

INFORME

ESTUDIO DE MODELAMIENTO DE CONTROL DE POLVO

Cerro Verde – Arequipa
Enero de 2004

Preparado para:



SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.

Preparado por:

**Guillermo Swayne B.
Walsh Perú S.A.**

Revisado por:

**Marco Gómez-Barrios
Walsh Perú S.A.**



Ingenieros y Científicos Consultores
Calle Ciudad Real 290, Urb. Higuiereta, Lima 33 – Perú
Proyecto MIN-1137

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVO.....	1
3.	MARCO TEÓRICO.....	1
4.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO.....	2
4.1	INFORMACIÓN RECIBIDA.....	2
4.2	ESCENARIO DE OPERACIÓN.....	2
4.3	CÁLCULO DE EMISIONES.....	3
4.4	METEOROLOGÍA.....	3
4.5	MODELAMIENTO.....	4
5.	RESULTADOS.....	5
6.	OBSERVACIONES.....	5
7.	CONCLUSIONES.....	5

ANEXO 1
HOJAS DEL ARCHIVO DE SALIDA DE LA MODELACIÓN DE PM₁₀

ANEXO 2
INVENTARIO DE EMISIONES

ANEXO 3
PLANO TOPOGRAFICO Y CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION PROMEDIO ANUAL
DE PM₁₀

INFORME DEL ESTUDIO DE MODELAMIENTO DE CONTROL DE POLVO

Diciembre de 2003

1. INTRODUCCIÓN

Sociedad Minera Cerro Verde (SMCV), ubicada en el Asiento Minero Cerro Verde, distrito de Uchumayo, provincia y departamento de Arequipa, a 2,750 m.s.n.m., distante 27 km de la ciudad de Arequipa, solicitó mediante licitación privada No.20030237, el "Servicio de estudio de Modelamiento de control de polvo para SMCV". Mediante Orden de Compra No.S02578, Walsh Peru S.A. (Walsh) recibió el encargo de realizar el servicio.

2. OBJETIVO

- Realizar el estudio de Modelamiento de control de polvo para SMCV.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Modelos de dispersión

El modelamiento de la dispersión de los contaminantes atmosféricos es una técnica que utiliza modelos matemáticos complejos que tienen por finalidad orientar, en base a los resultados obtenidos, en el diseño de plantas industriales, la planeación de comunidades, la identificación de fuentes significativas y la predicción de concentraciones de contaminantes en receptores seleccionados.

Los modelos de contaminación del aire requieren de la alimentación de datos tales como el tipo, carácter y distribución de las fuentes, así como los contaminantes emitidos, las variables meteorológicas que determinan el transporte, la dispersión y las reacciones químicas de los contaminantes en la atmósfera.

El software a utilizar es el "Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models", debido a sus características de modelar fuentes complejas y topografía semi-compleja.

El ISC3 es reconocido y recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.AA.(USEPA) y muy utilizado por modeladores experimentados.

3.2 Estándares de calidad ambiental del aire

Los Estándares de Calidad de Aire son aquellos niveles de concentración máxima de contaminantes en el aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana.

En este informe se usará como criterio de de comparación el estandar de calidad de aire para el PM₁₀, establecido en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante el D.S. No.074-2001-PCM, y mostrado en el Cuadro 1.

Cuadro 1.
Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire para el PM₁₀

Parámetro	Periodo	Forma del Estándar		Método de Análisis
		Valor	Formato	
PM ₁₀	Anual	50 ug/m ³	Media aritmetica anual	Inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	150 ug/m ³	No exceder más de 3 veces/año	

Fuente: D.S. 074-2001-PCM

4. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

4.1 Información recibida

Se recibió la siguiente información:

- Meteorología de un año (noviembre de 2002 a noviembre de 2003);
- Plano Topográfico;
- Diagrama de flujo del circuito de chancado;
- Diagramas de Flujos de Cerro.

4.2 Escenario de operación

El escenario de modelación fue un área cuadrada de 20 kilómetros de lado, definida entre los siguientes puntos de coordenadas UTM:

- ✓ (8186000, 217000)
- ✓ (8186000, 237000)
- ✓ (8166000, 237000) y
- ✓ (8166000, 217000)

La grilla elegida estuvo formada por puntos separados 2 kilómetros.

