld@nationalgeographic.com

www.worldwildlife.org

www.fao.org/gtos/tems/mod_hyd.jsp

www.aguamarket.com/temas_interes/027.asp

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 4

ANEXO 5

ANEXO 6

ANEXO 7