Dentro de esta área están ubicados la mina – como foco emisor entre los puntos UTM de la diagonal (221000,8172000) y (227000,8168000)- y dos puntos receptores importantes: los

pueblos de Congata y Yarabamba, cuyas coordenadas UTM son (220762,8179714) y (236000,8169243), respectivamente.

4.3 Cálculo de emisiones

El cálculo de la emisiones de PM_{10} de las operaciones de la mina, se realizó con la metodología propuesta por la USEPA para el cálculo de los Factores de Emisión.

Así, se consultó los siguientes capítulos del documento AP-42 tomado de la hojas web de la Agencia Americana de Protección al Medio Ambiente (USEPA), actualizada al 10 de diciembre de 2003:

- 1) Chapter 11, Mineral Products Industry,
 - 1.1 11.9 Western Surface Coal Mining
 - 1.2 11.19.2 Crushed Stone Processing
 - 1.3 11.19.1 Sand And Gravel Processing
 - 1.4 11.24 Metallic Minerals Processing
- 2) Chapter 13, Miscellaneous Sources
 - 2.1 13.2.2 Unpaved Roads
 - 2.2 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles
 - 2.3 13.2.5 Industrial Wind Erosion

Se definió las fuentes de emisión de PM_{10} y se procedió a determinar las tasas de emisión para cada caso, según la actividad.

Así, el inventario de emisiones que se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2.

Emisiones anuales de PM_{10} generadas por la actividad en SMCV.

Fuente de emisión	Emisión	unidad
1. Voladura	26,266	kg/y
2. Bulldozing	24,479	kg/y
3. Carguio	830,855	kg/y
4. Chancado	1,079,838	kg/y
5. Botadero	1,064	kg/y
Emisión total de PM_{10}	1,962,502	kg/y

En el Anexo 2, se presenta los cálculos realizados para la determinación de las emisiones para las actividades enumeradas en el Cuadro 2.

4.4 Meteorología

La meteorología utilizada fue de un año de datos, ideal para la modelación de dispersión de contaminantes. Los parámetros meteorológicos relevantes para el estudio de modelación son:

- Velocidad y dirección de viento;

- Temperatura ambiente;
- Parámetro Sigma-Teta.
- Altura de capa de mezcla

Los valores promedio anuales de los parámetros mencionados se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3.

Valores promedio anuales de los parámetro meteorológicos en SMCV.

Velocidad del Viento	Dirección del viento	Temperatura	Humedad Relativa
2,1 m/s	218°	14,4 °C	59,4%

4.5 Modelamiento

En la elaboración del modelamiento, se generó el archivo de datos con que se alimenta el software, indicando las fuentes, las emisiones, la meteorología, la topografía, los receptores y las características del archivo de salida.

El modelamiento elegido fue para predecir la concentración de PM_{10} en la grilla seleccionada. Se solicitó al modelo que evaluara los promedios en 24 horas y los promedios anuales de PM_{10} considerando la altitud en cada receptor de la zona.

Las **fuentes de emisión** utilizadas y sus emisiones fueron tres:

- ✓ Pit Cerro Verde, con $17,53 \times 10^{-6} \text{ g/s-m}^2$
- ✓ Pit Santa Rosa, con $16,13 \times 10^{-6} \text{ g/s-m}^2$
- ✓ Botadero, con $11,95 \times 10^{-6} \text{ g/s-m}^2$

La **meteorología** utilizada fue de un año de datos horarios, entre noviembre de 2002 y noviembre de 2003.

La **topografía** utilizada se presenta en el Anexo 3, mediante una carta geo-referenciada: fue proporcionada por SMCV. Las alturas fueron obtenidas mediante el uso de sistema de información geográfico. Se asumió topografía semi-compleja.

Los **receptores** se eligieron en puntos de la grilla distantes 2 kilómetros. Asimismo, se ubicó los receptores discretos correspondientes a los pueblos de Congata y Yarabamba. Cada receptor consta de coordenadas y altitud.

En el archivo de salida se solicitó al modelo que indicara los primeros cuatro valores más altos de concentración promedio anual por receptor y los cincuenta valores máximos de concentración promedio anual en los receptores.

Se corrió el ISC3 y se obtuvo el archivo de salida, del cual se adjunta las hojas relevantes en el Anexo 1.

El modelo presentado sólo considera el aporte de PM_{10} de la actividad de SMCV al área de estudio.

5. RESULTADOS

Los resultados se muestran en el Anexo 1.

Se refieren a los valores de concentración obtenidos en la grilla de 20 km definida alrededor del asiento minero de SMCV y de dos receptores particulares: las localidades de Congata y Yarabamba.

Los valores de concentración se refieren a la dispersión de PM_{10} en la zona adyacente a la mina de la SMCV.

Los resultados obtenidos son los presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 4.

Valores promedio anuales de concentración de PM_{10} en Congata y Yarabamba

Localidad	Coordenadas y altitud	Promedio anual	Promedio en 24 horas
CONGATA	(220742 , 8179714 , 2129)	0,172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,13 ug/m^3
YARABAMBA	(236000 , 8169243 , 2550)	1,052 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11,24 ug/m^3
ZONA ESTUDIADA	(Grilla)	5,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

6. OBSERVACIONES

En el plano topográfico entregado por SMCV se omitió la ubicación de la Irrigación San Camilo, por lo que no fue considerada. Sin embargo, puede añadirse al modelo, una vez determinada su ubicación.

7. CONCLUSIONES

7.1 En la zona estudiada:

- ✓ El valor predicho de concentración promedio anual de PM_{10} en la zona estudiada, para el año modelado, es 5,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, menor al Estándar Nacional de Calidad Ambiental de Aire (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido mediante el D.S. 074-2001-PCM.
- ✓ El valor predicho de concentración promedio en 24 horas de PM_{10} en la zona estudiada, para el año modelado, es 25,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, menor al Estándar Nacional de Calidad Ambiental de Aire (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido mediante el D.S. 074-2001-PCM.

7.2 En las localidades estudiadas:

- ✓ En la localidad de Congata, la concentración promedio anual predicha de PM_{10} es $0,172 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menor al Estándar Nacional de Calidad Ambiental de Aire ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido mediante el D.S. 074-2001-PCM.
- ✓ En la localidad de Yarabamba, la concentración promedio anual predicha de PM_{10} es $1,052 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menor al Estándar Nacional de Calidad Ambiental de Aire ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido mediante el D.S. 074-2001-PCM.
- ✓ Considerando los valores de concentración promedio anual en la zona estudiada y las localidades consideradas, el impacto de la actividad de SMCV en el ambiente físico que ocupa resulta irrelevante.

ANEXO 1

HOJAS DEL ARCHIVO DE SALIDA DE LA MODELACIÓN DE POLVO (PM₁₀)



Ingenieros y Científicos Consultores

SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.

Resultados correspondientes a la grilla de 20 km de lado:

*** ISCST3 - VERSION 02035 *** ** CERRO VERDE 2002-2003 PM-10 -ISCST3 Model ***

 **MODELOPTs: CONC RURAL ELEV DFAULT

*** THE ANNUAL (1 YRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): BOTADERO, PIT_CV , PIT_SR
 *** NETWORK ID: TOPO-CV ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF PM10 IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD (METERS)	217000.00	219000.00	221000.00	223000.00	225000.00	227000.00	229000.00	231000.00	233000.00
8186000.00	0.07833	0.07207	0.24840	7.04846	1.31070	0.98323	0.50579	0.46560	0.33812
8184000.00	0.11502	0.07538	0.22906	7.57556	1.24690	1.08535	0.63365	0.44406	0.39730
8182000.00	0.14822	0.09883	0.21804	8.20243	1.18704	1.18405	0.63961	0.50387	0.42046
8180000.00	0.15516	0.16238	0.20936	8.97903	1.19381	1.36651	0.69499	0.54936	0.62343
8178000.00	0.22234	0.25967	0.23160	10.00805	1.34650	1.37081	0.76824	0.82309	0.64635
8176000.00	0.52355	0.35446	0.34789	11.62824	1.82363	1.58296	1.16646	0.92640	0.85067
8174000.00	2.45331	1.46739	0.73481	14.59181	2.54148	2.11618	1.56501	1.23034	1.07212
8172000.00	20.08324	20.64655	13.02235	26.98298	5.86124	3.73654	2.27929	1.76103	1.35716
8170000.00	33.74529	51.14402	79.22271	121.41463	13.39213	5.98839	3.01097	2.07894	1.60231
8168000.00	12.69379	12.53023	13.40128	12.95300	10.05272	3.73401	2.35679	1.86696	1.60014
8166000.00	5.16404	5.45784	4.75647	3.85402	3.19141	2.58770	1.96532	1.43344	1.17313

X-COORD (METERS)

Y-COORD (METERS)	235000.00	237000.00
8186000.00	0.33145	0.26972
8184000.00	0.33380	0.40550
8182000.00	0.49246	0.45029
8180000.00	0.52743	0.43501
8178000.00	0.59246	0.61863
8176000.00	0.76909	0.62934
8174000.00	0.93670	0.85571
8172000.00	1.05908	0.85607
8170000.00	1.31120	1.09713
8168000.00	1.21378	0.91035
8166000.00	0.83494	0.86287



Ingenieros y Científicos Consultores

SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.

Resultados correspondientes a Congata y Yarabamba:

```

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***          *** CERRO VERDE 2002-2003 PM-10 -ISCST3 Model ***
***                                     ***                                     ***
**MODELOPTs:          CONC              RURAL ELEV          DEFAULT
*** THE ANNUAL ( 1 YRS) AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
INCLUDING SOURCE(S):  BOTADERO, PIT_CV , PIT_SR ,
*** DISCRETE CARTESIAN RECEPTOR POINTS ***
** CONC OF PM10      IN MICROGRAMS/M**3          **
X-COORD (M)  Y-COORD (M)  CONC          X-COORD (M)  Y-COORD (M)  CONC
-----
220742.00   8179714.00   0.17165          236000.00   8169243.00   1.05167

```

ANEXO 2

**INVENTARIO DE EMISIONES
PARA LA MODELACIÓN DE PM₁₀**

FACTOR DE EMISIÓN	EMISIÓN ANUAL
1. VOLADURA = 25,682 kg/y 11.9 Western Surface Coal Mining T.11.9.2 - Blasting , Overburden $EF = 0.52 \times 0.00022(A)^{1.5}$ A = 11761 m ² EF = 145.92 kg/blast	Disparos = 176 blast/y E.1 = 25,682 kg/y
2. BULDOZING = 24,479 kg/y 11.9 Western Surface Coal Mining T.11.9.2 - Buldozing , Overburden $EF = 0.75 \times (45 \times (s)^{1.5} / (M)^{1.4})$ s = 6.9 % (T.11.9-3) M = 1.75 % EF = 2.79 kg/h	año = 365 días/y día = 24 h/día Horas = 8760 h/día E.2 = 24,479 kg/y
3. CARGUÍO = 830,855 kg/y 3.1 Carga de camiones 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles $E = k \times 0.016 \times (U/2.2)^{1.3} / (M/2)^{1.4}$ k = 0.35 U = 2.1 m/s M = 1.75 % EF = 0.000635 kg/Mg	a Stock Pile = 13,905,000 Mg/y a Botadero = 52,331,000 Mg/y Minado = 66,236,000 Mg/y E.3.1 = 42,093 kg/y
3.2 Tránsito de camiones cargados 13.2.2 Unpaved Roads $E = 281.9 k (s/12)^{0.8} \times (W/3)^{0.4} / (M/0.2)^{0.3}$ k = 2.6 % (T.13.2.2-1) s = 8.4 W = 265 tons M = 20.0 % EF = 830.99 g/VKT	Mina-Stock Pile = 0.767 km Mina-Botadero = 1.687 km Camión = 180 ton a Chancado = 59,251 km/y a Botadero = 490,458 km/y Recorrido = 549,709 km/y E.3.2 = 456,803 kg/y
3.3 Descarga de camiones 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles $E = k \times 0.016 \times (U/2.2)^{1.3} / (M/2)^{1.4}$ k = 0.35 U = 2.1 m/s M = 1.75 % EF = 0.000635 kg/Mg	Minado = 66,236,000 Mg/y E.3.3 = 42,093 kg/y
3.4 Tránsito de camiones descargados 13.2.2 Unpaved Roads $E = 281.9 k (s/12)^{0.8} \times (W/3)^{0.4} / (M/0.2)^{0.3}$ k = 2.6 s = 8.4 t.13.2.2-1 W = 85 tons M = 20.00 % EF = 527.31 g/VKT	Recorrido = 549,709 km/y E.3.4 = 289,867 kg/y

4. CHANCADO =		1,079,838 kg/y			
4,1 Chancado primario					
11.24 Metallic Minerals Processing					
Table 11.24-1 High moisture ore					
P. Crushing (1) =		0.004 kg/Mg	# =	1	en
Handling (4) =		0.002 kg/Mg	puntos =	4	serie
ef.1 =		0.0120 kg/Mg			
13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles					
$E = k \times 0.016 \times (U/2.2)^{1.3} / (M/2)^{1.4}$					
k =		0.35			
U =		2.1 m/s			
M =		6.0 %			
ef.2 =		0.000113 kg/Mg	Stock Pile =	13,905,000 Mg/y	
EF =		0.0121 kg/Mg	E.3 =	168,434 kg/y	
4,2 Chancado secundario					
11.24 Metallic Minerals Processing					
Table 11.24-1 High moisture ore					
S. Crushing (2) =		0.012 kg/Mg	# =	2	//s
Handling (20) =		0.002 kg/Mg	puntos =	10	en
ef.1 =		0.03100 kg/Mg			serie
11.19.2 Crushed Stone Processing					
Table 11.19.2-1 Screening controlled (2)					
ef.2 =		0.00042 kg/Mg	puntos =	1	//s
EF =		0.03142 kg/Mg	Stock Pile =	13,905,000 Mg/y	
			E.3 =	436,895 kg/y	
4,3 Chancado terciario					
11.24 Metallic Minerals Processing					
Table 11.24-1 High moisture ore					
T. Crushing (4) =		0.010 kg/Mg	# =	4	//s
Handling (25) =		0.002 kg/Mg	puntos =	5	en
ef.1 =		0.01900 kg/Mg			serie
11.19.2-1 Crushed Stone Processing					
Table 11.19.2-1 Fines screening controlled (4x)					
ef.2 =		0.00110 kg/Mg	Stock Pile =	13,905,000 Mg/y	
EF =		0.02010 kg/Mg	E.3 =	279,491 kg/y	
4,4 Sistema de aglomeración					
11.24 Metallic Minerals Processing					
Table 11.24-1 High moisture ore					
Handling (20) =		0.002 kg/Mg	puntos =	7	en
ef.1 =		0.014 kg/Mg			serie
11.19.2-1 Crushed Stone Processing					
Table 11.19.2-1 Truck loading-conveyor					
TL-conveyor (1) =		0.00005 kg/Mg	puntos =	1	unico
carga =		50%			
ef.2 =		0.00003 kg/Mg	Stock Pile =	13,905,000 Mg/y	
EF =		0.01403 kg/Mg	E.3 =	195,018 kg/y	

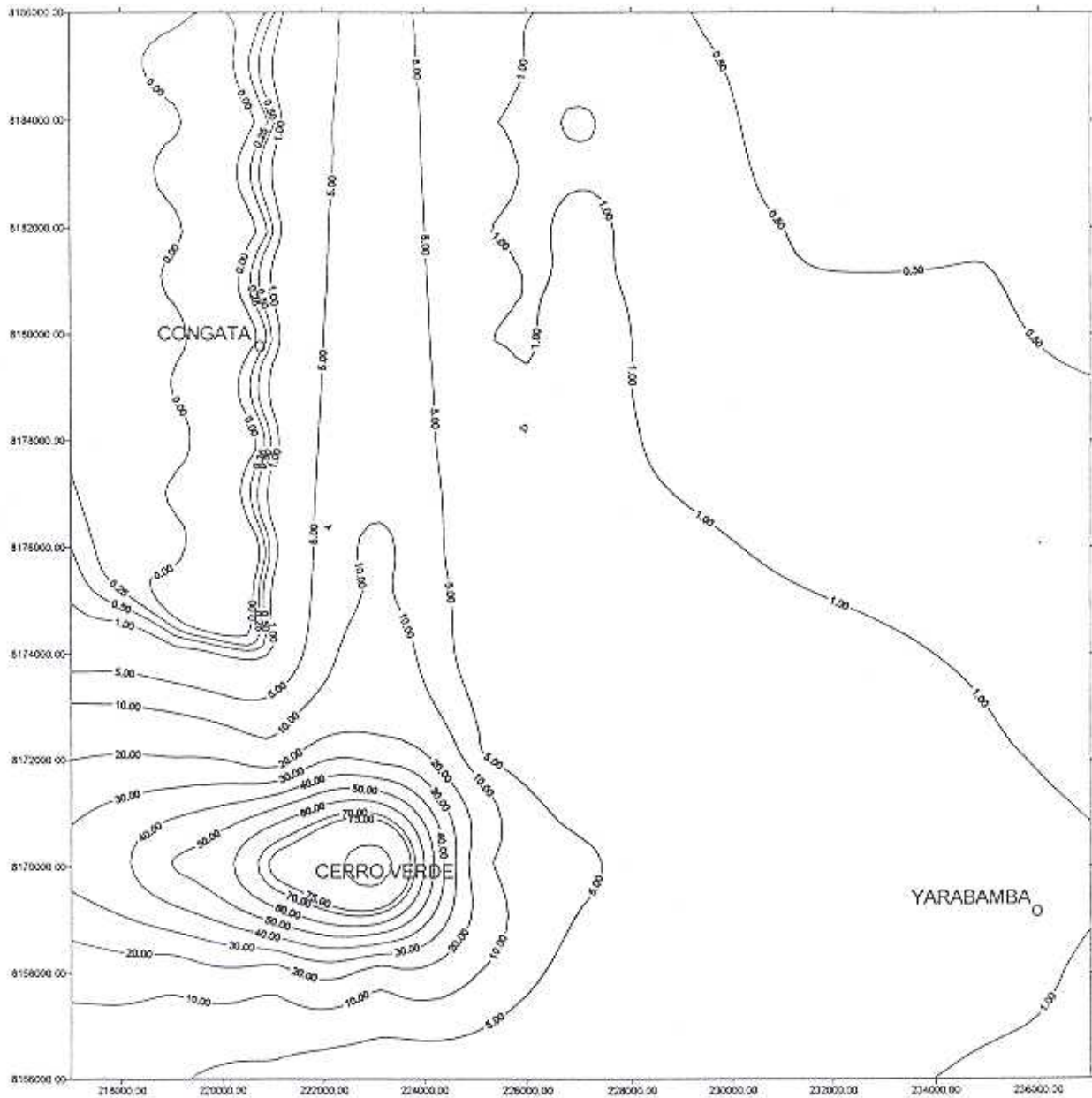
5. BOTADERO		1,064 kg/y	
13.2.5	Industrial Wind Erosion E = k x Σ Pi P = 58 (u*-u*t) ² + 25 (u*-u*t) P = 0, si u* <= u*t		
	u ₁₀ [*] = 20 m/s		Velocidad viento (ráfagas)
	0.053x u ₁₀ [*] = u* = 1.06 m/s		Velocidad fricción
	Table 13.2.5-2 overburden (botadero)		
	u*t = 1.02 m/s		Velocidad de fricción límite
	Velocidad límite = 19.2 m/s		estimada = 1,02/053
	P = 1.093 g/m ²		Erosión potencial
	k = 0.5		Factor de partícula
35 Cerro Verde	168017 m ²		e.1 = 92 kg/y
NO Cerro Verde	819204 m ²		e.2 = 448 kg/y
Sur Cerro Verde	767619 m ²		e.3 = 419 kg/y
Sur Santa Rosa	193038 m ²		e.4 = 105 kg/y
	EF = 0.546 g/m ² /y		E.3.1 = 1,064 kg/y

EMISION TOTAL	
	PM₁₀ 1,961,919 kg/y

RESUMEN	
1. Voladura	25,682 kg/y
2. Bulldozing	24,479 kg/y
3. Carguio	830,855 kg/y
4. Chancado	1,079,838 kg/y
5. Botadero	1,064 kg/y
EMISION PM₁₀	1,961,919 kg/y

ANEXO 3

PLANO TOPOGRAFICO
Y
CURVAS DE IGUAL CONCENTRACION PROMEDIO
ANUAL DE PM₁₀



CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PM10